

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



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

---

**Estudio de socavación general en riberas y socavación local en el pilar del  
puente Conache, distrito de Laredo – Trujillo.**

---

**Línea de Investigación:** Ingeniería Civil

**Sub Línea de Investigación:** Hidráulica

**Autor:**

Vásquez Silva, Javier

**Jurado Evaluador:**

**Presidente:** Cabanillas Quiroz, Guillermo Juan

**Secretario:** Serrano Hernández, José Luis

**Vocal:** Chuquilín Delgado, María Florencia

**Asesor:**

García Rivera, Juan Pablo

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3498-7934>

**Trujillo – Perú**

**2024**

Fecha de sustentación: 2024 / 11 / 22



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



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

---

**Estudio de socavación general en riberas y socavación local en el pilar del  
puente Conache, distrito de Laredo – Trujillo.**

---

**Línea de Investigación:** Ingeniería Civil

**Sub Línea de Investigación:** Hidráulica

**Autor:**

Vásquez Silva, Javier

**Jurado Evaluador:**

**Presidente:** Cabanillas Quiroz, Guillermo Juan

**Secretario:** Serrano Hernández, José Luis

**Vocal:** Chuquilín Delgado, María Florencia

**Asesor:**

García Rivera, Juan Pablo

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3498-7934>

**Trujillo – Perú**

**2024**

Fecha de sustentación: 2024 / 11 / 22

## Estudio de socavación general en riberas y socavación local en el pilar del puente Conache, distrito de Laredo – Trujillo.

### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>4%</b>	<b>5%</b>	<b>1%</b>	<b>1%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.upao.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>cybertesis.uni.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>

Excluir citas      Activo

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía      Activo

  
 JUAN PABLO GARCÍA RIVERA  
 CIP 68614  
 INGENIERO CIVIL



## DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, JUAN PABLO GARCÍA RIVERA, docente del Programa de Estudio de Ingeniería Civil de la Universidad Privada Antenor Orrego, asesor de la tesis de investigación titulada: **“ESTUDIO DE SOCAVACIÓN GENERAL EN RIBERAS Y SOCAVACIÓN LOCAL EN EL PILAR DEL PUENTE CONACHE, DISTRITO DE LAREDO - TRUJILLO”**, del autor JAVIER VÁSQUEZ SILVA, dejo constancia de lo siguiente:

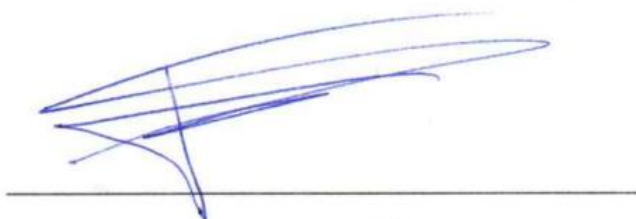
- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud del **4%**. Así lo consiga el reporte de similitud emitido por el software Turnitin el día 18 de noviembre del 2024.
- He revisado con detalle dicho reporte de la tesis **“ESTUDIO DE SOCAVACIÓN GENERAL EN RIBERAS Y SOCAVACIÓN LOCAL EN EL PILAR DEL PUENTE CONACHE, DISTRITO DE LAREDO - TRUJILLO”**, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las normas establecidas por la Universidad.

Ciudad y Fecha: Trujillo, 18 de noviembre del 2024.



JAVIER VÁSQUEZ SILVA

DNI: 76254131



JUAN PABLO GARCÍA RIVERA

DNI: 18216844

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3498-7934>

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Patricia y Edgar, por su interminable e incondicional apoyo, paciencia y cariño, siendo los principales pilares y ejemplos de mi vida, tanto profesional, como personalmente.

A mis abuelos, y a la memoria de los mismos, Raquel, Néstor, Bárbara, y Ciro, por siempre hacerme sentir su infinito cariño, siendo mis principales referentes de persistencia, sabiduría, resiliencia y superación.

Br. Javier Vásquez Silva

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, por darme salud, por enseñarme a través de los tropiezos, y por encargarse de poner a personas tan maravillosas en mi vida.

A mi familia y en especial a mis padres, Patricia y Edgar, por ser mis guías y consejeros, tanto en el plano profesional como en el personal, por haberme criado con tanto amor y paciencia; por ser mis mejores amigos.

A mi tía y madrina, Rosario, por el inmenso apoyo durante esta etapa universitaria.

A mi asesor, el ingeniero Juan Pablo García Rivera, quien desde un inicio siempre tuvo la disposición y paciencia de apoyarme a lograr esta tan anhelada meta.

Agradezco también a la Universidad Privada Antenor Orrego y a mis docentes en general, por la buena formación académica, por haberme dado las herramientas necesarias para poder enfrentarme al mundo laboral, por haber generado en mí las ganas de aprender cada vez más.

Br. Javier Vásquez Silva

## RESUMEN

La presente investigación tiene por finalidad estudiar los efectos de socavación (general y local) que pudiese ocasionar un caudal extraordinario de máxima avenida en el pilar del puente Conache en el distrito de Laredo, como también en las riberas del Río Moche en un tramo de 1 kilómetro de longitud, comprendiendo 500 metros aguas arriba y 500 metros aguas abajo desde el eje del puente.

El punto de partida del desarrollo de la presente tesis inicia con la recopilación de datos históricos hidrológicos de la cuenca del Río Moche, más precisamente de los datos recopilados por la Estación Quirihuac, extraídos de las bases de datos del MIDAGRI y el ANA. Estos datos fueron procesados mediante diversas distribuciones estadísticas para determinar un caudal de máxima avenida para un período de retorno de 500 años, que es el período de retorno que recomienda el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Determinado el caudal de máxima avenida y con el uso de modelamiento y simulación hidráulica en HEC – RAS 6.4.1, se hallaron los diversos parámetros hidráulicos del cauce para cada tramo específico. Esto en conjunto con la selección de secciones que posiblemente podrían sufrir socavaciones críticas, permitió determinar que se pueda proponer un diseño de protección en base a la sección que sufrió una socavación más crítica, y generalizarla para las demás secciones y tramos del área de estudio, para finalmente incorporar esta propuesta de protección al modelamiento y simulación hidráulica y analizar su comportamiento.

**Palabras claves:** Socavación General, Socavación Local, Defensas ribereñas, Enrocado, Puente, Cauce, Río, Hidrología, Hidráulica.

## **ABSTRACT**

The purpose of this research is to study the effects of scour (both general and local) that could be caused by an extraordinary flow of maximum flood at the Conache bridge pillar in the district of Laredo, as well as on the banks of the Moche River in a 1 kilometer stretch, comprising 500 meters upstream and 500 meters downstream from the bridge axis.

The development of this thesis begins with the collection of historical hydrological data from the Moche River basis, specifically data collected by the Quirihuac Station, extracted from the databases of MIDAGRI and ANA. These data were processed using various statistical distributions to determine a maximum flood flow for a return period of 500 years, as recommended by the Ministry of Transport and Communications Hydrology, Hydraulics, and Drainage Manual.

Once the maximum flood flow was determined, and using hydraulic modeling and simulation in HEC – RAS 6.4.1, the various hydraulic parameters of the channel were found for each specific section. This, together with the selection of sections that could potentially suffer critical scour, allowed for proposing a protection design based on the sections and stretches of the study area. Finally, this protection proposal was incorporated into hydraulic modeling and simulation to analyze its behavior.

Keywords: General Scour, Local Scour, Riverbank defenses, Riprap, Bridge, Channel, River, Hydrology, Hydraulics.

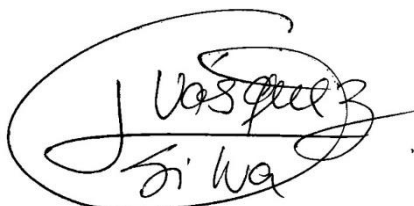
## PRESENTACIÓN

### Señores miembros del jurado evaluador:

Cumpliendo con los requisitos estipulados en el Reglamento de Grados y Títulos vigente de la Universidad Privada Antenor Orrego, presento mi tesis, titulada: "ESTUDIO DE SOCAVACIÓN GENERAL EN RIBERAS Y SOCAVACIÓN LOCAL EN EL PILAR DEL PUENTE CONACHE, DISTRITO DE LAREDO – TRUJILLO", luego de haber culminado mis estudios en este centro de estudios superiores.

Por tanto, entrego mi tesis a disposición de ustedes para su correspondiente evaluación, agradeciendo de antemano su atención.

Atentamente:

A handwritten signature in black ink, enclosed in a hand-drawn oval. The signature reads "J. Vásquez" on the top line and "Silva" on the bottom line.

---

Br. Javier Vásquez Silva

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD .....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
RESUMEN .....	viii
ABSTRACT .....	ix
PRESENTACIÓN .....	x
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	xi
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
ÍNDICE DE CUADROS .....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiv
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	xxii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Problema e investigación .....	1
1.1.1. Realidad problemática .....	1
1.1.2. Enunciado del problema: .....	2
1.2. Objetivos: .....	2
1.2.1. Objetivo General: .....	2
1.2.2. Objetivos Específicos:.....	3
1.3. Justificación del Estudio:.....	3
II. MARCO DE REFERENCIA .....	3
2.1. Antecedentes del estudio:.....	3
2.2. Marco teórico .....	7
2.2.1. Hidrología:.....	7
2.2.2. Topografía.....	12
2.2.3. Mecánica de suelos .....	13
2.2.4. Hidráulica: .....	13
2.2.5. Socavación: .....	26
2.2.6. Aspectos de Diseño: .....	35
2.2.6.1. Diseño de Enrocado para Defensas Ribereñas: .....	35
2.2.6.2. Diseño de Enrocado para Protección de Pilares de Puentes:.....	36
2.2.7. Simulación Hidráulica Digital:.....	36
2.3. Marco Conceptual.....	44
2.4. Sistema de Hipótesis .....	45

2.5.	Variables e Indicadores (Operacionalización de Variables) .....	45
2.5.1.	Variables: .....	45
III.	METODOLOGÍA EMPLEADA .....	48
3.1.	Tipo y nivel de investigación .....	48
3.1.1.	Nivel de la investigación.....	48
3.1.2.	Tipo de Investigación .....	48
3.2.	Población y Muestra de estudio .....	48
3.2.1.	Población .....	48
3.2.2.	Muestra .....	48
3.3.	Diseño de Investigación .....	48
3.4.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....	48
3.5.	Procesamiento y Análisis de Datos.....	50
IV.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	51
4.1.	Propuesta de investigación .....	51
4.2.	Análisis e interpretación de resultados .....	52
4.2.1.	Estudio topográfico y modelamiento digital del terreno.....	52
4.2.2.	Estudio hidrológico.....	58
4.2.3.	Estudio de suelos.....	60
4.2.4.	Estudio hidráulico.....	61
4.2.5.	Cálculo de Socavación.....	63
4.2.5.1.	Cálculo de Socavación General y Local.....	63
4.2.6.	Propuestas de Diseño de Enrocados de Protección .....	64
4.2.7.	Modelamiento y Simulación hidráulica con proyecto .....	65
4.3.	Docimasia de hipótesis .....	68
4.3.1.	Interpretación de la Hipótesis Nula (H0): .....	69
4.3.2.	Interpretación de la Hipótesis Alternativa (H1): .....	69
4.3.3.	Interpretación de las hipótesis propuestas:.....	69
V.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	70
	CONCLUSIONES.....	73
	RECOMENDACIONES .....	75
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	76
	ANEXOS .....	80



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de estudio de suelos para estimación de socavación del Puente Conache.....	4
Tabla 2: Valores del período de retorno “T” asociado al riesgo “R” y la vida útil “n” de la estructura.....	9
Tabla 3: Valores máximos recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje.....	10
Tabla 4: Valores del ancho estable de un cauce en función de su caudal de diseño.....	16
Tabla 5: Valores de K1 para la fórmula de Simons & Henderson.....	17
Tabla 6: Valores del coeficiente de rugosidad de Manning.....	17
Tabla 7: Valores del coeficiente de rugosidad de Strickler.....	20
Tabla 8: Valores del coeficiente de Tipo de Cauce.....	20
Tabla 9: Valores prácticos del coeficiente para calcular el borde libre de muros de encauzamiento.....	24
Tabla 10: Ancho de corona mínimo según el Código de Arizona.....	25
Tabla 11: Taludes recomendados para presas de material homogéneo sobre bases compactas y estables.....	26
Tabla 12: Inclinación de los taludes de presas homogéneas.....	26
Tabla 13: Coeficiente de contracción “ $\mu$ ”.....	29
Tabla 14: Coeficiente en base al período de retorno “ $\beta$ ”.....	29
Tabla 15: Valores de “X” y “ $11 + X$ ” para suelos cohesivos y no cohesivos.....	30
Tabla 16: Coeficientes para diferentes métodos para Socavación General.....	31
Tabla 17: Coeficientes para diferentes métodos para Socavación General.....	32
Tabla 18: Caudales máximos anuales y Caudales máximos anuales instantáneos del río Moche.....	58

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Recopilación de metodologías para calcular el ancho estable teórico de un cauce.....	18
Cuadro 2: Recopilación de metodologías para calcular el tirante teórico de un cauce.....	22
Cuadro 3: Recopilación de metodologías para calcular la velocidad media teórica de un cauce.....	23
Cuadro 4: Recopilación de metodologías para calcular la Socavación General teórica en cauces de ríos.....	37
Cuadro 5: Recopilación de metodologías para calcular la Socavación Local teórica en pilares de puentes.....	38
Cuadro 6: Recopilación de metodologías para calcular el Diámetro medio de roca de enrocados para defensas ribereñas.....	40
Cuadro 7: Recopilación de metodologías para calcular el Diámetro medio de roca de enrocados para pilares de puentes.....	42
Cuadro 8: Cuadro de Operacionalización de variables.....	46
Cuadro 9: Cuadro de Coordenadas geográficas del puente Conache.....	53

Cuadro 10: Cuadro de Coordenadas geográficas de los Puntos del Alineamiento del eje del cauce en el tramo de estudio .....	56
Cuadro 11: Datos topográficos de las secciones a estudiar.....	56
Cuadro 12: Resultados del procesamiento de los datos hidrológicos en HIDROESTA 2 .....	60
Cuadro 13: Resumen de datos geotécnicos.....	61
Cuadro 14: Resumen de parámetros hidráulicos en secciones sin proyecto .....	63
Cuadro 15: Resumen de parámetros hidráulicos en secciones .....	63
Cuadro 16: Resumen de parámetros mecánicos de enrocados para ambos tipos de socavaciones.....	64
Cuadro 17: Resumen de parámetros hidráulicos en secciones con proyecto .....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Curvas comunes de igual velocidad en diferentes secciones de canal. 21	21
Figura 2: Erosión fluvial – ribereña.....	27
Figura 3: Socavación General de un cauce.....	32
Figura 4: Resultados de D. W. Smith al analizar las fallas de 143 puentes .....	33
Figura 5: Representación gráfica de vórtices en herradura y vórtices de eje en pilares de puentes.....	34
Figura 6: Cuadro descargable de los Caudales Promedio Diarios de la Estación Quirihuac.....	49
Figura 7: Diagrama de procesos de la propuesta de investigación .....	52
Figura 8: Localización de la zona de estudio .....	53
Figura 9: Visualización digital del terreno en software Autodesk Civil 3D .....	54
Figura 10: Recorte del terreno para delimitación de la zona estudio requerida....	54
Figura 11: Vista en 3D del recorte del terreno para delimitación de la zona estudio requerida en software Autodesk Civil 3D .....	55
Figura 12: Alineamiento del eje del cauce del tramo de estudio en Civil 3D .....	55
Figura 13: Trazado de secciones del cauce en Civil 3D.....	56
Figura 14: Modelamiento digital del terreno en HEC – RAS .....	57
Figura 15: Ubicación de perfil longitudinal y secciones en HEC – RAS .....	58
Figura 16: Simulación de las condiciones hidráulicas del cauce frente a un eventual caudal de máxima avenida en HEC – RAS .....	62
Figura 17: Elevación de la superficie de agua en perfil longitudinal del cauce sin proyecto propuesto en HEC – RAS.....	62
Figura 18: Sección de propuesta de Dique Enrocado de Defensas Ribereñas....	65
Figura 19: Sección de propuesta de Dique Enrocado de Defensas Ribereñas....	65
Figura 20: Creación del corredor de la propuesta de enrocado en Civil 3D.....	66
Figura 21: Modelamiento del cauce con proyecto propuesto en HEC – RAS .....	66
Figura 22: Determinación de tirantes mediante simulación hidráulica del cauce con proyecto propuesto en HEC – RAS.....	67
Figura 23: Determinación de velocidades mediante simulación hidráulica del cauce con proyecto propuesto en HEC – RAS.....	67
Figura 24: Elevación de la superficie de agua en perfil longitudinal del cauce con proyecto propuesto en HEC – RAS.....	68

Figura 25: <i>Tabla en de los valores de los caudales máximos anuales del registro histórico de la Estación Quirihuac en Microsoft Excel</i> .....	80
Figura 26: <i>Determinación del Período de Retorno en Microsoft Excel</i> .....	80
Figura 27: <i>Determinación del Caudal de diseño con la Distribución Normal con software Hidroesta 2</i> .....	81
Figura 28: <i>Determinación del Caudal de diseño con la Distribución Log – Normal de 2 Parámetros con software Hidroesta 2</i> .....	82
Figura 29: <i>Determinación del Caudal de diseño con la Distribución Log – Normal de 3 Parámetros con software Hidroesta 2</i> .....	82
Figura 30: <i>Determinación del Caudal de diseño con la Distribución Gamma de 2 Parámetros con software Hidroesta 2</i> .....	83
Figura 31: <i>Determinación del Caudal de diseño con la Distribución Gamma de 3 Parámetros con software Hidroesta 2</i> .....	83
Figura 32: <i>Determinación del Caudal de diseño con la Distribución Log – Pearson Tipo III con software Hidroesta 2</i> .....	84
Figura 33: <i>Determinación del Caudal de diseño con la Distribución Gumbel con software Hidroesta 2</i> .....	84
Figura 34: <i>Determinación del Caudal de diseño con la Distribución Log – Gumbel con software Hidroesta 2</i> .....	85
Figura 35: <i>Resultados del estudio de suelos de la Muestra 01</i> .....	86
Figura 36: <i>Resultados del estudio de suelos de la Muestra 02</i> .....	87
Figura 37: <i>Resultados del estudio de suelos de la Muestra 03</i> .....	88
Figura 38: <i>Resultados del estudio de suelos de la Muestra 04</i> .....	89
Figura 39: <i>Resultados del estudio de suelos de la Muestra 05</i> .....	90
Figura 40: <i>Datos Iniciales de los parámetros topográficos y geotécnicos de la Sección 0+100 en Microsoft Excel</i> .....	91
Figura 41: <i>Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+100 en Microsoft Excel. Parte 01</i> .....	92
Figura 42: <i>Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+100 en Microsoft Excel. Parte 02</i> .....	93
Figura 43: <i>Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+100 en Microsoft Excel. Parte 01</i> .....	94
Figura 44: <i>Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+100 en Microsoft Excel. Parte 02</i> .....	95
Figura 45: <i>Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+100 en Microsoft Excel. Parte 03</i> .....	96
Figura 46: <i>Cálculo de socavación general en Sección 0+100 en Microsoft Excel</i> 97	
Figura 47: <i>Resumen del cálculo de socavación general en Sección 0+100 en Microsoft Excel</i> .....	98
Figura 48: <i>Cálculo de profundidad de uña de enrocado de protección en Sección 0+100 en Microsoft Excel</i> .....	98
Figura 49: <i>Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+100 en Microsoft Excel. Parte 01</i> .....	99
Figura 50: <i>Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+100 en Microsoft Excel. Parte 02</i> .....	100
Figura 51: <i>Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+100 en Microsoft Excel. Parte 03</i> .....	101

Figura 52: Resumen de cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+100 en Microsoft Excel .....	102
Figura 53: Datos Iniciales de los parámetros topográficos y geotécnicos de la Sección 0+200 en Microsoft Excel .....	103
Figura 54: Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+200 en Microsoft Excel. Parte 01 .....	104
Figura 55: Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+200 en Microsoft Excel. Parte 02 .....	105
Figura 56: Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+200 en Microsoft Excel. Parte 01.....	106
Figura 57: Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+200 en Microsoft Excel. Parte 02.....	107
Figura 58: Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+200 en Microsoft Excel. Parte 03.....	108
Figura 59: Cálculo de socavación general en Sección 0+200 en Microsoft Excel .....	109
Figura 60: Resumen del cálculo de socavación general en Sección 0+200 en Microsoft Excel.....	110
Figura 61: Cálculo de profundidad de uña de enrocado de protección en Sección 0+200 en Microsoft Excel.....	110
Figura 62: Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+200 en Microsoft Excel. Parte 01.....	111
Figura 63: Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+200 en Microsoft Excel. Parte 02.....	112
Figura 64: Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+200 en Microsoft Excel. Parte 03.....	113
Figura 65: Resumen de cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+200 en Microsoft Excel .....	114
Figura 66: Datos Iniciales de los parámetros topográficos y geotécnicos de la Sección 0+300 en Microsoft Excel .....	115
Figura 67: Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+300 en Microsoft Excel. Parte 01 .....	116
Figura 68: Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+300 en Microsoft Excel. Parte 02 .....	117
Figura 69: Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+300 en Microsoft Excel. Parte 01.....	118
Figura 70: Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+300 en Microsoft Excel. Parte 02.....	119
Figura 71: Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+300 en Microsoft Excel. Parte 03.....	120
Figura 72: Cálculo de socavación general en Sección 0+300 en Microsoft Excel .....	121
Figura 73: Resumen del cálculo de socavación general en Sección 0+300 en Microsoft Excel.....	122
Figura 74: Cálculo de profundidad de uña de enrocado de protección en Sección 0+300 en Microsoft Excel.....	122

Figura 75: Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+300 en Microsoft Excel. Parte 01.....	123
Figura 76: Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+300 en Microsoft Excel. Parte 02.....	124
Figura 77: Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+300 en Microsoft Excel. Parte 03.....	125
Figura 78: Resumen de cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+300 en Microsoft Excel.....	126
Figura 79: Datos Iniciales de los parámetros topográficos y geotécnicos de la Sección 0+400 en Microsoft Excel.....	127
Figura 80: Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+400 en Microsoft Excel. Parte 01.....	128
Figura 81: Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+400 en Microsoft Excel. Parte 02.....	129
Figura 82: Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+400 en Microsoft Excel. Parte 01.....	130
Figura 83: Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+400 en Microsoft Excel. Parte 02.....	131
Figura 84: Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+400 en Microsoft Excel. Parte 03.....	132
Figura 85: Cálculo de socavación general en Sección 0+400 en Microsoft Excel.....	133
Figura 86: Resumen del cálculo de socavación general en Sección 0+400 en Microsoft Excel.....	134
Figura 87: Cálculo de profundidad de uña de enrocado de protección en Sección 0+400 en Microsoft Excel.....	134
Figura 88: Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+400 en Microsoft Excel. Parte 01.....	135
Figura 89: Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+400 en Microsoft Excel. Parte 02.....	136
Figura 90: Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+400 en Microsoft Excel. Parte 03.....	137
Figura 91: Resumen de cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+400 en Microsoft Excel.....	138
Figura 92: Datos Iniciales de los parámetros topográficos y geotécnicos de la Sección 0+450 en Microsoft Excel.....	139
Figura 93: Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+450 en Microsoft Excel. Parte 01.....	140
Figura 94: Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+450 en Microsoft Excel. Parte 02.....	141
Figura 95: Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+450 en Microsoft Excel. Parte 01.....	142
Figura 96: Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+450 en Microsoft Excel. Parte 02.....	143
Figura 97: Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+450 en Microsoft Excel. Parte 03.....	144

Figura 98: <i>Cálculo de socavación general en Sección 0+450 en Microsoft Excel</i> .....	145
Figura 99: <i>Resumen del cálculo de socavación general en Sección 0+450 en Microsoft Excel</i> .....	146
Figura 100: <i>Cálculo de profundidad de uña de enrocado de protección en Sección 0+450 en Microsoft Excel</i> .....	146
Figura 101: <i>Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+450 en Microsoft Excel. Parte 01</i> .....	147
Figura 102: <i>Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+450 en Microsoft Excel. Parte 02</i> .....	148
Figura 103: <i>Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+450 en Microsoft Excel. Parte 03</i> .....	149
Figura 104: <i>Resumen de cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+450 en Microsoft Excel</i> .....	150
Figura 105: <i>Datos Iniciales de los parámetros topográficos y geotécnicos de la Sección 0+500 en Microsoft Excel</i> .....	151
Figura 106: <i>Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+500 en Microsoft Excel. Parte 01</i> .....	152
Figura 107: <i>Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+500 en Microsoft Excel. Parte 02</i> .....	153
Figura 108: <i>Tablas para cálculo de socavación local de la Sección 0+500 en Microsoft Excel. Parte 01</i> .....	154
Figura 109: <i>Tablas para cálculo de socavación local de la Sección 0+500 en Microsoft Excel. Parte 02</i> .....	155
Figura 110: <i>Tablas para cálculo de socavación local de la Sección 0+500 en Microsoft Excel. Parte 03</i> .....	155
Figura 111: <i>Cálculo de socavación local en Sección 0+500 en Microsoft Excel. Parte 01</i> .....	156
Figura 112: <i>Cálculo de socavación local en Sección 0+500 en Microsoft Excel. Parte 02</i> .....	157
Figura 113: <i>Cálculo de socavación local en Sección 0+500 en Microsoft Excel. Parte 03</i> .....	158
Figura 114: <i>Resumen del cálculo de socavación local en Sección 0+500 en Microsoft Excel</i> .....	159
Figura 115: <i>Cálculo de profundidad de manto de enrocado de protección en Sección 0+500 en Microsoft Excel</i> .....	160
Figura 116: <i>Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+500 en Microsoft Excel. Parte 01</i> .....	160
Figura 117: <i>Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+500 en Microsoft Excel. Parte 02</i> .....	161
Figura 118: <i>Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+500 en Microsoft Excel. Parte 03</i> .....	162
Figura 119: <i>Resumen de cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+500 en Microsoft Excel</i> .....	163
Figura 120: <i>Datos Iniciales de los parámetros topográficos y geotécnicos de la Sección 0+550 en Microsoft Excel</i> .....	164

Figura 121: <i>Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+450 en Microsoft Excel. Parte 01</i> .....	165
Figura 122: <i>Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+550 en Microsoft Excel. Parte 02</i> .....	166
Figura 123: <i>Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+550 en Microsoft Excel. Parte 01</i> .....	167
Figura 124: <i>Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+550 en Microsoft Excel. Parte 02</i> .....	168
Figura 125: <i>Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+550 en Microsoft Excel. Parte 03</i> .....	169
Figura 126: <i>Cálculo de socavación general en Sección 0+550 en Microsoft Excel</i> .....	170
Figura 127: <i>Resumen del cálculo de socavación general en Sección 0+550 en Microsoft Excel</i> .....	171
Figura 128: <i>Cálculo de profundidad de uña de enrocado de protección en Sección 0+550 en Microsoft Excel</i> .....	171
Figura 129: <i>Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+550 en Microsoft Excel. Parte 01</i> .....	172
Figura 130: <i>Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+550 en Microsoft Excel. Parte 02</i> .....	173
Figura 131: <i>Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+550 en Microsoft Excel. Parte 03</i> .....	174
Figura 132: <i>Resumen de cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+550 en Microsoft Excel</i> .....	175
Figura 133: <i>Datos Iniciales de los parámetros topográficos y geotécnicos de la Sección 0+600 en Microsoft Excel</i> .....	176
Figura 134: <i>Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+600 en Microsoft Excel. Parte 01</i> .....	177
Figura 135: <i>Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+600 en Microsoft Excel. Parte 02</i> .....	178
Figura 136: <i>Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+600 en Microsoft Excel. Parte 01</i> .....	179
Figura 137: <i>Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+600 en Microsoft Excel. Parte 02</i> .....	180
Figura 138: <i>Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+600 en Microsoft Excel. Parte 03</i> .....	181
Figura 139: <i>Cálculo de socavación general en Sección 0+600 en Microsoft Excel</i> .....	182
Figura 140: <i>Resumen del cálculo de socavación general en Sección 0+600 en Microsoft Excel</i> .....	183
Figura 141: <i>Cálculo de profundidad de uña de enrocado de protección en Sección 0+600 en Microsoft Excel</i> .....	183
Figura 142: <i>Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+600 en Microsoft Excel. Parte 01</i> .....	184
Figura 143: <i>Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+600 en Microsoft Excel. Parte 02</i> .....	185

Figura 144: Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+600 en Microsoft Excel. Parte 03.....	186
Figura 145: Resumen de cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+600 en Microsoft Excel .....	187
Figura 146: Datos Iniciales de los parámetros topográficos y geotécnicos de la Sección 0+700 en Microsoft Excel .....	188
Figura 147: Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+700 en Microsoft Excel. Parte 01 .....	189
Figura 148: Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+700 en Microsoft Excel. Parte 02 .....	190
Figura 149: Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+700 en Microsoft Excel. Parte 01.....	191
Figura 150: Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+700 en Microsoft Excel. Parte 02.....	192
Figura 151: Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+700 en Microsoft Excel. Parte 03.....	193
Figura 152: Cálculo de socavación general en Sección 0+700 en Microsoft Excel .....	194
Figura 153: Resumen del cálculo de socavación general en Sección 0+700 en Microsoft Excel.....	195
Figura 154: Cálculo de profundidad de uña de enrocado de protección en Sección 0+700 en Microsoft Excel.....	195
Figura 155: Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+700 en Microsoft Excel. Parte 01.....	196
Figura 156: Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+700 en Microsoft Excel. Parte 02.....	197
Figura 157: Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+700 en Microsoft Excel. Parte 03.....	198
Figura 158: Resumen de cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+700 en Microsoft Excel .....	199
Figura 159: Datos Iniciales de los parámetros topográficos y geotécnicos de la Sección 0+800 en Microsoft Excel .....	200
Figura 160: Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+800 en Microsoft Excel. Parte 01 .....	201
Figura 161: Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+800 en Microsoft Excel. Parte 02 .....	202
Figura 162: Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+800 en Microsoft Excel. Parte 01.....	203
Figura 163: Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+800 en Microsoft Excel. Parte 02.....	204
Figura 164: Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+800 en Microsoft Excel. Parte 03.....	205
Figura 165: Cálculo de socavación general en Sección 0+800 en Microsoft Excel .....	206
Figura 166: Resumen del cálculo de socavación general en Sección 0+800 en Microsoft Excel.....	207



Figura 167: Cálculo de profundidad de uña de enrocado de protección en Sección 0+800 en Microsoft Excel.....	207
Figura 168: Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+800 en Microsoft Excel. Parte 01.....	208
Figura 169: Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+800 en Microsoft Excel. Parte 02.....	209
Figura 170: Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+800 en Microsoft Excel. Parte 03.....	210
Figura 171: Resumen de cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+800 en Microsoft Excel.....	211
Figura 172: Datos Iniciales de los parámetros topográficos y geotécnicos de la Sección 0+900 en Microsoft Excel.....	212
Figura 173: Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+900 en Microsoft Excel. Parte 01.....	213
Figura 174: Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+900 en Microsoft Excel. Parte 02.....	214
Figura 175: Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+900 en Microsoft Excel. Parte 01.....	215
Figura 176: Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+900 en Microsoft Excel. Parte 02.....	216
Figura 177: Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+900 en Microsoft Excel. Parte 03.....	217
Figura 178: Cálculo de socavación general en Sección 0+900 en Microsoft Excel.....	218
Figura 179: Resumen del cálculo de socavación general en Sección 0+900 en Microsoft Excel.....	219
Figura 180: Cálculo de profundidad de uña de enrocado de protección en Sección 0+900 en Microsoft Excel.....	219
Figura 181: Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+900 en Microsoft Excel. Parte 01.....	220
Figura 182: Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+900 en Microsoft Excel. Parte 02.....	221
Figura 183: Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+900 en Microsoft Excel. Parte 03.....	222
Figura 184: Resumen de cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+900 en Microsoft Excel.....	223
Figura 185: Datos Iniciales de los parámetros topográficos y geotécnicos de la Sección 1+000 en Microsoft Excel.....	224
Figura 186: Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 1+000 en Microsoft Excel. Parte 01.....	225
Figura 187: Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 1+000 en Microsoft Excel. Parte 02.....	226
Figura 188: Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 1+000 en Microsoft Excel. Parte 01.....	227
Figura 189: Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 1+000 en Microsoft Excel. Parte 02.....	228

Figura 190: <i>Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 1+000 en Microsoft Excel. Parte 03.</i> .....	229
Figura 191: <i>Cálculo de socavación general en Sección 1+000 en Microsoft Excel</i> .....	230
Figura 192: <i>Resumen del cálculo de socavación general en Sección 1+000 en Microsoft Excel</i> .....	231
Figura 193: <i>Cálculo de profundidad de uña de enrocado de protección en Sección 1+000 en Microsoft Excel</i> .....	231
Figura 194: <i>Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 1+000 en Microsoft Excel. Parte 01</i> .....	232
Figura 195: <i>Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 1+000 en Microsoft Excel. Parte 02</i> .....	233
Figura 196: <i>Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 1+000 en Microsoft Excel. Parte 03</i> .....	234
Figura 197: <i>Resumen de cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 1+000 en Microsoft Excel</i> .....	235
Figura 198: <i>Parámetros hidráulicos de la Sección 0+100 con proyecto</i> .....	236
Figura 199: <i>Parámetros hidráulicos de la Sección 0+200 con proyecto</i> .....	237
Figura 200: <i>Parámetros hidráulicos de la Sección 0+300 con proyecto</i> .....	238
Figura 201: <i>Parámetros hidráulicos de la Sección 0+400 con proyecto</i> .....	239
Figura 202: <i>Parámetros hidráulicos de la Sección 0+450 con proyecto</i> .....	240
Figura 203: <i>Parámetros hidráulicos de la Sección 0+500 con proyecto</i> .....	241
Figura 204: <i>Parámetros hidráulicos de la Sección 0+550 con proyecto</i> .....	242
Figura 205: <i>Parámetros hidráulicos de la Sección 0+600 con proyecto</i> .....	243
Figura 206: <i>Parámetros hidráulicos de la Sección 0+700 con proyecto</i> .....	244
Figura 207: <i>Parámetros hidráulicos de la Sección 0+800 con proyecto</i> .....	245
Figura 208: <i>Parámetros hidráulicos de la Sección 0+900 con proyecto</i> .....	246
Figura 209: <i>Parámetros hidráulicos de la Sección 1+000 con proyecto</i> .....	247

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: <i>Fotografía del estado actual del pilar del puente Conache (Noviembre 2023)</i> .....	2
Fotografía 02: <i>Vista general del puente Conache desde aguas arriba (Noviembre 2023)</i> . ....	248
Fotografía 03: <i>Identificación de defensas ribereñas existentes (Noviembre 2023)</i> . .....	248
Fotografía 04: <i>Medición de rocas de enrocado existente (Noviembre 2023)</i> . ....	249
Fotografía 05: <i>Medición de rocas de enrocado existente (Noviembre 2023)</i> . ....	249
Fotografía 06: <i>Medición de calzada de puente (Noviembre 2023)</i> . ....	250
Fotografía 07: <i>Medición de la subestructura del puente (Noviembre 2023)</i> . ....	250

## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Problema e investigación**

#### **1.1.1. Realidad problemática**

En el distrito de Laredo, provincia de Trujillo, Región La Libertad, se encuentra el puente Conache, el cual une la ciudad de Laredo, capital del distrito, con el pueblo de Conache. Dicho puente presenta un solo pilar debido a que en esa zona se genera una contracción natural del cauce, lo cual hace que el puente no tenga más de 40 metros de largo; sin embargo, este ha presentado una disminución en el lecho en la zona donde descansa el pilar, pudiéndose observar la zapata del pilar descubierta casi en su totalidad, además de una disminución en el nivel de las riberas aledañas a dicho puente en donde ya se ha colocado un enrocado de defensa ribereña en un cierto tramo; ambos efectos acentuados por las avenidas extraordinarias acontecidas debido al fenómeno del niño costero del año 2017 y el Ciclón Yaku del 2023.

Teniendo en cuenta la variación en los niveles del fondo del lecho debido al efecto de socavación, la presente tesis plantea por el diseño estructuras de protección que reduzcan la inestabilidad de las riberas de los ríos y de las estructuras que se introducen al flujo a raíz de la remoción de material del fondo, siendo los enrocados. Según (Martín Vide, 2001), las estructuras de protección hidráulica más utilizadas en la ingeniería fluvial en los Estados Unidos son los enrocados (Rip-rap), siendo esta una estructura no monolítica, la cual puede adaptarse y reagruparse conforme vaya variando la superficie en la que se encuentran.

**Fotografía 1:** *Fotografía del estado actual del pilar del puente Conache (Noviembre 2023).*



*Nota: Fuente propia.*

### **1.1.2. Enunciado del problema:**

¿De qué manera afectan los efectos de socavación general a las riberas del Río Moche en el tramo perteneciente al Puente Conache, y los efectos de socavación local al pilar del Puente Conache en el distrito de Laredo, provincia de Trujillo?

### **1.2. Objetivos:**

#### **1.2.1. Objetivo General:**

Estudiar los efectos de socavación general en el Río Moche en el tramo perteneciente al Puente Conache, y de socavación local en el pilar del Puente Conache, con el fin de mitigar ambos efectos con estructuras de enrocados de protección.

### 1.2.2. Objetivos Específicos:

- Realizar el levantamiento topográfico y posterior modelamiento digital del terreno de la zona de estudio.
- Realizar el estudio hidrológico de la cuenca correspondiente.
- Realizar el estudio de suelos de los sedimentos del fondo del cauce y de las riberas de la zona de estudio.
- Determinar el comportamiento hidráulico del cauce en la zona de estudio (Modelo sin proyecto).
- Determinar las profundidades críticas de socavación general del cauce en el tramo de estudio y de profundidad de socavación local del pilar del Puente Conache.
- Proponer una solución para ambos tipos de socavación mediante enrocado de defensas ribereñas y enrocados de protección del pilar del puente.
- Realizar el modelamiento con proyecto de la solución propuesta.

### 1.3. Justificación del Estudio:

Debido a la influencia del efecto de socavación general en las riberas del río Moche en el tramo perteneciente al Puente Conache, y local en el pilar del Puente Conache, es importante estudiar y determinar las profundidades de socavación que se podría presentar a raíz de una avenida extraordinaria.

Esta investigación pretende proponer una solución a los efectos de socavación general del río Moche, en el tramo perteneciente al Puente Conache, y de socavación local en el pilar del Puente Conache mediante enrocados de protección para ambos tipos de socavaciones.

## II. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1. Antecedentes del estudio:

- a. (Orbegoso Alayo & Roldán Mora, 2020): *(Diseño Estructural del Puente Conache, sobre el Río Moche, en la Carretera Industrial – Centro Poblado Santo domingo, distrito de Laredo. Tesis de titulación en Ingeniería Civil.)*

## Resumen:

Los autores centran el desarrollo de la tesis en el diseño estructural y antisísmico del puente, tomando no sólo en cuenta parámetros estructurales sino también referentes a topografía, hidrología, hidráulica, y estudio geotécnico, necesarios para cubrir con el amplio abanico de demanda de datos para llevar a cabo tal diseño.

Recopilaron datos de los caudales máximos anuales del Río Moche de la Estación meteorológica Quirihuac, los cuales les sirvieron para determinar un caudal de diseño en base a un análisis de frecuencia y posterior prueba de bondad de ajuste de los mismos, teniendo como resultado que el modelo de distribución Log – Normal de Tipo 2 era el que mejor se ajustaba. Los autores presentan 2 datos para caudales de diseño, ambos en base a la recomendación del (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012), el cual indica que: para construcción de puentes, se debía considerar un riesgo admisible de 25 años, lo cual se tradujo a un Periodo de Retorno de 140 años, mientras que para el cálculo de socavación, se debía considerar directamente un Periodo de Retorno de 500 años; dándoles así, valores de caudales de diseño de 540.42 m<sup>3</sup>/s y 744.11 m<sup>3</sup>/s respectivamente.

Tanto para el levantamiento topográfico y el muestreo de suelos, siguieron las recomendaciones del (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012); obteniendo resultados de pendiente del río de 1.25%, ancho de la sección del cauce de entre 45 y 83 metros, y valores de diámetros medios y pesos específicos de su muestreo de suelos.

**Tabla 1:** *Resumen de estudio de suelos para estimación de socavación del Puente Conache.*

RESUMEN ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS				
N° Calicata	Ubicación	D50	Peso específico	Clasificación SUCS
C-1	Eje río - estribo izquierdo	0.813	2.57	Arena mal graduada con limo y grava (SP-SM)
C-2	Eje río - estribo derecho	13.694	2.56	Grava mal graduada con limo y arena (GP-GM)

C-3	B metros aguas arriba	7.319	2.56	Grava mal graduada con limo y arena (GP-GM)
C-4	0.5B metros aguas abajo	19.835	2.56	Grava mal graduada con limo y arena (GP-GM)

*Nota. Fuente: (Diseño Estructural del Puente Conache, sobre el Río Moche, en la Carretera Industrial – Centro Poblado Santo domingo, distrito de Laredo. Tesis de titulación en Ingeniería Civil.), por (Orbegoso Alayo & Roldán Mora, 2020)*

- b.** (Armas Meléndez, 2021): *(Análisis de la Socavación Local en los Pilares del Puente Moche Ubicado en la Ciudad de Trujillo Mediante Simulación Hidráulica en HEC-RAS. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Civil.)*

**Resumen:**

La autora se centra exclusivamente en el cálculo de la socavación local en los pilares del Puente Moche, indicando de manera adicional una “propuesta de protección” de un enrocado, la cual está basada en una serie de recomendaciones obtenidas del (Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje) del MTC.

A su vez, concluye en sus resultados un caudal de diseño de 263.61 m<sup>3</sup>/s para un período de retorno de 500 años.

- c.** (Cueva Vazallo & Gutiérrez Zapata, 2023): *(Estudio de la socavación local en las subestructuras de los puentes Conache, Cacique, Santa Rosa y Moche - Trujillo 2023. Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero Civil)*

**Resumen:**

Los autores logran determinar las profundidades de socavación local en los pilares de los 4 puentes mencionados (2.71m, 1.94m, 1.75m, y 1.37m respectivamente), y sus respectivas profundidades de socavación general (1.81m, 1.98m, 1.16m, y 1.51m respectivamente), habiendo determinado un caudal de diseño de 1010.02 m<sup>3</sup>/s para un período de retorno de 500 años.

**d.** (Lauchlan & Melville, 2001): *(Riprap Protection at Bridge Piers)*

**Resumen:**

Los autores plantean una nueva metodología para predecir el diámetro medio de roca para enrocados para protección de pilares de puentes en base a comparaciones entre otros métodos como Quazi & Peterson, Parola, Croad, Chiew & Lim, entre otros, y resultados experimentales a escala realizados por ellos mismos, teniendo como referencia para su posterior análisis las profundidades de socavación local con enrocado y sin enrocado de protección.

Concluyen que el principal factor de falla que presentan los enrocados de protección de pilares de puentes es la desestabilización de las capas del enrocado, debido a la degradación de las formas del lecho; mientras que los mecanismos de borde, corte y arrastre juegan un papel secundario

Luego de la determinación del límite de falla, determinan que el método de Richardson & Davis era el que mejor predecía y más se acercaba a los valores obtenidos en las pruebas a escala, el cual recomiendan, para usos prácticos, para calcular el diámetro medio de roca para enrocados para protección de pilares de puentes.

**e.** (Vásquez Cáceres & Nureña Moncada, 2019): *(Identificación de áreas inundables mediante modelamiento hidráulico del Río Moche, tramo Puente Moche - desembocadura playa Buenos Aires, Trujillo-2019. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil)*

**Resumen:**

Los autores plantean un estudio acerca de la cuantificación de las áreas aledañas al tramo del río Moche, entre el puente Moche y la desembocadura del mismo, que serían propensas a inundaciones en caso se presenten eventuales caudales de máxima avenida bajo períodos de retorno de 50, 100, 150 y 200 años. Determinando caudales de 366.08 m<sup>3</sup>/s, 406.45 m<sup>3</sup>/s,



430.06 m<sup>3</sup>/s, y 466.81 m<sup>3</sup>/s, y áreas de inundación respectivas de 410,770.43m<sup>2</sup>, 620,116.37m<sup>2</sup>, 1,185,158.49m<sup>2</sup>, y 1,676,368.68m<sup>2</sup>.

## **2.2. Marco teórico**

### **2.2.1. Hidrología:**

(Villón Béjar, 2002), designa al fenómeno de la precipitación, dentro del ciclo hidrológico, como punto inicial de partida para el diseño de cualquier obra de ingeniería hidráulica. Esto es debido a que este fenómeno, al estar directamente relacionado al aumento del caudal de una determinada cuenca, puede llegar a generar condiciones desfavorables al ser humano si la precipitación llegase a ser mayor de lo que habitualmente una población, ciudad o país está acostumbrado.

De igual manera, (Terán Adriazola, 1998), indica que, en base a ciertos aspectos que se pueden extraer del estudio hidrológico, se puede llegar a diseñar estructuras que controlen o solucionen aspectos negativos que puedan ocasionar las masas de agua en movimiento.

### **A. Eventos hidrometeorológicos extraordinarios:**

(Rocha Felices, 1998), considera que debemos observar a los ríos como elementos naturales de los cuales debemos defendernos. Las avenidas, producto de la aparición de determinadas condiciones hidrometeorológicas, o las inundaciones, que son fenómenos de tipo hidráulico, ya que pueden ocurrir sin que haya un evento de crecidas o de algún evento hidrometeorológico extraordinario. Resalta que entre los efectos negativos de estos eventos extraordinarios están los aumentos significativos de caudales que ocasionan rebalses o inundaciones de las masas de agua, así como un incremento en el efecto de socavación.

Estos eventos hidrometeorológicos extraordinarios están directamente relacionados con el aumento del caudal de un cauce (avenida). (Vargas Coca, 2016), indica que una avenida es la elevación del nivel de curso de agua significativamente mayor que el flujo medio de éste. Durante la crecida, el caudal

de un curso de agua aumenta en tales proporciones que el lecho del río puede resultar insuficiente para poder contenerlo.

## **B. Caudales máximos:**

(Villón Béjar, 2002), indica que “la magnitud del caudal de diseño, es función directa del período de retorno que se le asigne, el que a su vez depende de la importancia de la obra y de la vida útil de ésta” (pág. 241).

### **Caudal Máximo Instantáneo:**

Tanto el (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012) y el (ANA (Autoridad Nacional del Agua), 2015), indican que cuando se realicen proyectos de diseño de protección o de control de inundaciones, se requieren los caudales máximos instantáneos anuales.

Este concepto es reforzado por (Steiner & Fill, 2003), que mencionan que cuando se diseñan y proyectan estructuras hidráulicas con caudales promedio diarios puede provocar posibles riesgos de fallo, ya que los caudales máximos instantáneos pueden llegar a ser considerablemente mayores que los caudales promedio diarios.

Concluyen mencionando que diseñar y proyectar estructuras hidráulicas en base a los caudales máximos instantáneos ha traído innumerables beneficios y mejoras en el comportamiento de las simulaciones hidráulicas en varios ríos de Brasil, en comparación con los métodos tradicionales.

Menciona que, la determinación de dichos caudales máximos instantáneos se realizaría con el “*Método de Fuller*”, se realiza utilizando como base los caudales máximos anuales calculados mediante la EC.01.

$$Q_{inst} = Q \left( 1 + \left( \frac{2.66}{A^3} \right) \right) \quad (\text{Ec. 01})$$

Donde el Caudal Instantáneo  $Q_{inst}$ , se determina utilizando el caudal máximo anual  $Q$ , y el área de la cuenca en cuestión  $A$  en  $\text{km}^2$ .

### C. Período de retorno:

Para la determinación del caudal de diseño, (Villón Béjar, 2002), indica que “si un evento igual o mayor a  $Q$ , ocurre una vez en  $T$  años, su probabilidad de ocurrencia  $P$ , es igual a 1 en  $T$  casos” (pág. 242), esto quiere decir:

$$P = \frac{1}{T} \quad (\text{Ec. 02})$$

Donde:

- ✓  $P$  = Probabilidad de ocurrencia de un caudal  $Q$
- ✓  $T$  = Período de retorno

El (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012), indica que, al incluir la determinación de riesgo en el diseño de estructuras de defensas ribereñas, se elabora un cálculo para hallar el ‘Período de retorno’, conforme a los riesgos de falla asociado y a la vida útil  $n$  de la estructura.

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (\text{Ec. 03})$$

**Tabla 2:** Valores del período de retorno “ $T$ ” asociado al riesgo “ $R$ ” y la vida útil “ $n$ ” de la estructura.

Riesgo	Vida útil de la obra (n) en años							
	1	10	15	20	25	50	100	200
0.01	100	995.5	1493	1990.5	2488	4975.5	9950.4	19900.3
0.1	10	95.4	142.9	190.3	237.8	475.1	949.6	1898.7
0.2	5	45.3	67.7	90.1	112.5	224.6	448.6	896.8
0.3	3.3	28.5	42.6	56.6	70.6	140.7	280.9	561.2
0.332	3	25.3	37.7	50.1	62.5	124.4	248.4	496.2
0.4	2.5	20.1	29.9	39.7	49.4	98.4	196.3	392
0.5	2	14.9	22.1	29.4	36.6	72.6	144.8	289
0.75	1.3	7.7	11.3	14.9	18.5	36.6	72.6	144.8
0.99	1	2.7	3.8	4.9	5.9	11.4	22.2	43.9

*Nota.* Fuente: (Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje) del (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012)

**Tabla 3:** Valores máximos recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje.

TIPO DE OBRA	RIESGO ADMISIBLE (%)
Puentes	25
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	30
Alcantarillas de paso de quebradas menores y descarga de agua de cunetas	35
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	40
Subdrenes	40
Defensas Ribereñas	25

*Nota.* Fuente: (Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje) del (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012)

El (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012) hace énfasis en las siguientes consideraciones:

- ✓ Que, para el cálculo de socavación en puentes, se recomienda un período de retorno “T” de 500 años.
- ✓ Que, tanto para puentes como para defensas ribereñas, considerar un tiempo de vida útil de 40 años.

#### **D. Cálculo de caudal de máxima avenida:**

(Villón Béjar, 2002), menciona 5 métodos distintos para el cálculo de caudal máximo; estos son:

- ✓ Método directo: Basado en analizar las características físicas del cauce para encontrar las capacidades máximas del mismo.
- ✓ Métodos empíricos: Basados en coeficientes de escorrentía de los tipos de suelos, intensidad de precipitaciones, y características de la cuenca en estudio.
- ✓ Métodos del número de curva: Basados en coeficientes de escorrentía y drenaje de los tipos de suelos.

- ✓ Métodos estadísticos probabilísticos: Basados en registros históricos y la proyección estadística de ocurrencia de una máxima avenida en un cierto período.
- ✓ Métodos hidrológicos: Basados en estimar precipitaciones máximas y acondicionarlas a las características de escurrimiento de la cuenca.

### **Métodos Estadísticos Probabilísticos:**

(Terán Adriazola, 1998), afirma que estos métodos permiten estimar una máxima avenida de diseño mediante extrapolación de datos históricos, resultando valores aceptables con registros de a partir de 50 años, ya que para esta cantidad de años se han podido observar avenidas de modera magnitud; sin embargo, una extrapolación excesiva puede ocasionar errores en la apreciación de los resultados con respecto a la realidad.

Al margen de los errores que pueda acarrear la extrapolación excesiva de datos, (Terán Adriazola, 1998), también afirma que los métodos de distribución de valores extremos, para proyectos de enrocados de protección, se emplean con bastante aceptación. De igual manera, (Aparicio Mijares, 1992), afirma que el cálculo de una máxima avenida es un proceso tan complejo que es imposible generar una estimación confiable en base a métodos físicos o mecánicos; es por esto que los métodos estadísticos son generalmente los más confiables para solucionar este tipo de problemas, en particular para el análisis hidrológico.

El (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012) menciona que el análisis estadístico de datos hidrológicos tiene la finalidad de estimar precipitaciones y hasta caudales máximos para diferentes periodos de retorno mediante la aplicación de modelos o “distribuciones” probabilísticas.

El (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012) recomienda textualmente las siguientes distribuciones:

- ✓ Distribución Normal.
- ✓ Distribución Log – Normal 2 Parámetros.
- ✓ Distribución Log – Normal 3 Parámetros.
- ✓ Distribución Gamma 2 Parámetros.

- ✓ Distribución Gamma 3 Parámetros.
- ✓ Distribución Log – Pearson Tipo III.
- ✓ Distribución Gumbel.
- ✓ Distribución Log – Gumbel.

(Villón Béjar, 2002), recomienda utilizar varias distribuciones, de tal manera que luego se pueda comprobar cuál se ajusta mejor a los parámetros de la cuenca en estudio mediante alguna prueba estadística, como por ejemplo la prueba de bondad de ajuste.

**- Pruebas de bondad de ajuste:**

El (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012), afirma que las pruebas de bondad de ajuste son pruebas en base a hipótesis, utilizadas para determinar si un conjunto de datos forma parte de una muestra independiente de una de las distribuciones escogidas.

A su vez, autores como (Aparicio Mijares, 1992) y el mismo (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012), afirman que las pruebas de bondad de ajuste más conocidas y utilizadas son las de *Chi – Cuadrado* y la de *Kolmogorov – Smirnov*.

### **2.2.2. Topografía**

(Rocha Felices, 1998), indica que el comportamiento de los ríos depende directamente de su propia topografía, ya que el desarrollo de un río y las formas que éste puede adoptar son distintas en una zona plana que en una zona accidentada.

#### **A. Levantamiento topográfico:**

(Terán Adriazola, 1998), menciona que, gracias a los cálculos hidráulicos e hidrológicos, se puede localizar el eje central del cauce, así como la amplitud del mismo, lo que permite a su vez localizar las áreas a proteger y la ubicación de las estructuras de encauzamiento o de defensas.

#### **B. Secciones Transversales y Perfil Longitudinal:**

(Terán Adriazola, 1998), continúa indicando que se proceden a determinar las secciones del cauce a ambos lados del eje, con el fin de determinar las áreas de corte y relleno; así como la obtención del perfil longitudinal para determinar las pendientes que pueda tener el cauce.

El (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012), indica una serie de consideraciones a seguir con respecto al alcance del estudio topográfico en relación a las obras que se desean diseñar.

### **2.2.3. Mecánica de suelos**

Es en base a las ecuaciones para cálculo de los parámetros hidráulicos (Ver Cuadro 1; Cuadro 2 y Cuadro 3), y en base a las ecuaciones de Cálculo de Socavación General y Local (Ver Cuadro 4 y Cuadro 5) que se determinan los datos necesarios del análisis de sedimentos del fondo del lecho. Estos datos requeridos son esencialmente de granulometría ( $d_{50}$ ;  $d_{80}$ ;  $d_{85}$  y  $d_{90}$ ), peso específico, y gravedad específica del material del lecho del cauce en estudio.

Por lo que los ensayos requeridos para obtener estos datos del material del lecho del cauce son:

- ✓ Ensayo para el Análisis Granulométrico de suelos (Norma ASTM D422).
- ✓ Ensayo para la Determinación de Gravedad Específica (Norma ASTM D854).

### **2.2.4. Hidráulica:**

(Chow, 1959), inicia abordando el tema de hidráulica con la definición y clasificación de flujos en canales abiertos.

(Pérez Morales, Rodríguez Castro, & Molina Aguilar, 2018), indica que es debido a las características del flujo y su relación con su propia variación a través del tiempo, que los clasifican de la siguiente manera:

- ✓ **Flujo uniforme o permanente:** Se clasifica de esta manera cuando las características del flujo en una cierta sección del canal no varían con el paso del tiempo, es decir, se mantienen permanentes.
- ✓ **Flujo no uniforme o no permanente:** Se clasifica de esta manera cuando las características del flujo en una cierta sección del canal varían con respecto al paso del tiempo debido a factores diversos, estos a su vez se pueden sub clasificar en flujo “Sub Crítico”, “Crítico”, o “Súper Crítico”, teniendo como límite diferenciador al Número de Froude y la unidad.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gy}} = \frac{V}{\sqrt{g^4R}} \quad (\text{Ec. 32})$$

$Fr < 1$  ... Flujo Sub Crítico

$Fr = 1$  ... Flujo Crítico

$Fr > 1$  ... Flujo Súper Crítico

Donde “Fr” es el Número de Froude, “V” es la velocidad media del flujo, en metros por segundo, “g”, la aceleración de la gravedad, en metros por segundo al cuadrado, “y”, el tirante hidráulico de la sección, en metros, y “R”, el radio hidráulico, en metros.

De igual manera, (Chow, 1959), clasifica a los flujos a través de su estado o comportamiento, el cual está determinado por los efectos de viscosidad y gravedad en función con las fuerzas inerciales del mismo flujo; basándose en que la tensión superficial del agua puede afectar el comportamiento del flujo, sin embargo, no juega un papel importante en la mayor parte de las inquietudes en lo que a canales abiertos respecta.

- ✓ **Flujo laminar:** Cuando las fuerzas viscosas son muy fuertes en comparación con las fuerzas inerciales. En este flujo, las partículas de agua se desplazan de forma suave y definida, creando un efecto de lámina en la superficie.
- ✓ **Flujo turbulento:** Cuando las fuerzas viscosas son débiles en comparación con las fuerzas inerciales. Las partículas de agua se



desplazan de manera irregular y violenta, rompiendo con el efecto de lámina en la superficie.

- ✓ **Flujo de transición:** Estado mixto o intermedio entre ambos estados del flujo.

#### A. Teoría del Régimen Estable:

Según (Maza Álvarez, 1985), todos los ríos presentan un “equilibrio natural”, en donde parámetros como: caudal, tirante, geometría de la sección transversal, pendiente y transporte de sedimentos, tienden a actuar en armonía, y si se llegase a modificar alguno de estos parámetros, ya sea de forma natural o artificial, estos parámetros variarán y cambiarán las características del cauce hasta encontrar nuevamente condiciones de equilibrio.

Fuentes como (Rocha Felices, 1998), (Martín Vide, 2001), entre otros, consideran que la teoría fue originada en la India, a raíz de los trabajos hechos por “Kennedy” en 1895, haciendo observaciones de canales de regadíos, encontrando empíricamente en ellos un equilibrio natural entre caudal, tirante, y velocidad, que posteriormente se vería reflejado en la siguiente fórmula en sistema inglés:

$$V = 0.84 * y^{0.64} \quad (\text{Ec. 33})$$

Donde “V” es la velocidad media del flujo, en pies por segundo, y “y”, el tirante hidráulico de la sección, en pies.

Indican que posteriormente en 1929, Gerald Lacey daría a conocer su método para dimensionar el ancho estable de un cauce y su tirante hidráulico, el cual serviría como base para futuras fórmulas de distintos autores, la cual se expresa en sistema métrico:

$$B = 4.831 * Q^{1/2} \quad (\text{Ec. 34})$$

$$y = 0.128 * \frac{Q^{1/3}}{d_{50}^{1/6}} \quad (\text{Ec. 35})$$

Donde “B” es el ancho estable del cauce, expresado en metros; “y”, el tirante hidráulico, también expresado en metros; “Q”, el caudal de diseño, expresado en metros cúbicos por segundo; y “d<sub>50</sub>”, el diámetro medio de las partículas del fondo del lecho, expresado en metros.

(Martín Vide, 2001), define a la teoría del régimen como una “síntesis de conocimientos empíricos aplicables a la estabilidad de cauces en ríos que transportan sedimento” (pg. 172).

Es gracias a esta teoría empírica que se desarrollaron un sinnúmero de ecuaciones para aproximar los parámetros hidráulicos teóricos de un cauce en base a parámetros iniciales como el caudal y/o las características geotécnicas del lecho.

#### **B. Cálculo de Ancho estable de cauce:**

Diversas fuentes se han citado y estudiado para el cálculo de un cauce en base a la teoría del régimen estable. Una recopilación de estas fórmulas se presenta en el Cuadro 1.

**Tabla 4:** *Valores del ancho estable de un cauce en función de su caudal de diseño.*

<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Ancho Estable (B)</b>
3000	200
2400	190
1500	120
1000	100
500	70

*Nota.* Fuente: (Tratamiento de Cauce del Río Paucartambo para el Control de Inundación y Erosión) por (ANA (Autoridad Nacional del Agua), 2015)

**Tabla 5:** Valores de K1 para la fórmula de Simons & Henderson

<b>Tipo de material de suelo</b>	<b>K1</b>
Fondo y orillas de arena	5.7
Fondo arena y orillas de material cohesivo	4.2
Fondo y orillas de material cohesivo	3.6
Fondo y orillas del cauce de grava	2.9
Fondo arena y orillas de material no cohesivo	2.8

*Nota.* Fuente: (Diseño y Construcción de Defensas Ribereñas) por (Terán Adriazola, 1998)

**Tabla 6:** Valores del coeficiente de rugosidad de Manning

<b>Tipo de material de suelo</b>	<b>n</b>
Corrientes limpias, rectas, máximo nivel, sin montículos no pozos profundos	0.03
Igual al anterior, pero con más piedras y malezas	0.035
Limpio, serpenteante, algunos pozos y bancos de arena	0.04
Igual al anterior, pero con algunos matorrales y piedras	0.045
Igual al anterior, niveles bajos, pendientes y secciones más ineficientes	0.048
Igual a la 4, pero con más piedras	0.05
Tramos lentos, con malezas y pozos profundos	0.07
Tramos con muchas malezas, pozos profundos o canales de crecientes con muchos árboles con matorrales bajos	0.1

*Nota.* Fuente: (Diseño y Construcción de Defensas Ribereñas) por (Terán Adriazola, 1998), como se citó en (Diseño de una Defensa Ribereña Mediante Enrocado en el Río Chillón, Sector Yangas. Tramo: Km 34 - 40. Tesis de titulación profesional) por (Díaz Vílchez & Millán Arriola, 2020)

**Cuadro 1: Recopilación de metodologías para calcular el ancho estable teórico de un cauce**

Método	Fuente	Ecuación	Simbología	Consideraciones Adicionales
Recomendación Práctica del ANA	(Tratamiento de Cauce del Río Paucartambo para el Control de Inundación y Erosión) por (ANA (Autoridad Nacional del Agua), 2015)	Ver Tabla 8	-	Interpolar datos si el valor deseado del caudal de diseño no se encuentra en la tabla
Blench	(Diseño y Construcción de Defensas Ribereñas) por (Terán Adiazola, 1998)	$B = 1.81 * \left( Q * \left( \frac{Fb}{Fs} \right) \right)^{0.5}$	B = Ancho estable de cauce [m]	Fb = 0.80 (material de lecho fino); 1.20 (material de lecho grueso) Fs = 0.10 (material granular); 0.20 (material ligeramente cohesivo); 0.30 (material cohesivo)
Farraday & Charlton	(Introducción a la Hidráulica Fluvial - Primera Edición) por (Rocha Felices, 1998)	$B = 14 * Q^{0.5} * d_{50}^{0.25} * Fs^{-0.5}$	Q = Caudal de diseño [m³/s]  Fb = Factor de fondo  Fs = Factor de orilla	Fs = 0.10 (material granular); 0.20 (material ligeramente cohesivo); 0.30 (material cohesivo)
Petits	(Tratamiento de Cauce del Río Paucartambo para el Control de Inundación y Erosión) por (ANA (Autoridad Nacional del Agua), 2015)	$B = 4.44 * Q^{0.5}$	d <sub>50</sub> = Tamaño medio de partículas del lecho [m]  S = Pendiente [m/m]	-

Método	Fuente	Ecuación	Simbología	Consideraciones Adicionales
Simons & Henderson	(Diseño y Construcción de Defensas Ribereñas) por (Terán Adriazola, 1998)	$B = K1 * Q^{0.5}$	B = Ancho estable de cauce [m]	K1 = Coeficiente de suelo (ver Tabla N°03)
Manning & Strickler	(Diseño y Construcción de Defensas Ribereñas) por (Terán Adriazola, 1998), como se citó en (Diseño de una Defensa Ribereña Mediante Enrocado en el Río Chillón, Sector Yangas. Tramo: Km 34 - 40. Tesis de titulación profesional) por (Díaz Vílchez & Millán Arriola, 2020)	$B = \left( \frac{Q^{1/2}}{S^{1/5}} \right) * (n * Ks^{5/3})^{3/(3+5m)}$	Q = Caudal de diseño [m³/s] Fb = Factor de fondo Fs = Factor de orilla	n = Coeficiente de rugosidad de Manning (ver Tabla N°04) K = Coeficiente de suelo (ver Tabla N°05) m = Coeficiente de tipo de cauce (ver Tabla N°06)
Lacey	(Ingeniería de Ríos) por (Martín Vide, 2001)	$B = 4.831 * Q^{0.5}$	d <sub>50</sub> = Tamaño medio de partículas del lecho [m] S = Pendiente [m/m]	-

*Nota.* Las fuentes correspondientes a cada metodología se encuentran en el mismo cuadro. Elaboración: Propia.

**Tabla 7:** Valores del coeficiente de rugosidad de Strickler

Tipo de material de suelo	K
Lechos naturales de río con fondo sólido sin irregularidades	40
Lechos naturales de río con acarreo irregular	33
Lechos naturales de río con vegetación	30
Lechos naturales de río con derrubio e irregularidades	30
Lechos naturales de río con fuerte transporte de acarreo	28
Torrentes con derrubios gruesos (piedra de tamaño de una cabeza) con acarreo inmóvil	28

*Nota.* Fuente: (Diseño y Construcción de Defensas Ribereñas) por (Terán Adriazola, 1998), como se citó en (Diseño de una Defensa Ribereña Mediante Enrocado en el Río Chillón, Sector Yangas. Tramo: Km 34 - 40. Tesis de titulación profesional) por (Díaz Vílchez & Millán Arriola, 2020)

**Tabla 8:** Valores del coeficiente de Tipo de Cauce

Tipo de cauce	m
Ríos de caucs aluviales	0.50
Ríos de cauces arenosos	0.70
Ríos de cauce de montañas	1.00

*Nota.* Fuente: (Diseño y Construcción de Defensas Ribereñas) por (Terán Adriazola, 1998), como se citó en (Diseño de una Defensa Ribereña Mediante Enrocado en el Río Chillón, Sector Yangas. Tramo: Km 34 - 40. Tesis de titulación profesional) por (Díaz Vílchez & Millán Arriola, 2020)

### C. Cálculo de parámetros hidráulicos:

- **Tirante hidráulico:**

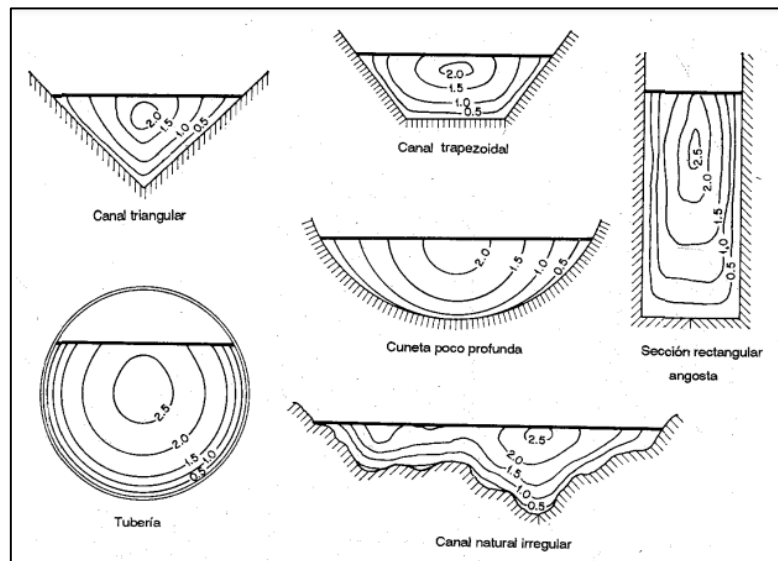
(Terán Adriazola, 1998), indica que teniendo en cuenta algunos parámetros del cauce (caudal de máxima avenida, pendiente promedio, coeficiente de rugosidad de Manning, ancho estable del río, etc.) se puede

determinar el valor del tirante, pudiendo ser calculado mediante diversos métodos dependiendo de los datos que se tengan. Una recopilación de las metodologías más utilizadas para calcular el tirante hidráulico se presenta en el Cuadro 2.

- **Velocidad media de cauce:**

(Chow, 1959), indica que las velocidades en la sección de un cauce no son del todo uniformes; esto es debido a las notables diferencias de rugosidad y fricción como en, por ejemplo, la superficie de agua y el fondo del lecho del cauce. Sugiere que, la máxima velocidad media se encuentra de entre 0.05 y 0.25 veces el tirante medido desde la superficie libre. Una recopilación de las metodologías más utilizadas para calcular la velocidad media se presenta en el Cuadro 3

**Figura 1:** *Curvas comunes de igual velocidad en diferentes secciones de canal*



*Nota.* Fuente: (Hidráulica de Canales Abiertos (Traducción de Juan G. Saldarriaga)) por (Chow, 1959)

**Cuadro 2:** *Recopilación de metodologías para calcular el tirante teórico de un cauce*

Método	Fuente	Ecucación	Simbología	Consideraciones Adicionales
Lacey	(Ingeniería de Ríos) por (Martín Vide, 2001)	$y = 0.128 * \left( \frac{Q^{1/3}}{d_{50}^{1/6}} \right)$	y = Tirante hidráulico [m]	Aplicable para arenas $d_{50} < 0.4$ mm
Blench	(Introducción a la Hidráulica Fluvial - Primera Edición) por (Rocha Felices, 1998)	$y = \left( Q * \left( \frac{Fs}{Fb^2} \right) \right)^{1/3}$	Q = Caudal de diseño [m³/s]  $d_{50}$ = Tamaño medio de partículas del lecho [m]	Fb = 0.80 (material de lecho fino); 1.20 (material de lecho grueso) Fs = 0.10 (material granular); 0.20 (material ligeramente cohesivo); 0.30 (material cohesivo)
Manning & Strickler	(Diseño y Construcción de Defensas Ribereñas) por (Terán Adiazola, 1998)	$y = \left( \frac{Q}{Ks * B * S^{0.5}} \right)^{3/5}$	Fb = Factor de fondo  Fs = Factor de orilla  S = Pendiente [m/m]	K = Coeficiente de rugosidad de Strickler (ver Tabla 11)
Farraday & Charlton	(Introducción a la Hidráulica Fluvial - Primera Edición) por (Rocha Felices, 1998)	$y = 0.38 * q^{0.67} * d_{50}^{-0.17}$	q = Descarga unitaria [m³/s/m]	-

*Nota.* Las fuentes correspondientes a cada metodología se encuentran en el mismo cuadro. Elaboración: Propia.



**Cuadro 3:** *Recopilación de metodologías para calcular la velocidad media teórica de un cauce*

Método	Fuente	Ecucación	Simbología	Consideraciones Adicionales
Lacey	(Estructuras Hidráulicas - Segunda Edición. Traducción a español de la segunda edición del libro "Hydraulic Structures" por el ing. Germán Santos Granados) por (Novak, Moffat, Nalluri, & Narayanan, 2001)	$V = 0.635(fR)^{0.5}$	V = Velocidad media del flujo [m/s] R = Radio hidráulico [m]	f = Factor de fondo = $(2500*d_{50})^{0.5}$ d <sub>50</sub> = Tamaño medio de partículas del lecho [m]
Manning	(Introducción a la Hidráulica Fluvial - Primera Edición) por (Rocha Felices, 1998)	$V = \frac{R^{2/3} * S^{1/2}}{n}$	V = Velocidad media del flujo [m/s] R = Radio hidráulico [m] S = Pendiente [m/m]	n = Coeficiente de rugosidad de Manning (ver Tabla 10)
Manning & Strickler	(Diseño y Construcción de Defensas Ribereñas) por (Terán Adiazola, 1998)	$V = K_s * R^{2/3} * S^{1/2}$	V = Velocidad media del flujo [m/s] R = Radio hidráulico [m] S = Pendiente [m/m]	K = Coeficiente de rugosidad de Strickler (ver Tabla 11)

*Nota.* Las fuentes correspondientes a cada metodología se encuentran en el mismo cuadro. Elaboración: Propia.

#### D. Dimensionamiento de dique:

- **Altura de dique:**

(Terán Adriazola, 1998), explica que para determinar la altura del dique de encauzamiento se tiene que sumar la dimensión del tirante más un borde libre, el cual está en función de la carga de la velocidad.

$$H = y + BL \quad (\text{Ec. 36})$$

$$BL = \Phi e \quad (\text{Ec. 37})$$

$$e = \frac{v^2}{2g} \quad (\text{Ec. 38})$$

Donde  $H$  vendría a ser la altura del dique;  $y$  el tirante hidráulico;  $BL$  el borde libre;  $e$  la carga de la velocidad; y  $\Phi$  un coeficiente que está en función del caudal, obtenido de Tabla 9.

**Tabla 9:** Valores prácticos del coeficiente para calcular el borde libre de muros de encauzamiento

Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Coficiente ( $\Phi$ )
3000 - 4000	2.00
2000 - 3000	1.70
1000 - 2000	1.40
500 - 1000	1.20
100 - 50	1.10

*Nota.* Fuente: (Diseño y Construcción de Defensas Ribereñas) por (Terán Adriazola, 1998)

- **Ancho de corona:**

(Guevara Álvarez, 2013), indica una serie de pautas y recomendaciones puntuales acerca del dimensionamiento que deberían tener los anchos de corona para diques enrocados.

En la primera recomendación apela al “Código de Arizona”, indicando la siguiente tabla:

**Tabla 10:** *Ancho de corona mínimo según el Código de Arizona*

Altura de presa (m)	Ancho de corona (m)
< 12	3.00
12 a 45	4.50
> 45	6.00

*Nota.* Fuente: (Estructuras Hidráulicas) por (Guevara Álvarez, 2013)

En la segunda recomendación, nos indica los valores mínimos según el HIMAT (Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras):

- ✓ 3.00 metros de ancho mínimo de corona cuando no se utiliza como vía.
- ✓ 3.60 metros de ancho mínimo de corona cuando se utiliza como vía.

En la tercera recomendación, nos indica una recomendación práctica, la cual consiste en que el ancho de la corona sea igual a  $\frac{1}{4}$  de la altura del dique.

- **Taludes:**

“Por regla general, al talud húmedo por estar sometido a la acción del agua se le asigna una pendiente más suave para evitar deslizamientos”. (Guevara Álvarez, 2013, pág. 107).

**Tabla 11:** Taludes recomendados para presas de material homogéneo sobre bases compactas y estables

Material del terraplén	Altura de la presa (m)	Inclinación del talud H:V	
		Aguas arriba	Aguas abajo
Arcillas de baja plasticidad	Hasta 4	2:1	1:5:1
	4 a 8m	2:5:1	2:1
Arcillas arenosas	Hasta 4	3:1	2:1
	4 a 8m	3:5:1	2:5:1
Arenas arcillosas, arcillas muy plásticas, limos elásticos	Hasta 4	4:1	3:1
	4 a 8m	4:1	3:1

Nota. Fuente: (Estructuras Hidráulicas) por (Guevara Álvarez, 2013)

**Tabla 12:** Inclinación de los taludes de presas homogéneas

Altura de la presa (m)	Inclinación del talud H:V	
	Aguas arriba	Aguas abajo
≤ 5.0	2.0:1.0	1.5 a 1.75:1.0
5.1 a 10.0	2.5:1.0	2.0:1.0
10.1 a 15.0	2.75 a 3.0:1.0	2.5:1.0
15.1 a 30.0	3.0 a 3.5:1.0	2.5 a 2.75:1.0

Nota. Fuente: (Estructuras Hidráulicas) por (Guevara Álvarez, 2013)

### 2.2.5. Socavación:

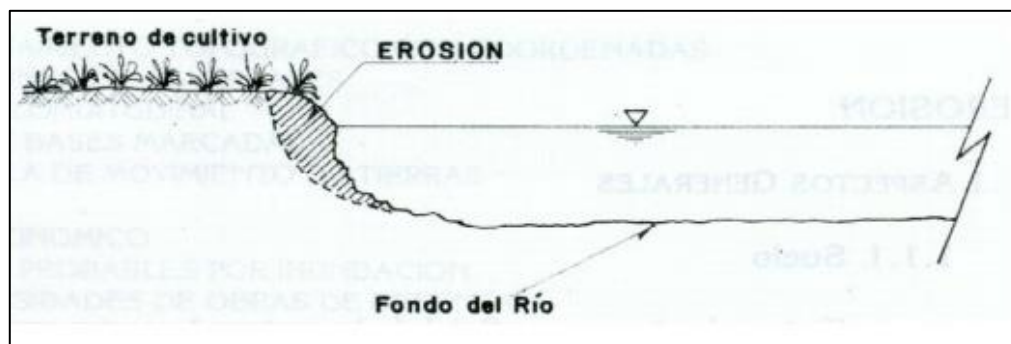
Según (Rocha Felices, 1998), los procesos, tanto físicos como químicos, por los cuales se erosiona una cuenca son agentes naturales capaces de remover o transportar los materiales terrestres; tales como: la escorrentía superficial, el viento, movimientos propios del agua, entre otros.

Indica también que estos procesos, así como pueden remover el material de cierta zona, pueden llevar dichos materiales y llevarla a otra zona (transporte de sedimentos) adicionándose al material existente; a estos fenómenos los denomina como *degradación* y *agradación*.

Explica a la degradación (disminución de niveles, erosión, socavación) como un proceso que incluye tres procesos básicos, que son el intemperismo, las pérdidas violentas de suelo, y la erosión en general. Y, por su parte, explica la agradación como el proceso inverso.

Por su parte, (Terán Adriazola, 1998), afirma que los principales causantes del efecto de la erosión son: la fuerza que el agua ejerce en el suelo, el desprendimiento de partículas, y su posterior transporte gracias a las corrientes del agua. Esto lo comparten (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 1974), afirmando que, en avenidas, la velocidad del agua se ve aumentada, lo que, en consecuencia, hace que la capacidad de arrastre aumente.

**Figura 2:** *Erosión fluvial – ribereña*



*Nota.* Fuente: (Diseño y Construcción de Defensas Ribereñas) por (Terán Adriazola, 1998)

#### **A. Socavación General:**

(Carrillo Hernández, 2021), indica que, independientemente si el cauce presenta o no una estructura u obra, el fenómeno de socavación general ocurre en todos los cauces a modo de pérdida generalizada de partículas del lecho.

Una de las causas más comunes de socavación general es el efecto de contracción que el flujo ejerce, así lo indica (Guevara Álvarez, Socavación en Puentes, 2016), quien también asegura que el método de cálculo de socavación general por contracción de Lischtav – Levediev es el más usado en Colombia; por su parte (Terán Adriazola, 1998) y (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 1974), estiman que ese mismo método es el que más se ajusta

a los trabajos ejecutados en cauces naturales definidos. El método presenta dos ecuaciones, tanto para suelos cohesivos, como para suelos granulares no cohesivos:

**LISCHTAV – LEVEDIEV:**

Para suelos cohesivos (tamaño de partícula  $\leq 0.062$  mm):

$$Y_S = \left( \frac{\alpha * y^{5/3}}{0.60 * \gamma^{1.18} * \beta} \right)^{\frac{1}{1+X}} \quad (\text{Ec. 39})$$

$$\alpha = \frac{Qd}{Ym^{5/3} * B * \mu} \quad (\text{Ec. 40})$$

$$Ym = \frac{A}{B} = \frac{(B+Zy)y}{B} \quad (\text{Ec. 41})$$

Para suelos granulares - no cohesivos (tamaño de partícula  $> 0.062$  mm):

$$Y_S = \left( \frac{\alpha * y^{5/3}}{0.68 * d_{50}^{0.28} * \beta} \right)^{\frac{1}{1+X}} \quad (\text{Ec. 42})$$

$$\alpha = \frac{Qd}{Ym^{5/3} * B * \mu} \quad (\text{Ec. 43})$$

$$Ym = \frac{A}{B} = \frac{(B+Zy)y}{B} \quad (\text{Ec. 44})$$

Donde:

- ✓  $Y_S$  = Tirante de socavación [m]
- ✓  $\alpha$  = Coeficiente
- ✓  $Qd$  = Caudal de diseño [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]
- ✓  $Ym$  = Profundidad hidráulica media [m]
- ✓  $A$  = Área hidráulica [ $\text{m}^2$ ]
- ✓  $B$  = Ancho estable [m]
- ✓  $Zy$  = Talud horizontal húmedo
- ✓  $y$  = Tirante hidráulico [m]
- ✓  $\mu$  = Coeficiente de contracción (obtenido de Tabla 17)
- ✓  $\gamma$  = Peso específico del lecho [ $\text{kg}/\text{cm}^3$ ]
- ✓  $\beta$  = Coeficiente en base al Periodo de retorno (obtenido de Tabla 18)

- ✓  $X$  = Coeficiente en base a las características del material del lecho (obtenido de Tabla 19)
- ✓  $d_{50}$  = Diámetro medio de partículas del lecho [mm]

**Tabla 13:** Coeficiente de contracción " $\mu$ "

Velocidad media en la sección (m/s)	Longitud libre entre dos pilares (luz) en metros												
	10	13	16	18	21	25	30	42	52	63	106	124	200
< 1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.5	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
2	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
2.5	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
3	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.5	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.94	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
> 4.00	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.93	0.96	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99

*Nota.* Fuente: (Mecánica de Suelos Tomo III: Flujo de agua en suelos) por (Juárez

Badillo & Rico Rodríguez, 1974)

**Tabla 14:** Coeficiente en base al período de retorno " $\beta$ "

Período de retorno (Tr) en años	$\beta$
1	0.77
2	0.82
5	0.86
10	0.90
20	0.94
50	0.97
100	1.00
500	1.05
1000	1.07

*Nota.* Fuente: (Mecánica de Suelos Tomo III: Flujo de agua en suelos) por (Juárez

Badillo & Rico Rodríguez, 1974)

**Tabla 15:** Valores de “X” y “ $\frac{1}{1+X}$ ” para suelos cohesivos y no cohesivos

Suelos cohesivos			Suelos no cohesivos		
$\gamma_s$ (ton/m <sup>3</sup> )	X	$\frac{1}{1+X}$	Dm (mm)	X	$\frac{1}{1+X}$
0.80	0.52	0.66	0.05	0.43	0.70
0.82	0.51	0.66	0.15	0.42	0.70
0.86	0.50	0.67	0.50	0.41	0.71
0.88	0.49	0.67	1.00	0.40	0.71
0.90	0.48	0.67	1.50	0.39	0.72
0.93	0.47	0.68	2.50	0.38	0.72
0.96	0.46	0.68	4	0.37	0.73
0.98	0.45	0.69	6	0.36	0.74
1.00	0.44	0.69	8	0.35	0.74
1.04	0.43	0.70	10	0.34	0.75
1.08	0.42	0.70	15	0.33	0.75
1.12	0.41	0.71	20	0.32	0.76
1.16	0.40	0.71	25	0.31	0.76
1.20	0.39	0.72	40	0.30	0.77
1.24	0.38	0.72	60	0.29	0.78
1.28	0.37	0.73	90	0.28	0.78
1.34	0.36	0.74	140	0.27	0.79
1.40	0.35	0.74	190	0.26	0.79
1.46	0.34	0.75	250	0.25	0.80
1.52	0.33	0.75	310	0.24	0.81
1.58	0.32	0.76	370	0.23	0.81
1.64	0.31	0.76	450	0.22	0.83
1.71	0.30	0.77	570	0.21	0.83
1.80	0.29	0.78	750	0.20	0.83
1.89	0.28	0.78	1000	0.19	0.84
2.00	0.27	0.79			

*Nota.* Fuente: (Mecánica de Suelos Tomo III: Flujo de agua en suelos) por (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 1974)

Una publicación del Instituto de Recursos Hídricos de la ‘Universidad Nacional de Santiago del Estero de Argentina’, llamada: (Erosión General en Ríos Aluviales), por parte de (Farias, Pilán, Olmos, & Pece, 2008), presenta un compilado de ecuaciones que fueron algebraicamente modificadas para tener diferentes métodos reducidos a una misma expresión, pero con coeficientes diferentes, para una comparación genérica entre ellas. La ecuación tiene el siguiente esquema:



$$Y_s = C_0 * \frac{q^{C_1}}{d_{50}^{C_2}} \quad (\text{Ec. 45})$$

Donde:

- ✓  $Y_s$  = Tirante de socavación [m]
- ✓  $q$  = Descarga unitaria [ $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ ]
- ✓  $d_{50}$  = Tamaño medio de partículas del lecho [m]
- ✓  $C_0$ ;  $C_1$ ;  $C_2$  = Coeficientes obtenidos de la Tabla 16

**Tabla 16:** *Coeficientes para diferentes métodos para Socavación General*

Fórmula	$C_0$	$C_1$	$C_2$
Lischtvan - Lebediev	0.333	0.710	0.199
Laursen	0.205	0.860	0.284
Blench	0.380	0.667	0.167
Maza A. - García F.	0.209	0.870	0.305
Maza A. - Echevarría A.	0.365	0.784	0.157
Kellerhals	0.470	0.800	0.120

*Nota.* Fuente: (Erosión General en Ríos Aluviales) por (Farias, Pilán, Olmos, & Pece, 2008)

De igual manera en (Metodología para Calcular la Profundidad de Socavación General en Ríos de Montaña (Lecho de Gravas). Tesis Mag. en ingeniería de recurso hidráulicos) por (Barbosa Gil, 2013), presenta su propia compilación de ecuaciones modificadas algebraicamente para tener diferentes métodos reducidos a una misma expresión, pero con coeficientes diferentes, para una comparación genérica entre ellas. La ecuación tiene el siguiente esquema:

$$Y_s = k * \frac{q^\omega}{d_{50}^\eta} \quad (\text{Ec. 46})$$

Donde:

- ✓  $Y_s$  = Tirante de socavación [m]
- ✓  $q$  = Descarga unitaria [ $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ ]
- ✓  $d_{50}$  = Tamaño medio de partículas del lecho [m]

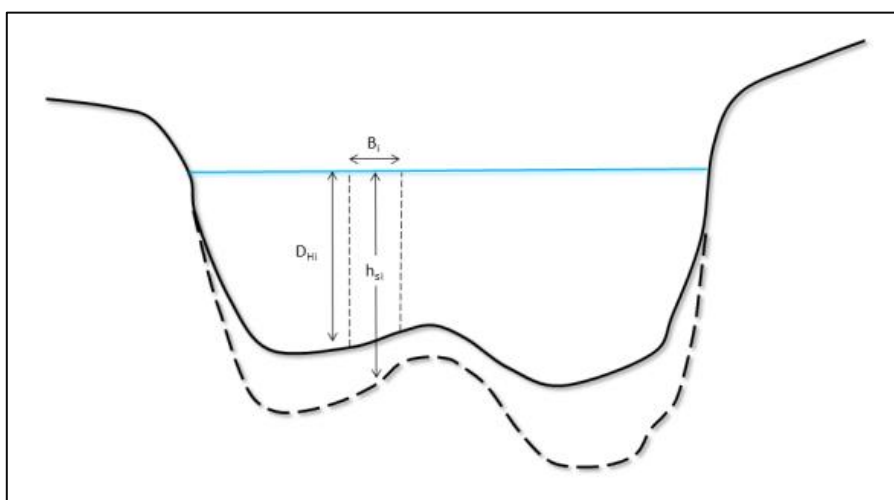
✓  $k$ ;  $\omega$ ;  $\eta$  = Coeficientes obtenidos de la Tabla 17.

**Tabla 17:** Coeficientes para diferentes métodos para Socavación General

Método	$k$	$\omega$	$\eta$
Maza A. - Echevarría A. (1973)	0.365	0.784	0.157
Lischtvan - Lebediev (1959)	0.310	0.758	0.212
Laursen (1963)	0.210	0.857	0.285
Maza A. - García F. (1978)	0.209	0.870	0.304
Neill (1980)	0.320	0.798	0.200
Neill (1930)	0.351	0.667	0.167
Blench (1939)	0.692	0.667	0.083

*Nota.* Fuente: (Metodología para Calcular la Profundidad de Socavación General en Ríos de Montaña (Lecho de Gravas). Tesis Mag. en ingeniería de recurso hidráulicos) por (Barbosa Gil, 2013)

**Figura 3:** Socavación General de un cauce



*Nota.* Fuente: (Metodología para Calcular la Profundidad de Socavación General en Ríos de Montaña (Lecho de Gravas). Tesis Mag. en ingeniería de recurso hidráulicos) por (Barbosa Gil, 2013)

En el Cuadro 4 se muestra un resumen a modo de recopilación de estos métodos para calcular la profundidad de socavación general.

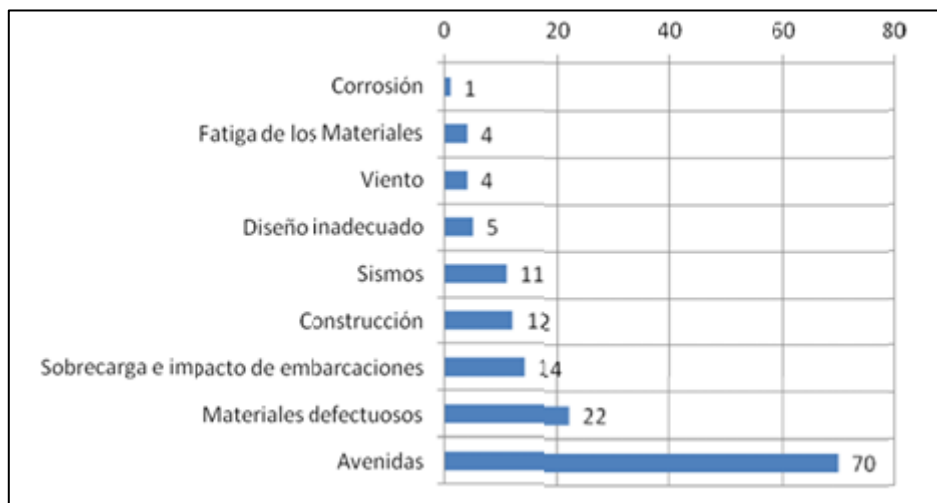
## B. Socavación Local:

(Rocha Felices, 1998), define a la socavación local como una “excavación por debajo de alguna cosa, dejándola en falso” (pág. 201). A su vez indica que la socavación local, vista como un fenómeno hidráulico, surge a raíz de movimientos en forma de vórtices que ocurren en las bases de ciertas estructuras, tales como los pilares de un puente o en la descarga de un aliviadero.

Sin embargo, plantea como solución a este problema ciertas medidas de protección (enrocados), y que resulta más eficiente el saber de forma precisa dónde colocarlas, que colocar muchas en lugares aleatorios.

A su vez, (Smith, 1976), realiza un estudio detallado sobre la cantidad de fallas ocurridas en 143 puentes de todo el mundo, en el cual obtuvo los siguientes resultados:

**Figura 4:** Resultados de D. W. Smith al analizar las fallas de 143 puentes



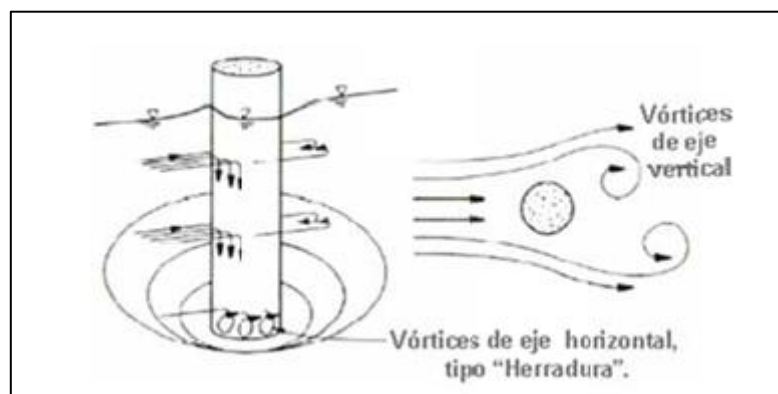
*Nota.* Fuente: (Introducción a la Hidráulica de Obras Viales. Tercera Edición) por (Rocha Felices, 2013)

(Rocha Felices, 2013), comenta respecto a este estudio hecho por D.W. Smith, donde se observa que casi la mitad de los puentes analizados sufrieron fallas a causa de efectos de socavación local por máximas avenidas. De igual manera, comenta que estudios hechos en Estados Unidos por la AASHTO en 1994, Shirole y Holt en 1991, y Wardhana y

Hadipriono entre los años 1989 y 2000; y todos concluyeron que más del 50% de los puentes que analizaron fallaron por efectos de socavación. A su vez, continúa comentando que en Colombia también se estudiaron fallas en puentes entre los años de 1996 y 2002, concluyendo que más del 70% de las fallas eran causadas por efectos de erosión y socavación.

Por su parte, (Gómez Cunya, 2010), indica que la acción de las corrientes, aceleraciones y desaceleraciones, y vórtices que se forman alrededor del pilar, son los factores principales en la generación del efecto de socavación local alrededor de los pilares; que dependiendo de factores como el tipo de pilar y las condiciones de flujo, se pueden presentar dos tipos de vórtices: vórtice herradura y vórtice estela, de los cuales, el vórtice herradura produce la fosa de erosión, siendo una fuerza vertical que, producido por el fuerte gradiente de presiones inducido por la inercia del flujo, es el mayor responsable de la socavación local; mientras que el segundo, que es el que deposita el sedimento aguas abajo, tiene un accionar horizontal parecido al de rodillos hidrodinámicos.

**Figura 5:** Representación gráfica de vórtices en herradura y vórtices de eje en pilares de puentes



*Nota.* Fuente: (Introducción a la Hidráulica de Obras Viales. Tercera Edición) por (Rocha Felices, 2013)

Según (Gómez Cunya, 2010), la fuerza del vórtice de herradura es la que ocasiona la socavación local alrededor del pilar, variando su nivel erosivo conforme varían factores como el ancho del pilar y la cantidad de movimiento del flujo por unidad de ancho en cercanías del pilar.

Asegura que, independientemente del tipo de régimen que genere la socavación (subcrítico o supercrítico), las variables que influyen en el proceso de la misma, y en la determinación de la profundidad de socavación, son:

- ✓ Geometría del pilar (longitud, ancho, forma de la nariz, ángulo vertical).
- ✓ Características del flujo (densidad del agua, viscosidad cinemática, tirante, velocidad media, aceleración de la gravedad, pendiente del cauce).
- ✓ Ángulo de incidencia del flujo (ángulo de ataque).
- ✓ Características del material del cauce (diámetro representativo de sedimentos, densidad de sedimentos, velocidad crítica).

En el Cuadro 5 se muestra un resumen a modo de recopilación de estos métodos para calcular la profundidad de socavación local.

## **2.2.6. Aspectos de Diseño:**

### **2.2.6.1. Diseño de Enrocado para Defensas Ribereñas:**

#### **A. Diámetro medio de roca para enrocado ( $D_{50}$ ):**

Fuentes como (Armas Meléndez, 2021), indican que es necesario calcular un tamaño de roca para enrocados que sean lo suficientemente óptimos para no ser arrastrados por la corriente de diseño proyectada.

Entre las fuentes más mencionadas, como (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012), indican que para el cálculo del tamaño de roca para enrocado existen diversos métodos, en donde cada uno presenta resultados distintos y hasta muy distantes unos con otros. Una recopilación de los métodos más utilizados para calcular el diámetro medio de roca para enrocado de defensas ribereñas se puede apreciar en el Cuadro 6.

**B. Profundidad de Uña de cimentación:**

Fuentes como (Espinoza Ruíz & Torres Sandoval, 2015) y (Briceño Vásquez, 2023), indican que la profundidad y dimensiones de la uña de cimentación está relacionada de manera directa con la profundidad de socavación; esto es debido a que el valor de la socavación máxima es el indicador para saber a qué profundidad y qué dimensión deberá tener la uña de cimentación del enrocado, para la cual adicionan un factor de seguridad.

**2.2.6.2. Diseño de Enrocado para Protección de Pilares de Puentes:****A. Diámetro medio de roca para enrocado ( $D_{50}$ ):**

Una recopilación de los métodos más utilizados para calcular el diámetro medio de roca para enrocado de defensas ribereñas se puede apreciar en el Cuadro 7.

**2.2.7. Simulación Hidráulica Digital:**

La (ASCE, 2000), indica que el modelado y simulación hidráulica es una técnica ampliamente aceptada y utilizada en ingeniería hidráulica para analizar y reproducir de manera precisa y a escala el comportamiento del flujo y transporte de fluidos, así como evaluar el funcionamiento de estructuras hidráulicas en esas condiciones.

El mayor beneficio de estas metodologías incide en la capacidad de replicar características complejas del flujo; esto ayuda a la reducción de recursos económicos ante la incertidumbre que podrían dar otras metodologías de diseño, y ayudar en la comunicación de conceptos complejos de hidráulica.

El (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012) afirma que “el sistema de Modelado Hidrológico es una aplicación desarrollada por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC – Hydrologic Engineering Center) del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (US Army Corps of Engineers)” (pág. 58)

**Cuadro 4:** Recopilación de metodologías para calcular la Socavación General teórica en cauces de ríos

Método	Fuente	Ecuación	Simbología	Consideraciones Adicionales
Lischvan - Lebediev	(Ingeniería de Ríos: apuntes de la materia) por (Pérez Morales, Rodríguez Castro, & Molina Aguilar, 2018).	<p>Para suelos cohesivos:</p> $Y_s = \left( \frac{\alpha * y^{5/3}}{0.60 * \gamma^{1.18} * \beta} \right)^{\frac{1}{1+X}}$ <p>Para suelos no cohesivos:</p> $Y_s = \left( \frac{\alpha * y^{5/3}}{0.68 * d_{50}^{0.28} * \beta} \right)^{\frac{1}{1+X}}$	y = Tirante hidráulico [m]	<p><math>\alpha</math>: Coeficiente hidráulico</p> $\alpha = \frac{Q}{d^{5/3} * B * \mu}$ <p><math>\mu</math>: Coeficiente de contracción (ver Tabla 14)</p> <p><math>\beta</math>: Coeficiente en base al periodo de retorno (ver Tabla 15)</p> <p><math>X</math>: Coeficiente en base al diámetro de partículas del lecho (ver Tabla 16)</p>
Maza & Echevarría			Ys = Tirante de socavación [m]	<p>k = 0.365</p> <p><math>\omega</math> = 0.784</p> <p><math>\eta</math> = 0.157</p>
Lischvan - Lebediev			Hs = Profundidad de socavación [m] = Ys - y	<p>k = 0.310</p> <p><math>\omega</math> = 0.758</p> <p><math>\eta</math> = 0.212</p>
Laursen	(Metodología para Calcular la Profundidad de Socavación General en Ríos de Montaña (Lecho de Gravas). Tesis Mag. en ingeniería de recurso	<p>Ecuación General:</p> $Y_s = k * \left( \frac{q^\omega}{d_{50}^\eta} \right)$	q = Descarga unitaria [m <sup>2</sup> /s]	<p>k = 0.210</p> <p><math>\omega</math> = 0.857</p> <p><math>\eta</math> = 0.285</p>
Maza & García	hidráulicos) por (Barbosa Gil, 2013).		d <sub>50</sub> = Tamaño medio de partículas del lecho [m]	<p>k = 0.209</p> <p><math>\omega</math> = 0.870</p> <p><math>\eta</math> = 0.304</p>
Neill				<p>k = 0.320</p> <p><math>\omega</math> = 0.798</p> <p><math>\eta</math> = 0.200</p>
Blench				<p>k = 0.692</p> <p><math>\omega</math> = 0.667</p> <p><math>\eta</math> = 0.083</p>

*Nota.* Las fuentes correspondientes a cada metodología se encuentran en el mismo cuadro. Elaboración: Propia.

**Cuadro 5: Recopilación de metodologías para calcular la Socavación Local teórica en pilares de puentes**

Método	Fuente	Ecuación	Simbología
Laursen & Toch		$H_s = 1.50 * b^{0.7} * y^{0.3}$	Hs = Profundidad de socavación [m]
Larras		$H_s = 1.05 * K_f * K_\phi * b^{0.75}$	y = Tirante hidráulico [m] b = Ancho de nariz del pilar [m]
Arunachalam		$H_s = 1.334q^{2/3} \left[ \left( 1.95 \left( \frac{1.334q^{2/3}}{b} \right)^{-1/6} \right) - 1 \right]$	q = Descarga unitaria [m <sup>2</sup> /s] d <sub>50</sub> = Tamaño medio de partículas del lecho [m]
Carsten	(Socavación en Puentes) por (Guevara Álvarez, Socavación en Puentes, 2016).	$H_s = 0.546 * b * \left( \frac{N_s - 1.25}{N_s - 5.02} \right)^{5/6}$	d <sub>80</sub> = Tamaño de las partículas del lecho pertenecientes al 80% [m] Fr = Número de Froude
Breusers		$H_s = 1.4 * b$	Fc = Número de Froude Crítico V = Velocidad media [m/s]
Froehlich		$H_s = 0.32K_f(b')^{0.62}y^{0.47}Fr^{0.22}d_{50}^{-0.09} + b$	Vc = Velocidad crítica [m/s] g = Aceleración de la gravedad [m/s <sup>2</sup> ]
CSU		$H_s = 2yK_1K_2K_3K_4 \left( \frac{b}{y} \right)^{0.65} Fr^{0.43}$	



Método	Fuente	Ecuación	Simbología
Inglis		$H_s = 1.70b \left( \frac{q^{2/3}}{b} \right)^{0.78} - y$	Hs = Profundidad de socavación [m] y = Tirante hidráulico [m]
Hancu	(Socavación Alrededor de Pilares de Puentes en Lechos Granulares No Cohesivos) por (Gómez Cunya, 2010).	$H_s = 2.42b \left[ 2 \left( \frac{V}{V_c} \right) - 1 \right] \left( \frac{V_c^2}{g * b} \right)$	b = Ancho de nariz del pilar [m] q = Descarga unitaria [m <sup>2</sup> /s] d <sub>50</sub> = Tamaño medio de partículas del lecho [m]
Flores		$H_s = b \left( 1.56 - 14.14 \frac{d_{80}}{b} \right) F^{(0.62 + 15.02 \frac{d_{50}}{b})}$	d <sub>80</sub> = Tamaño de las partículas del lecho pertenecientes al 80% [m] Fr = Número de Froude Fc = Número de Froude Crítico V = Velocidad media [m/s] Vc = Velocidad crítica [m/s] g = Aceleración de la gravedad [m/s <sup>2</sup> ]
Jain & Fischer		<p>Para: <math>Fr - Fc &gt; 0.2</math></p> $H_s = 2 * b * (Fr - Fc)^{0.25} * \left( \frac{y}{b} \right)^{0.5}$ <p>Para: <math>Fr - Fc &lt; 0</math></p> $H_s = 1.85 * b * (Fc)^{0.25} * \left( \frac{y}{b} \right)^{0.5}$	

*Nota.* Las fuentes correspondientes a cada metodología se encuentran en el mismo cuadro. Elaboración: Propia.

**Cuadro 6:** Recopilación de metodologías para calcular el Diámetro medio de roca de enrocados para defensas ribereñas

Método	Fuente	Ecuación	Simbología	Consideraciones Adicionales
Brown & Clyde	(Design of Riprap Revetment) por (Brown & Clyde, 1989).	$D_{50} = \frac{0.00594 * V^3}{y^{0.5} * K1^{1.5}}$	$D_{50}$ = Tamaño medio de roca para enrocado de protección [m] y = Tirante hidráulico [m] V = Velocidad media [m/s]	K1 = Coeficiente de estabilidad
Maynord	(Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje) por (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012).	$D_{50} = C1 * (y * Fr^3)$	FS = Factor de seguridad g = Aceleración de la gravedad [m/s <sup>2</sup> ] $\gamma_a$ = Densidad del agua [kg/cm <sup>3</sup> ] $\gamma_r$ = Densidad del material de enrocado [kg/cm <sup>3</sup> ]	C1 = Coeficiente de estabilidad
Maynord et al	(Riprap Design) por (Maynord, Ruff, & Abt, 1989).	$D_{30} = 0.3yFS \left( \left( \frac{\gamma_a}{\gamma_r - \gamma_a} \right)^{0.5} \frac{V}{\sqrt{gy}} \right)^{2.5}$		-

Método	Fuente	Ecucación	Simbología	Consideraciones Adicionales
USACE		$D_{30} = yFS C_e C_v C_t \left( \left( \frac{\gamma_a}{\gamma_r - \gamma_a} \right)^{0.5} \frac{V}{\sqrt{K1gy}} \right)^{2.5}$	$D_{50}$ = Tamaño medio de roca para enrocado de protección [m] y = Tirante hidráulico [m] V = Velocidad media [m/s]	$C_e$ = Coef. de estabilidad $C_v$ = Coef. de distribución de velocidad $C_t$ = Coef. de espesor de enrocado
Isbash	(Equation Selection and Rock Sizing) por (USACE, 1991).	$D_{50} = \frac{V^2}{2gT^2 * (G_s - 1)}$	q = Descarga unitaria [m <sup>2</sup> /s] FS = Factor de seguridad g = Aceleración de la gravedad [m/s <sup>2</sup> ] G <sub>s</sub> = Gravedad específica del material de protección de enrocado	T = Coeficiente de turbulencia
USBR		$D_{50} = 0.0122 * V^{2.06}$	S = Pendiente [m/m] R = Radio hidráulico [m] $\gamma_a$ = Densidad del agua [kg/cm <sup>3</sup> ] $\gamma_r$ = Densidad del material de enrocado [kg/cm <sup>3</sup> ]	-
ASCE		$D_{50} = \left( \frac{6W}{\pi\gamma_r} \right)^{1/3}$		$W = \frac{0.000041G_s V^6}{(G_s - 1)^3 \cos^3(\theta)}$
Abt & Johnson		$D_{50} = 5.23 * S^{0.43} * q^{0.56}$		-
Anderson et al		$D_{50} = \frac{\gamma_a * R * S}{4}$	$D_{50}$ = Tamaño medio de roca para enrocado de protección [m] y = Tirante hidráulico [m] V = Velocidad media [m/s]	-
Blaisdell	(Stream Restoration Design: Stone Sizing Cirteria) por (USDA, 2007).	$D_{50} = 0.00116 * \frac{V^3}{y^{0.5}}$	Vol = Volumen [m <sup>3</sup> ] S = Pendiente [m/m] R = Radio hidráulico [m] $\gamma_a$ = Densidad del agua [kg/cm <sup>3</sup> ]	-
CALTRANS		$D_{50} = \left( \frac{3Vol}{4\pi} \right)^{1/3}$		$W = \frac{0.00002}{(G_s - 1)^3} * \frac{0.67 * V^6 * G_s}{\text{sen}^3(r - a)}$

Nota. Las fuentes correspondientes a cada metodología se encuentran en el mismo cuadro. Elaboración: Propia.

**Cuadro 7: Recopilación de metodologías para calcular el Diámetro medio de roca de enrocados para pilares de puentes**

Método	Fuente	Ecuación	Simbología	Consideraciones Adicionales
Maza & García	(Ingeniería de Ríos: apuntes de la materia) por (Pérez Morales, Rodríguez Castro, & Molina Aguilar, 2018). (Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures) por (Lagasse, Zevenbergen, Schall, & Clopper, 2001).	$D_{50} = 1.2 * \left( \frac{V}{4.71 * \Delta\rho^{0.5} * y^{0.15}} \right)^{2.86}$		$\Delta\rho = \text{Diferencia de densidades}$ $\Delta\rho = \frac{\rho_a}{\rho_r - \rho_a}$
Isbash		$D_{50} = \frac{0.692 * (K * 1.2 * V)^2}{(Gs - 1) * 2g}$	$D_{50}$ = Tamaño medio de roca para enrocado de protección [m] $y$ = Tirante hidráulico [m] $V$ = Velocidad media [m/s] $Fr$ = Número de Froude $g$ = Aceleración de la gravedad [m/s <sup>2</sup> ] $Gs$ = Gravedad específica del material de protección de enrocado	$K$ = Coeficiente de forma
Buonasoundas		$D_{50} = 6 - 3.3V + 4V^2$		-
Breusers et al	(Mechanics of Riprap Failure at Bridge Piers) por (Chiew, 1995).	$D_{50} = \frac{1.38 * V^2}{(Gs - 1) * 2g}$		-
Richardson et al		$D_{50} = \frac{0.692 * (f1 * f2 * V)^2}{(Gs - 1) * 2g}$		$f1$ = Coeficiente de forma $f2$ = Coeficiente de velocidad

Método	Fuente	Ecucación	Simbología	Consideraciones Adicionales
Quazi & Peterson		$D_{50} = \frac{0.85}{(G_s - 1)^{1.25}} * Fr^{2.5} * y$		-
Breusers et al		$D_{50} = \frac{2.83}{G_s - 1} * Fr^2 * y$		-
Farraday & Charlton	(Equation Selection and Rock Sizing) por (USACE, 1991).	$D_{50} = 0.547 * Fr^3 * y$	$D_{50}$ = Tamaño medio de roca para enrocado de protección [m] $y$ = Tirante hidráulico [m] $V$ = Velocidad media [m/s] $Fr$ = Número de Froude $g$ = Aceleración de la gravedad [m/s <sup>2</sup> ] $G_s$ = Gravedad específica del material de protección de enrocado	-
Parola et al		$D_{50} = \frac{C}{G_s - 1} * Fr^2 * y$		$C$ = Coeficiente de forma
Breusers & Raudkivi		$D_{50} = \frac{0.278}{(G_s - 1)^{1.5}} * Fr^3 * y$		-
Austroroads		$D_{50} = \frac{0.58 * K_p * K_v}{G_s - 1} * Fr^2 * y$		$K_p$ = Coeficiente de forma $K_v$ = Coeficiente de velocidad

*Nota.* Las fuentes correspondientes a cada metodología se encuentran en el mismo cuadro. Elaboración: Propia.

### 2.3. Marco Conceptual

- **Análisis Granulométrico:** Estudio que permite conocer la medida de las partículas de los sedimentos presentes en una muestra.
- **Aguas arriba y aguas abajo:** Términos que sirven para especificar a cuál de ambos extremos longitudinales de un cauce se refiere.
- **Ángulo de ataque:** Ángulo con el cual el sentido del flujo del agua hace contacto con la estructura.
- **Ciclo del agua:** Serie de eventos naturales cíclicos físicos relacionados a los cuerpos de agua; teniendo como punto relativo de partida la evaporación, pasando por condensación, precipitación y escorrentía de los mismos.
- **Caudal de diseño:** Volumen de agua crítico, determinado mediante un análisis de frecuencia de los caudales medios anuales de una cuenca.
- **D<sub>50</sub>:** Diámetro medio de roca perteneciente al 50% de la curva granulométrica, determinado en base a los parámetros definidos por el flujo de un cauce para que formen parte de un enrocado.
- **Enrocado:** Estructura conformada por rocas con características específicas acomodadas de forma intencionada para defensa de riberas o protección de obras hidráulicas.
- **Erosión:** Factores climáticos que con el tiempo y persistencia desgastan una superficie sólida, como las lluvias, el paso del agua, o el viento.
- **Hidráulica Fluvial:** Sub rama de la hidráulica general. Esta estudia diversos componentes de los ríos, tales como el flujo del agua y sus sedimentos que pueda arrastrar con su corriente.
- **Máximas avenidas:** “Las avenidas son caudales extraordinarios, los cuales tiene una recurrencia interanual, el cual se mide por el periodo de retorno de dicha avenida.” (Martín Vide, 2001).

- **Número de Froude:** Relación entre la velocidad de un fluido y la velocidad de las ondas de superficie en dicho fluido. Esta relación determina si un flujo es subcrítico ( $Fr < 1$ ), crítico ( $Fr = 1$ ), o supercrítico ( $Fr > 1$ ).
- **Periodo de retorno:** Tiempo que representa la probabilidad de que se presente un caudal de determinada magnitud en un cierto año.
- **Pilar:** Estructuras que cumplen la función de columnas de la plataforma de un puente.
- **Probabilidad de ocurrencia de caudal:** Calidad probabilística de que un caudal se presente en un año cualquiera.
- **Socavación General:** Remoción de material de lecho en la toda la sección de río.
- **Socavación Local:** Remoción de material de lecho que ocurre puntualmente en los alrededores de alguna estructura debido al efecto de contracción que sufre la corriente al intentar pasar por el costado de la estructura.

## 2.4. Sistema de Hipótesis

Los efectos de socavación general y local afectan directamente a las riberas del Río Moche en el tramo perteneciente al Puente Conache y al pilar del Puente Conache, debido a que el paso del agua y la contracción que presenta el mismo puente, desgasta en mayor manera y progresivamente el suelo que demarca las riberas y en donde se asientan las bases del pilar del puente mencionado.

## 2.5. Variables e Indicadores (Operacionalización de Variables)

### 2.5.1. Variables:

- **Variable V-1:** Condiciones naturales del cauce.
- **Variable V-2:** Profundidad de socavación (general en riberas y local en pilares).

Cuadro 8: Cuadro de Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	Instrumentos de la investigación
V-1: Condiciones naturales del cauce.	<u>Características hidráulicas del cauce:</u> Corresponden a las características geométricas del cauce y la relación entre estas y las descargas del cauce del río.	Se determinan mediante el uso de fórmulas y mediciones indirectas.	Caudal en base a un periodo de retorno.	Caudal de diseño	Metros cúbicos por segundo [m <sup>3</sup> /s]	- Fuentes bibliográficas - Fichas técnicas - Observaciones de campo - Software de asistencia para cálculos matemáticos (EXCEL). - Software de asistencia para procesamiento de datos topográficos (AutoCAD Civil 3D).
			Calculado en base a caudal, pendiente y características mecánicas del suelo.	Ancho estable	Metros [m]	
				Tirante hidráulico	Metros [m]	
				Velocidad media	Metros por segundo [m/s]	
	<u>Pendiente transversal:</u> Desnivel del suelo entre un punto y otro medido de forma paralela al sentido de la corriente.	Se determina mediante mediciones topográficas.	Cotas	Pendiente	Desnivel [m/m]	
	<u>Características y propiedades del suelo del río:</u> Características mecánicas de las partículas del suelo.	Se determinan mediante un estudio de mecánica de suelos	Características mecánicas	Clasificación del suelo (SUCS)	Milímetros [mm]	
		Granulometría				
		Coefficiente de rugosidad		Adimensional		
				Peso específico	Kilogramos por centímetro cuadrado [kg/cm <sup>2</sup> ]	



Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	Instrumentos de la investigación
V-2: Profundidad de socavación.	<u>Socavación General:</u> Remoción de material de sección de río a causa del aumento del caudal de la corriente. Rocha (1998)	Propuestas que buscan dar solución al problema de los efectos de socavación general en riberas y socavación local en pilares de puentes.	Cálculo de socavación	Profundidad de socavación general y socavación local	Metros [m]	- Software de asistencia para cálculos matemáticos (EXCEL).
	<u>Socavación Local:</u> Remoción de material de río en la zona de contracción de los pilares de un puente. Guevara (2021)		Medidas de solución (Enrocados de protección)		Diámetro medio de roca	

Nota. Elaboración: Propia.

### **III. METODOLOGÍA EMPLEADA**

#### **3.1. Tipo y nivel de investigación**

##### **3.1.1. Nivel de la investigación**

Descriptiva

##### **3.1.2. Tipo de Investigación**

Aplicada

#### **3.2. Población y Muestra de estudio**

##### **3.2.1. Población**

Se considera todo el cauce del río Moche.

##### **3.2.2. Muestra**

Se considera el tramo del Río Moche, comprendido en una distancia de 500 metros aguas arriba y 500 metros aguas abajo medidos desde el eje central del Puente Conache.

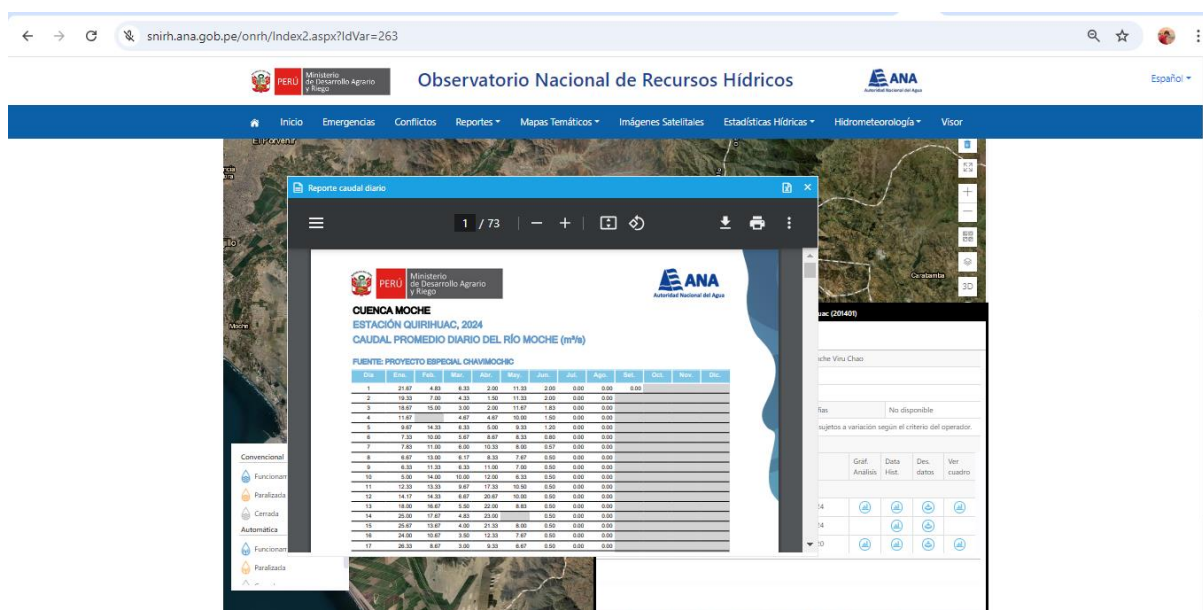
#### **3.3. Diseño de Investigación**

La investigación tiene como fin estudiar los efectos de socavación general y local en el tramo de estudio, y proponer una solución a estos efectos mediante el diseño de enrocados de protección para ambos tipos de socavación.

#### **3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

Para la obtención de datos hidrológicos referentes al río en estudio, se optó por utilizar las bases de datos de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) mediante el SNIRH (Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos) (<https://snirh.ana.gob.pe/VisorPorCuenca/>) pertenecientes a los caudales máximos diarios anuales de la estación referente a la cuenca del río en estudio, que en este caso será la Estación Quirihuac. (Ver datos en Anexos).

**Figura 6:** Cuadro descargable de los Caudales Promedio Diarios de la Estación Quirihuac



*Nota.* Fuente: (Portal Web del Observatorio Nacional de Recursos Hídricos) del (Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SNIRH), 2024).

Para la obtención de datos geotécnicos, se optó por variar la recomendación del (Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje) del (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012), el cual indica que “las muestras del material del cauce deben ser tomadas al menos en cuatro puntos, dos en el eje del puente, y a 0.5B y B metros aguas arriba, donde B es el ancho promedio del río.” (pág. 91), y que “en cada punto se deben tomar tres muestras: en la superficie, a 1.5 veces el tirante promedio del río, y a una profundidad intermedia, siempre y cuando las condiciones de excavación y presencia de agua lo permitan” (pág. 91).

Es así que, para la obtención de datos geotécnicos para el cálculo de socavación general, se optó por realizar un muestreo de suelos en 4 secciones del cauce según criterio, adicionales a las secciones escogidas para el muestreo de socavación local (Ver Plano UL-01). De cada punto de muestreo se extrajo una (01) muestra, a una profundidad aproximada de 1.50m.

Para la obtención de datos topográficos y batimétricos referentes al área de estudio y de dimensiones del puente de estudio, se optó por realizar un levantamiento topográfico. El alcance del levantamiento topográfico fue

delimitado en base a la recomendación del (Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje) por el (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012), el cual indica que “en ríos con amplias llanuras de inundación donde el puente produzca contracción del flujo de avenida el levantamiento abarcará 12 veces el ancho del cauce principal aguas arriba del eje propuesto y 6 veces hacia aguas abajo” (pág. 88). Siendo así, que, si el ancho del puente Conache es de 40 metros, el levantamiento topográfico debió abarcar una longitud de 480 metros aguas arriba, y 240 metros aguas abajo, optándose por redondear estas cantidades a una distancia de 500 metros hacia aguas arriba medida desde el eje central del puente, y 500 metros hacia aguas abajo medida desde el eje central del puente, sumando un tramo total de estudio de 1 Km.

### **3.5. Procesamiento y Análisis de Datos**

Para el procesamiento de datos hidrológicos, inicialmente se realizó la aplicación del Método de Fuller para determinar los Caudales Máximos Instantáneos. Luego, estos datos fueron ingresados al software de uso libre “HidroEsta 2”, del Ingeniero Máximo Villón Béjar, para efectuar un análisis de frecuencia para cada distribución (Normal, Log-Normal 2 Parámetros, Log-Normal 3 Parámetros, Gamma 2 Parámetros, Log-Pearson Tipo III, Gumbel, Log-Gumbel), para así predecir un caudal máximo extraordinario de diseño correspondiente a un periodo de retorno de 500 años, ya que es la recomendación del MTC para cálculos de socavación.

Para el procesamiento de datos referentes al estudio topográfico se utilizó el software para dibujo técnico “Autodesk Civil 3D 2022” para la ejecución de triangulaciones, poligonales y obtención de curvas de nivel, planos planimétricos y secciones del cauce.

Para el procesamiento de datos de geotécnicos del fondo cauce se efectuaron los ensayos de:

- ✓ Análisis Granulométrico.
- ✓ Gravedad específica.
- ✓ Clasificación de suelos.

Para el cálculo de los parámetros hidráulicos teóricos y la profundidad de socavación teórica de ambos tipos (General y Local), se utilizó el software de asistencia matemática “Microsoft Excel 2022” y la posterior verificación mediante el uso del software de simulación hidráulica “HEC – RAS 6.4.1”.

Para el diseño de las secciones de los diques de enrocado para ambos tipos de socavaciones, se realizaron cálculos bajo diversas fuentes utilizando el software de asistencia matemática “Microsoft Excel 2022”, siendo posteriormente representadas estas secciones del dique enrocado mediante el uso del software de dibujo técnico “Autodesk AutoCAD 2022”.

Para el modelamiento hidráulico se utilizó el software de modelado y simulación hidráulica “HEC – RAS 6.4.1”, pudiéndose analizar el tramo de estudio en condiciones actuales y un posterior análisis con la incorporación de las propuestas de protección.

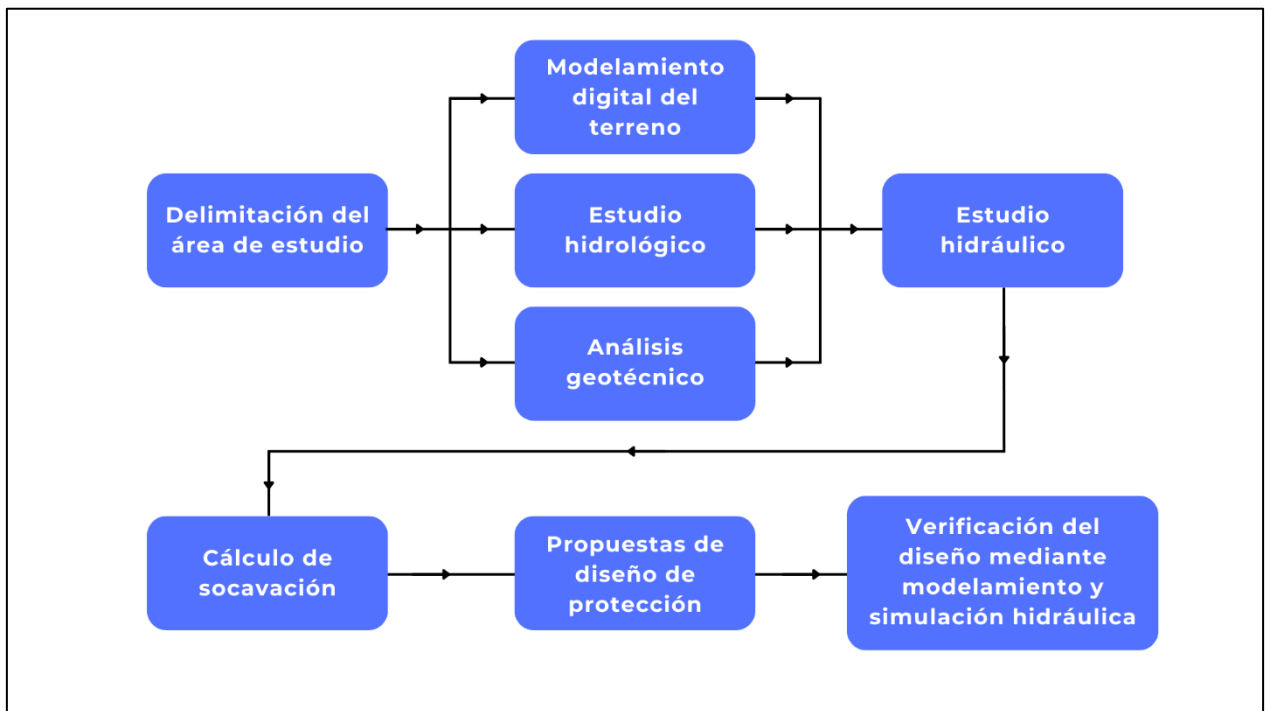
## **IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

### **4.1. Propuesta de investigación**

La presente tesis propone no sólo estudiar y determinar las profundidades de socavación local y general, sino que propone diseñar estructuras de protección integrada para ambos tipos de socavación. Precisamente, las estructuras que se proponen para este fin son enrocados; esto debido a su efectividad y bajo costo de construcción a comparación de otras medidas de protección, ya que, al ser una estructura con elementos móviles, puede adecuarse y reacomodarse de presentarse una mayor socavación de la estimada.

Tanto el enrocado para protección de riberas y de protección del pilar del puente Conache, contemplan, en sus diseños, las variables de velocidad de arrastre, talud de dique, diámetro de roca, espesor de la capa de enrocado, profundidad de uña, entre otros.

**Figura 7:** Diagrama de procesos de la propuesta de investigación



*Nota.* Elaboración propia.

## 4.2. Análisis e interpretación de resultados

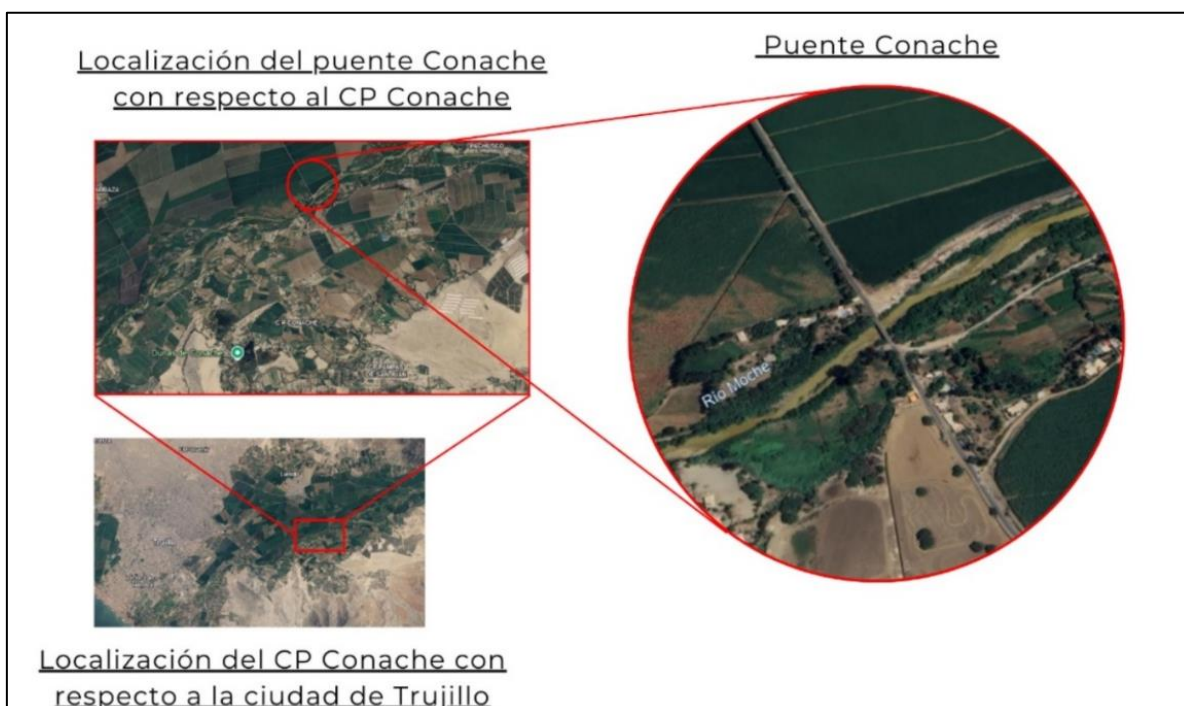
### 4.2.1. Estudio topográfico y modelamiento digital del terreno

#### 4.2.1.1. Delimitación del área de estudio

El área de estudio se encuentra en el río Moche, cerca al pueblo de Conache, distrito de Laredo, provincia de Trujillo, departamento de La Libertad, en la costa norte del Perú.

La extensión del tramo de estudio del río tiene como punto central al Puente Conache, extendiéndose hasta una distancia de 500 metros aguas arriba, y 500 metros aguas abajo, dando un tramo total de 1km de longitud.

Se realizó el Levantamiento Topográfico de esta zona, al cual se le recortó un margen de influencia de 20 metros desde los márgenes de las riberas del cauce.

**Figura 8:** Localización de la zona de estudio

*Nota.* Fuente: *Google Earth*. Elaboración propia.

**Cuadro 9:** Cuadro de Coordenadas geográficas del puente Conache

Latitud	Longitud
8°06'39" S	78°56'46" O

*Nota.* Fuente: *Google Earth*.

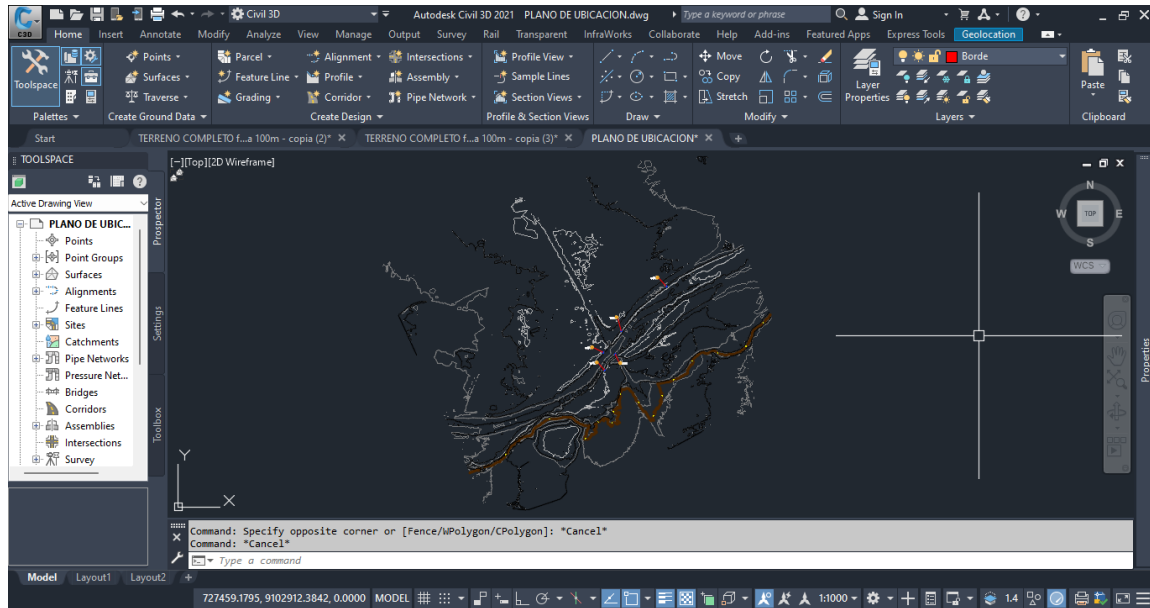
#### 4.2.1.2. Estudio topográfico y modelamiento digital del terreno

Una vez obtenidos los datos del levantamiento topográfico, fueron extrapolados al software *Autodesk Civil 3D* donde se realizó el recorte de la superficie, la delimitación del margen del tramo de estudio, el trazado del alineamiento del cauce, y el trazado de las secciones.

El trazado de las secciones está fundamentado a cada 50 metros, tomando como sección central el eje del puente. Sin embargo, se abordarán de manera precisa a las secciones ubicadas a cada 100 metros, con la adición de dos secciones ubicadas a 50 metros en ambos sentidos del puente, justamente donde se produce la contracción del cauce (Ver plano T-

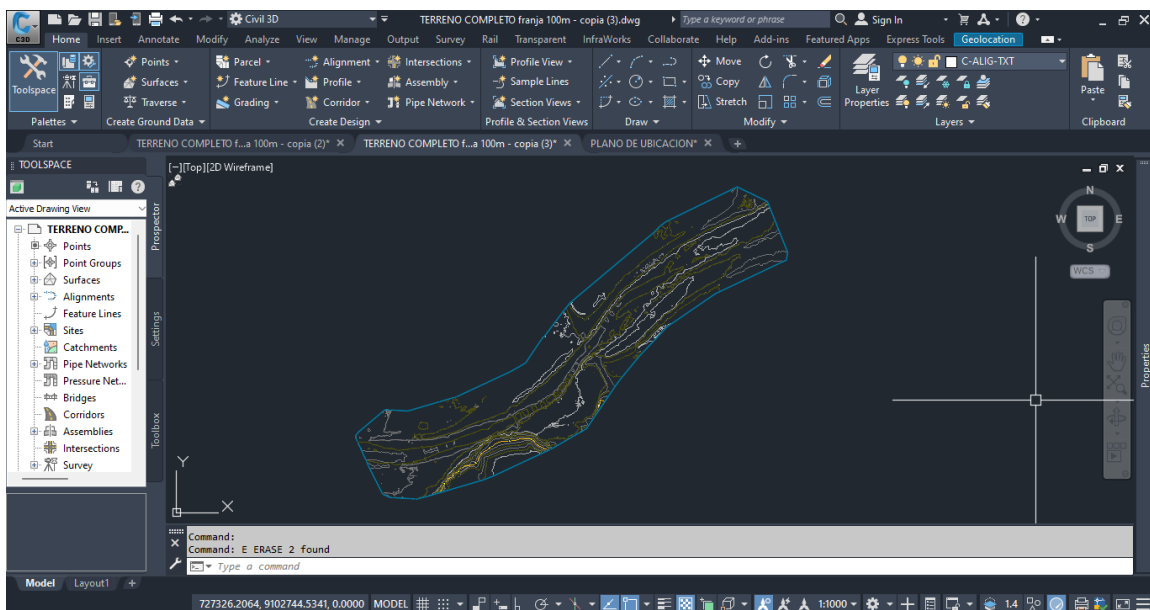
02). Este trazado de secciones es clave para determinar el comportamiento del suelo antes, durante y después de la contracción que el puente le genera al cauce, donde podremos visualizar cuánto influye esta contracción a la socavación general en todas las secciones, y a la socavación local en el eje del puente.

**Figura 9:** Visualización digital del terreno en software Autodesk Civil 3D



*Nota.* Elaboración: Propia.

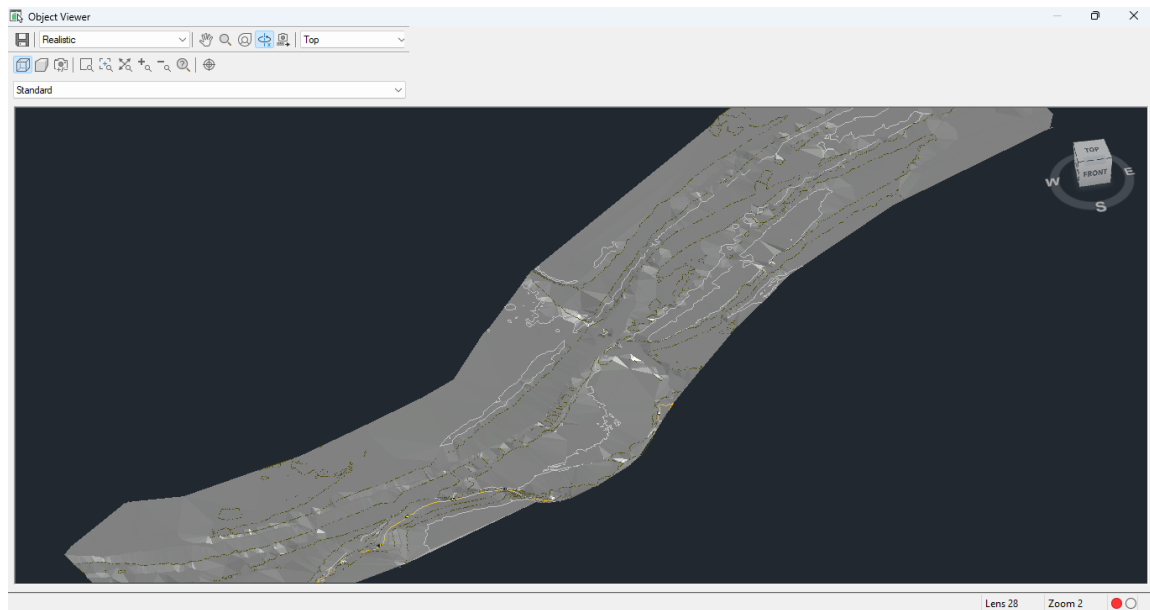
**Figura 10:** Recorte del terreno para delimitación de la zona estudio requerida



*Nota.* Elaboración: Propia.

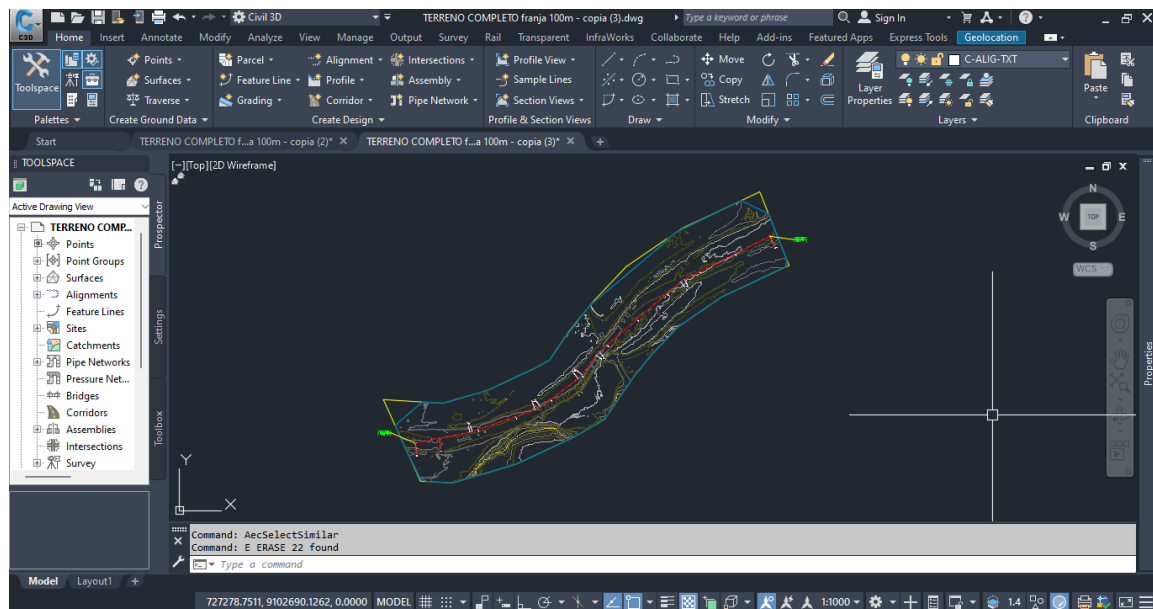


**Figura 11:** Vista en 3D del recorte del terreno para delimitación de la zona estudio requerida en software Autodesk Civil 3D



Nota. Elaboración: Propia.

**Figura 12:** Alineamiento del eje del cauce del tramo de estudio en Civil 3D



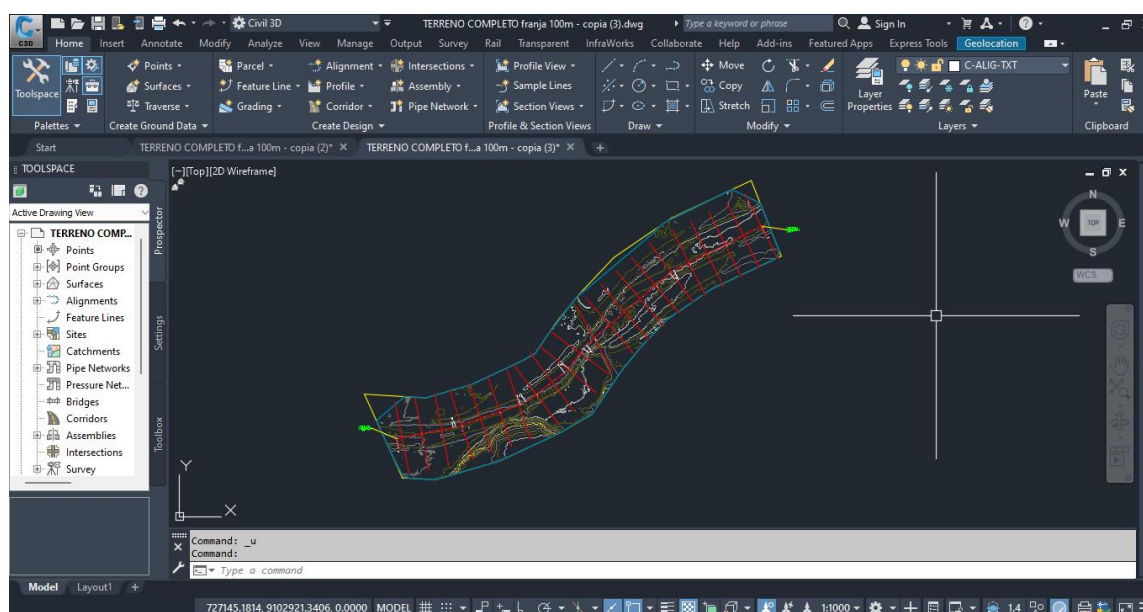
Nota. Elaboración: Propia.

**Cuadro 10:** Cuadro de Coordenadas geográficas de los Puntos del Alineamiento del eje del cauce en el tramo de estudio

Latitud	Longitud
8°06'30.28" S	78°56'33.18" O
8°06'33.95" S	78°56'40.38" O
8°06'39.99" S	78°56'47.36" O
8°06'41.94" S	78°56'48.76" O
8°06'44.60" S	78°56'52.25" O
8°06'46.52" S	78°56'57.79" O
8°06'47.45" S	78°57'02.42" O

Nota. Fuente Propia.

**Figura 13:** Trazado de secciones del cauce en Civil 3D



Nota. Elaboración: Propia.

**Cuadro 11:** Datos topográficos de las secciones a estudiar

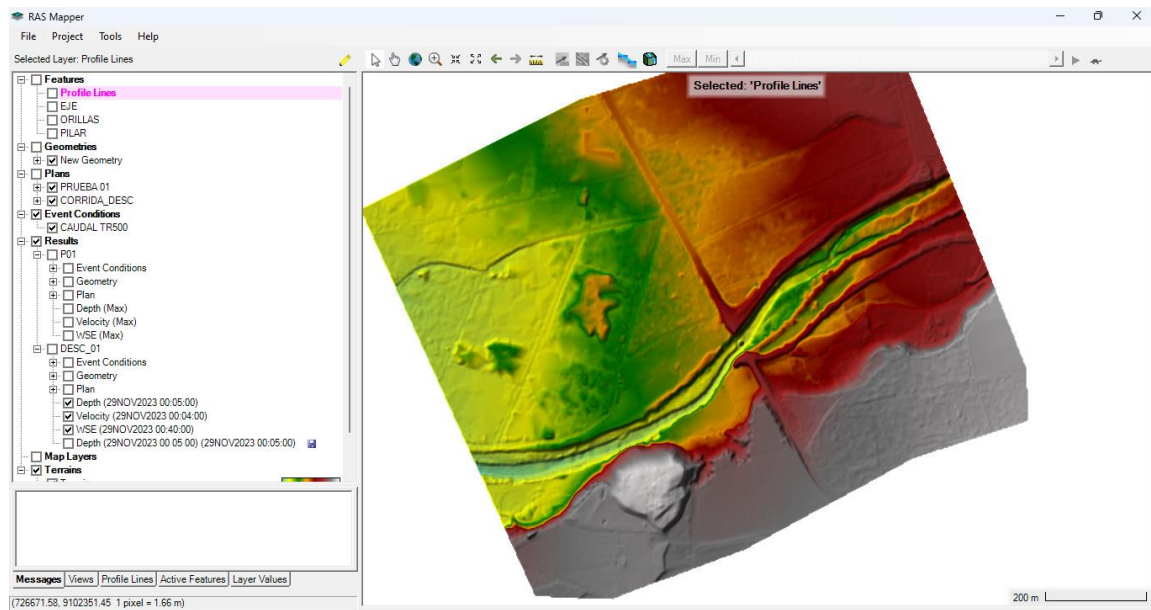
Características topográficas de las secciones		
Sección	Ancho del cauce (m)	Pendiente (m/m)
0+100	130.00	0.0114
0+200	130.00	0.0114
0+300	120.00	0.0114
0+400	115.00	0.0114
0+450	105.00	0.0114
0+500	40.00	0.0114
0+550	65.00	0.072
0+600	75.00	0.072

0+700	95.00	0.072
0+800	45.00	0.072
0+900	80.00	0.072
1+000	65.00	0.072

*Nota.* Fuente propia

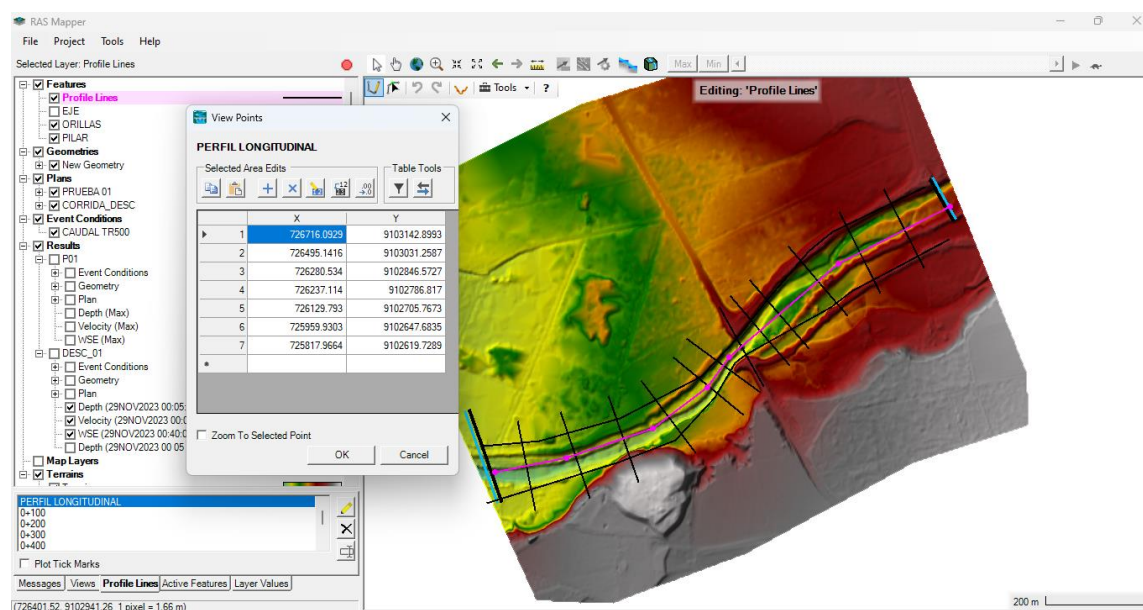
Posteriormente, se exportó el modelo como archivo TIF para poder ser visualizado y posteriormente procesado en el software *HEC – RAS v 6.4.1*.

**Figura 14:** Modelamiento digital del terreno en *HEC – RAS*



*Nota.* Elaboración: Propia.

**Figura 15:** Ubicación de perfil longitudinal y secciones en HEC – RAS



*Nota.* Elaboración: Propia.

#### 4.2.2. Estudio hidrológico

Para iniciar con la determinación de máximas avenidas, primero se ubicó la cuenca correspondiente a la zona de estudio, que en este caso era la *Cuenca Moche*, como también la estación hidrométrica, que en este caso fue la *Estación Quirihuac*.

Determinados los Caudales Máximos Anuales, éstos fueron convertidos a Caudales Máximos Anuales Instantáneos mediante el *Método de Fuller*, el cual podemos ver en la EC.01.

**Tabla 18:** Caudales máximos anuales y Caudales máximos anuales instantáneos del río Moche

Caudales máximos anuales instantáneos del río Moche							
Nombre de estación:				Quirihuac			
Cuenca:				Cuenca Moche			
Área de la cuenca (Km <sup>2</sup> ):				2557			
N° de años:				73			
N°	Año	Q <sub>máx</sub> anual (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>máx</sub> instantáneo (m <sup>3</sup> /s)	N°	Año	Q <sub>máx</sub> anual (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>máx</sub> instantáneo (m <sup>3</sup> /s)
1	1950	56.00	67.18	38	1987	64.00	76.78

2	1951	48.26	57.90	39	1988	98.53	118.20
3	1952	170.17	204.15	40	1989	40.00	47.99
4	1953	94.33	113.17	41	1990	22.64	27.16
5	1954	93.26	111.88	42	1991	41.50	49.79
6	1955	132.75	159.26	43	1992	26.06	31.26
7	1956	212.88	255.39	44	1993	66.97	80.34
8	1957	197.93	237.45	45	1994	204.80	245.69
9	1958	88.33	105.97	46	1995	23.84	28.60
10	1959	117.50	140.96	47	1996	64.00	76.78
11	1960	198.63	238.29	48	1997	200.00	239.94
12	1961	43.92	52.69	49	1998	1000.00	1199.68
13	1962	180.31	216.31	50	1999	240.36	288.35
14	1963	117.57	141.05	51	2000	71.02	85.20
15	1964	119.19	142.99	52	2001	150.00	179.95
16	1965	78.40	94.05	53	2002	109.46	131.32
17	1966	58.45	70.12	54	2003	42.51	51.00
18	1967	336.60	403.81	55	2004	39.41	47.28
19	1968	23.42	28.10	56	2005	38.96	46.74
20	1969	91.81	110.14	57	2006	46.60	55.91
21	1970	96.10	115.29	58	2007	47.26	56.70
22	1971	117.63	141.12	59	2008	53.72	64.45
23	1972	138.25	165.86	60	2009	61.01	73.19
24	1973	152.96	183.50	61	2010	43.97	52.75
25	1974	50.29	60.33	62	2013	125.00	149.96
26	1975	170.88	205.00	63	2014	65.13	78.14
27	1976	112.85	135.38	64	2015	203.33	243.93
28	1977	201.52	241.76	65	2016	43.30	51.95
29	1978	24.00	28.79	66	2017	187.13	224.50
30	1979	54.88	65.84	67	2018	142.90	171.43
31	1980	56.00	67.18	68	2019	51.27	61.51
32	1981	160.00	191.95	69	2020	31.00	37.19
33	1982	90.00	107.97	70	2021	40.00	47.99
34	1983	280.00	335.91	71	2022	58.33	69.98
35	1984	152.00	182.35	72	2023	303.50	364.10
36	1985	20.80	24.95	73	2024	29.17	34.99
37	1986	72.00	86.38				

*Nota.* Fuente: (Portal Web del Observatorio Nacional de Recursos Hídricos) del (Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SNIRH), 2024).

Elaboración propia.

Son estos Caudales Máximos Anuales Instantáneos los que fueron ingresados al software HIDROESTA 2 del Ing. Máximo Villón Béjar para procesarlos bajo los parámetros y procesos de cada distribución que nos

ofrece el software (ocho distribuciones), y determinar qué distribución es la que mejor se ajusta a este conjunto de datos hidrológicos en base a un período de retorno de 500 años. Una vez determinada la distribución que mejor se ajusta, (que sería la que menor delta teórico presenta) escogemos el caudal de diseño correspondiente.

**Cuadro 12:** Resultados del procesamiento de los datos hidrológicos en

*HIDROESTA 2*

Distribución	Delta teórico	Delta tabular	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	¿Se ajusta?
Normal	0.2131	0.1592	578.87	NO
Log-Normal 2 Parámetros	0.0661	0.1592	922.54	SÍ
Log-Normal 3 Parámetros	0.0650	0.1592	1398.01	SÍ
Gamma 2 Parámetros	0.1003	0.1592	636.01	SÍ
Gamma 3 Parámetros		NO SE AJUSTA		NO
Log-Pearson III	0.0606	0.1592	1253.13	SÍ
Gumbel	0.2165	0.1592	810.31	NO
Log-Gumbel	0.1014	0.1592	2949.77	SÍ

*Nota.* Elaboración propia.

Siendo así, que, de las 08 distribuciones estadísticas abordadas, fueron un total de 05 distribuciones las que sí se ajustaban a los datos del registro histórico, ya que los Delta teóricos presentaban menor valor que el Delta tabular. Sin embargo, se determinó que la distribución *Log – Pearson tipo III* presentó el Delta teórico con el valor más bajo, lo cual definió la elección de su caudal correspondiente, tomándose el valor de **1253.13 m<sup>3</sup>/s** como el caudal de diseño.

#### 4.2.3. Estudio de suelos

El estudio de suelos inició con la extracción de muestras, las cuales fueron obtenidas en base a excavaciones de 05 calicatas, las cuales se muestran en el Plano UL-01 en los anexos.

De cada calicata seleccionada se obtuvieron un total de 01 muestra a una profundidad de 1.50 m debido a las condiciones de excavación. Procesadas las muestras extraídas de las calicatas, se lograron determinar las características del suelo, tal y como se muestran en el Cuadro 13.

Cabe mencionar que debido a que los diámetros efectivos de las muestras extraídas de las calicatas presentaban medidas similares sin una variación considerable, se optó por promediar los diámetros efectivos para analizar todas las secciones de interés del tramo de estudio de manera homogénea.

**Cuadro 13:** *Resumen de datos geotécnicos*

Calicata	Metros de profundidad de la muestra	Clasificación SUCS	d <sub>20</sub> (mm)	d <sub>50</sub> (mm)	d <sub>80</sub> (mm)	d <sub>85</sub> (mm)	d <sub>95</sub> (mm)
N°01	1.50	Grava mal graduada	3.04	27.57	50.73	53.92	60.31
N°02	1.50	Grava mal graduada	4.84	33.97	64.49	67.48	73.33
N°03	1.50	Grava mal graduada	0.38	35.8	53.85	56.32	61.14
N°04	1.50	Grava mal graduada	5.38	31.41	63.39	66.66	73.05
N°05	1.50	Grava mal graduada	1.22	24.12	48.42	52.96	59.96
Promedios (mm) =			2.97	30.57	56.18	59.47	65.56

*Nota.* Fuente y elaboración propia.

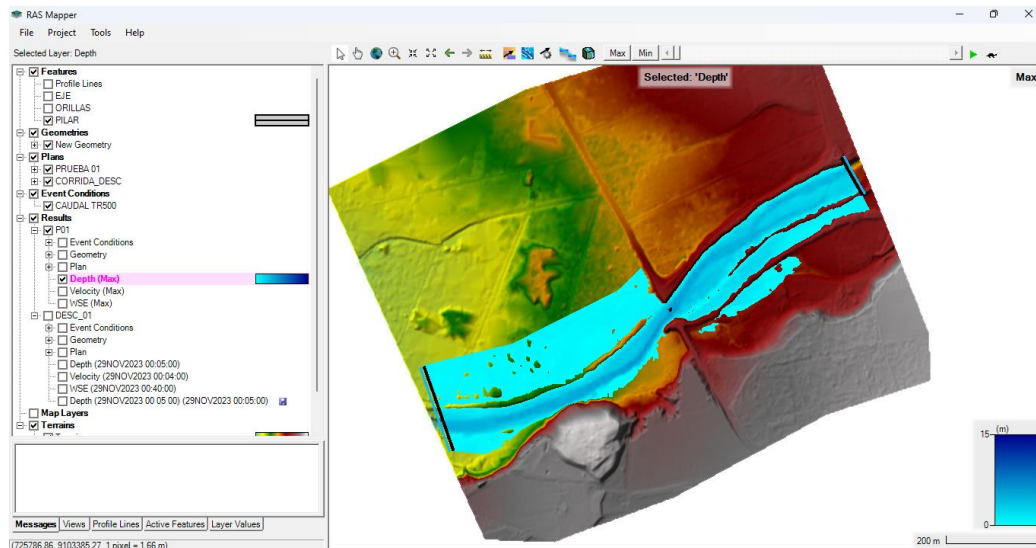
#### 4.2.4. Estudio hidráulico

Una vez determinados los valores topográficos, hidrológicos y geotécnicos correspondientes a la zona de estudio, se procedió a con la realización del estudio hidráulico.

La realización del estudio hidráulico, en base a simulación digital con el software HEC – RAS, ayudó a comprender el comportamiento del cauce en base a sus características previamente mencionadas, en el escenario de un eventual caudal de máxima avenida. Esto propició la determinación de

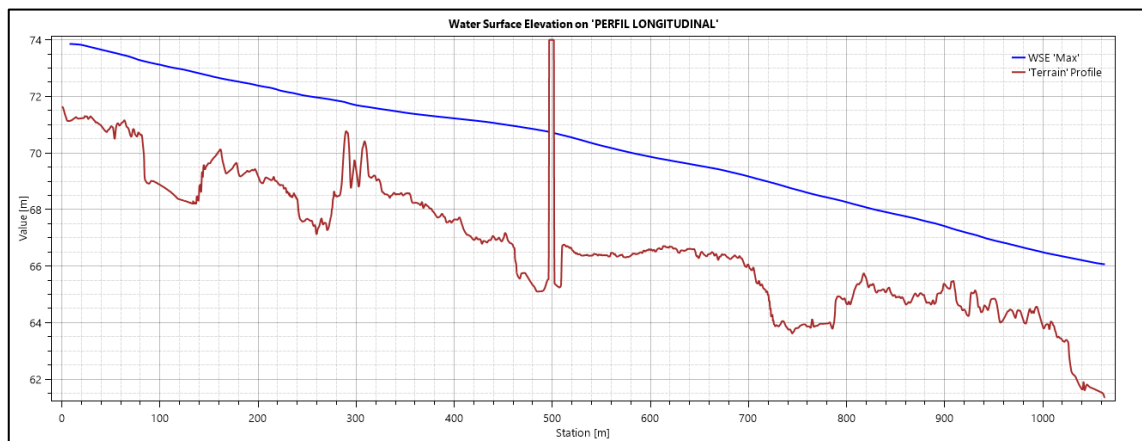
parámetros hidráulicos como: tirantes, velocidades, anchos de cauce delimitados por el paso de esta máxima avenida, y así también como la identificación de zonas propensas a inundaciones.

**Figura 16:** Simulación de las condiciones hidráulicas del cauce frente a un eventual caudal de máxima avenida en HEC – RAS



*Nota.* Elaboración: Propia.

**Figura 17:** Elevación de la superficie de agua en perfil longitudinal del cauce sin proyecto propuesto en HEC – RAS



*Nota.* Elaboración: Propia.



**Cuadro 14:** Resumen de parámetros hidráulicos en secciones sin proyecto

Sección	Tirante hidráulico (m)	Velocidad media (m/s)
0+100	4.25	6.20
0+200	3.20	5.61
0+300	2.32	4.77
0+400	3.58	5.18
0+450	4.08	6.44
0+500	5.92	7.44
0+550	3.84	7.00
0+600	3.30	7.00
0+700	3.14	6.35
0+800	3.59	6.17
0+900	2.06	5.23
1+000	2.63	4.82

*Nota.* Elaboración: Propia.

#### 4.2.5. Cálculo de Socavación

##### 4.2.5.1. Cálculo de Socavación General y Local

Una vez determinados los parámetros hidráulicos de la zona de estudio mediante simulación digital con el software HEC – RAS, se procedió a determinar las dimensiones de la socavación general en los márgenes de las riberas y local en la base del pilar del puente correspondiente a cada sección de interés en base a cálculos manuales con la asistencia del software Microsoft Excel, tal y como se muestra un resumen en el Cuadro 15.

**Cuadro 15:** Resumen de parámetros hidráulicos en secciones

Sección	Profundidad de Socavación (metros)	
	General	Local
0+100	0.10	-
0+200	0.80	-
0+300	2.00	-
0+400	0.80	-
0+450	1.20	-
0+500	-	3.30

0+550	0.50	-
0+600	0.80	-
0+700	1.00	-
0+800	0.80	-
0+900	1.80	-
1+000	0.50	-

*Nota.* Elaboración: Propia.

#### 4.2.6. Propuestas de Diseño de Enrocados de Protección

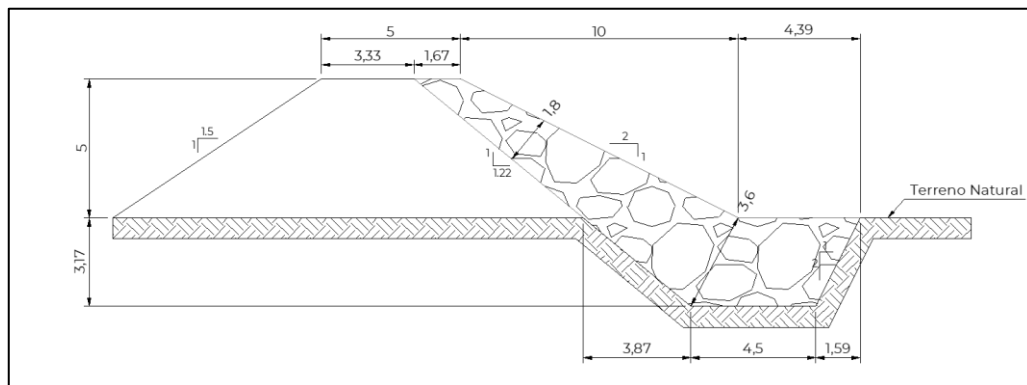
Se determinaron los diámetros medios de roca ( $D_{50}$ ) de adecuados para cada sección según los métodos escogidos para el presente estudio como lo muestra el Cuadro 16. Sin embargo, para cada sección se obtienen diámetros de roca distintos, que oscilan desde los 70cm, hasta 1.80m; es por eso que se optó por homogeneizar tanto la estructura de protección de defensas ribereñas y protección del pilar del puente al diámetro medio de roca de mayor valor, en este caso, de 1.80 metros de diámetro.

**Cuadro 16:** Resumen de parámetros mecánicos de enrocados para ambos tipos de socavaciones

Sección	Profundidad de Socavación (m)		Profundidad de Uña (m)	$D_{50}$ (m)	Espesor de base de enrocado $2D_{50}$ (m)
	General	Local			
0+100	0.10	-	0.20	1.00	2.00
0+200	0.80	-	0.90	0.90	1.80
0+300	2.00	-	2.20	0.70	1.40
0+400	0.80	-	0.90	0.80	1.60
0+450	0.80	-	0.90	1.20	2.40
0+500	-	3.30	3.50	1.80	3.60
0+550	0.50	-	0.60	1.50	3.00
0+600	0.80	-	0.90	1.50	3.00
0+700	1.00	-	1.10	1.20	2.40
0+800	0.80	-	0.90	1.00	2.00
0+900	1.80	-	2.00	0.80	1.60
1+000	0.50	-	0.60	0.70	1.40

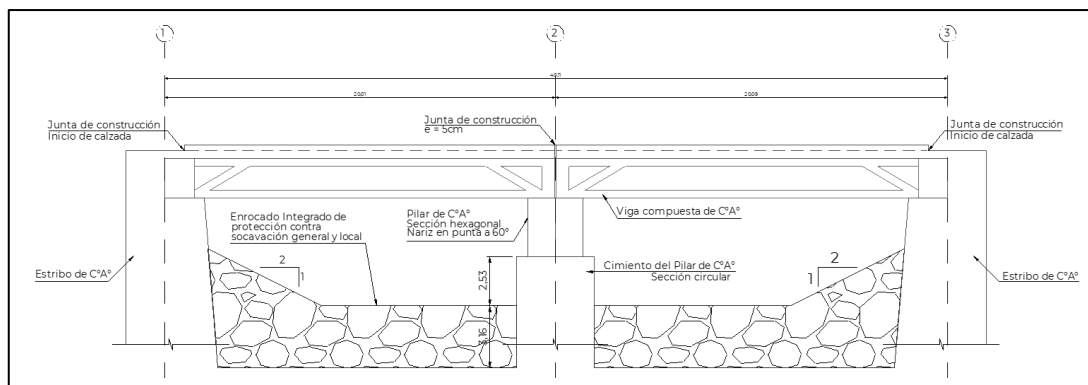
*Nota.* Elaboración: Propia.

**Figura 18:** Sección de propuesta de Dique Enrocado de Defensas Ribereñas



Nota. Elaboración: Propia.

**Figura 19:** Sección de propuesta de Dique Enrocado de Defensas Ribereñas

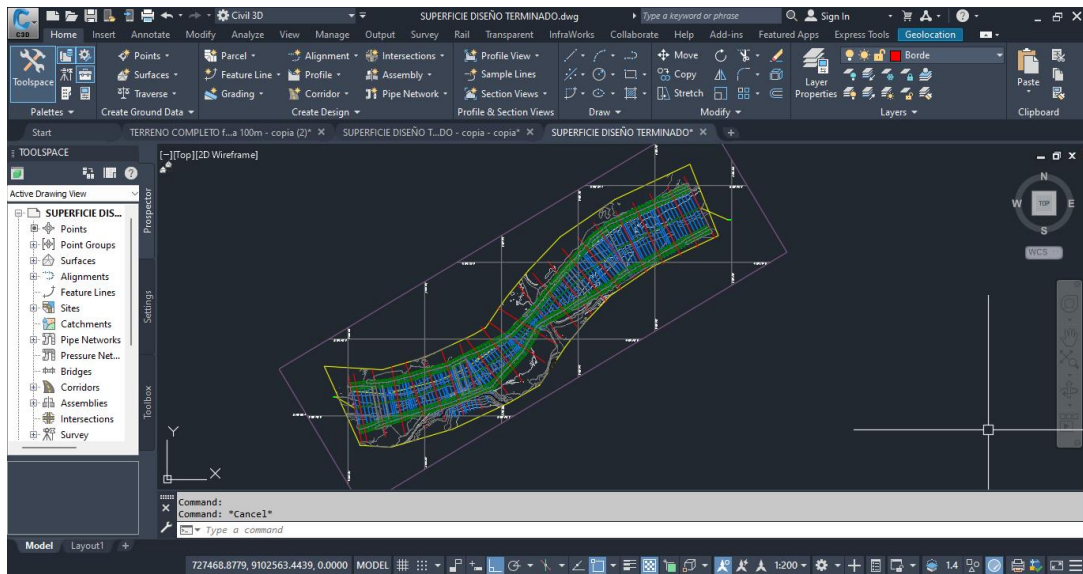


Nota. Elaboración: Propia.

#### 4.2.7. Modelamiento y Simulación hidráulica con proyecto

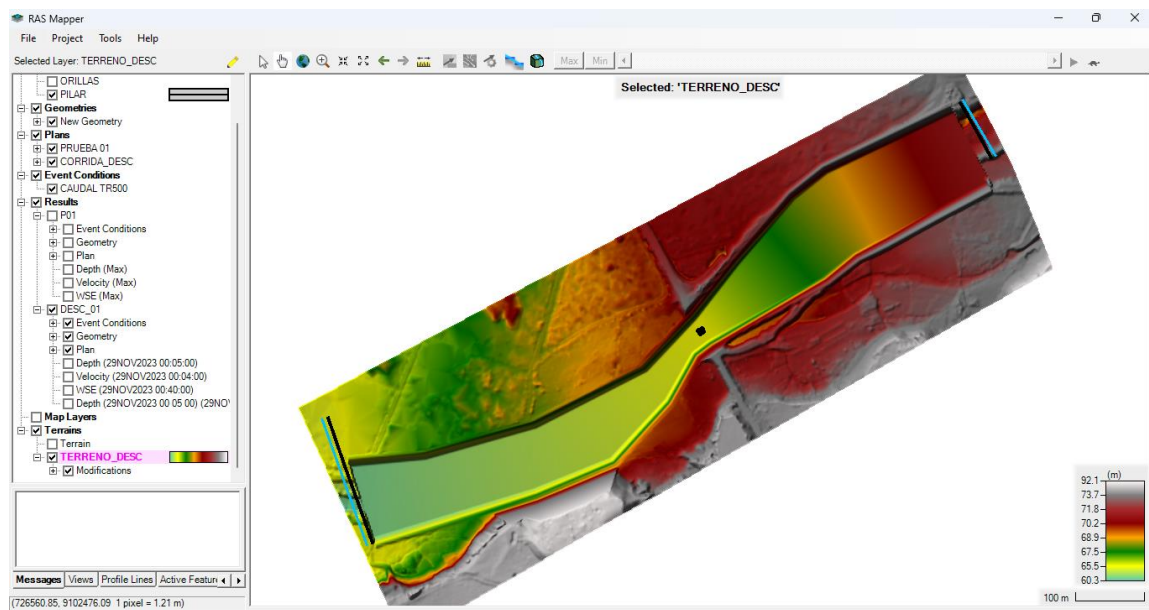
Se realizó el modelamiento, primero en el software Autodesk Civil 3D y luego en el software HEC-RAS, de la propuesta de enrocado de defensas ribereñas en el tramo de estudio. A su vez que se realizó el modelamiento e inserción del puente para realizar lo propio con el enrocado de protección del pilar del puente, hallando así los valores de tirantes y velocidades ahora con la presencia de las estructuras de protección.

**Figura 20:** Creación del corredor de la propuesta de enrocado en Civil 3D



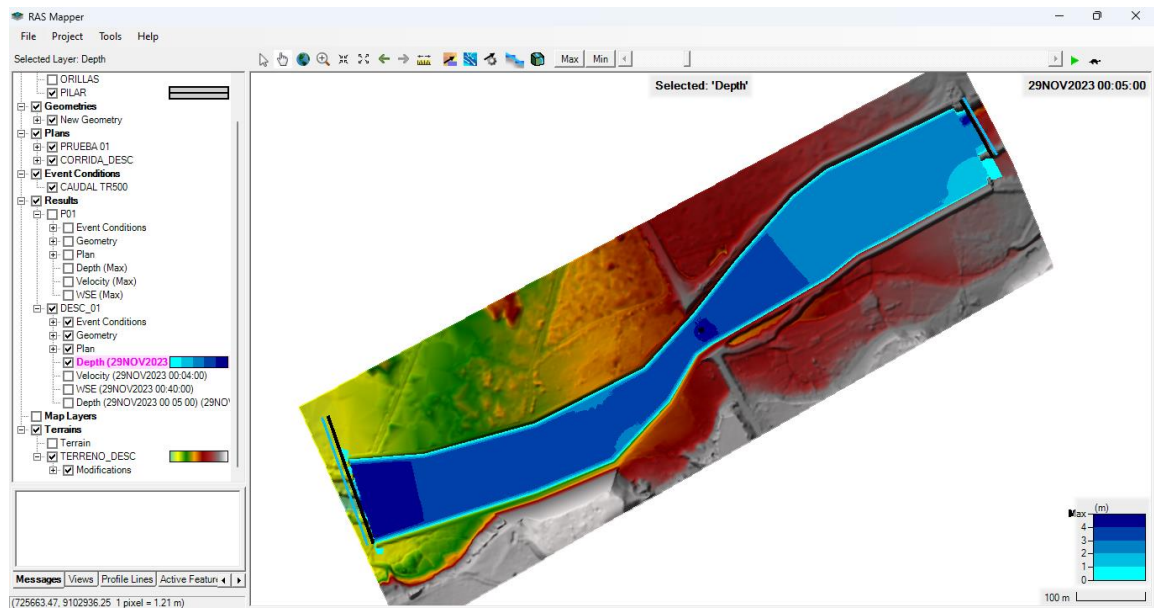
*Nota.* Elaboración: Propia.

**Figura 21:** Modelamiento del cauce con proyecto propuesto en HEC – RAS



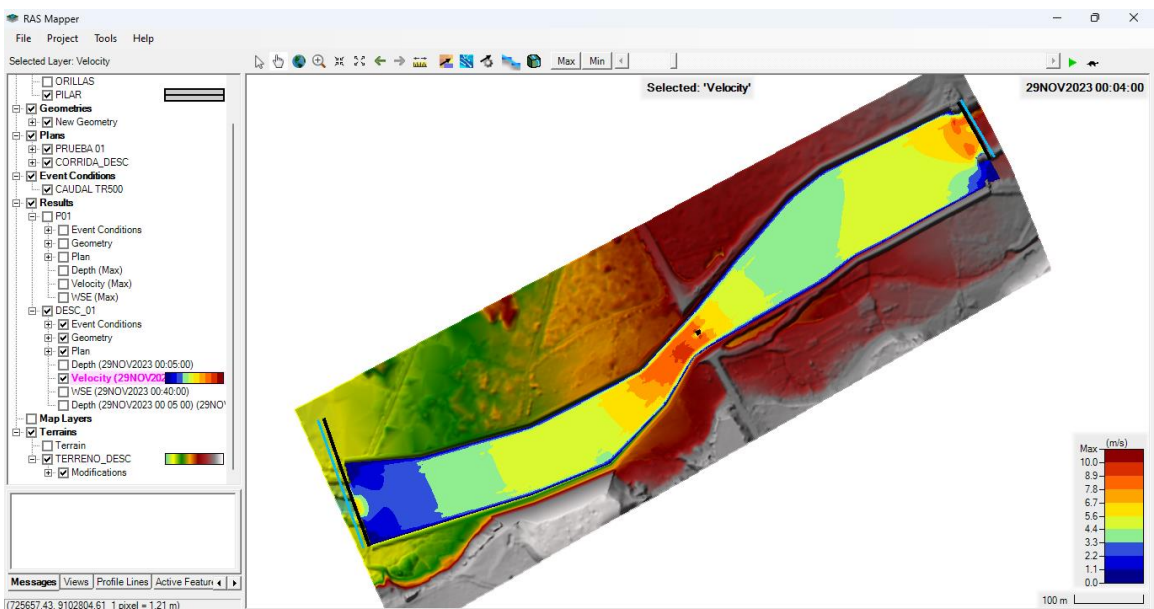
*Nota.* Elaboración: Propia.

**Figura 22:** Determinación de tirantes mediante simulación hidráulica del cauce con proyecto propuesto en HEC – RAS



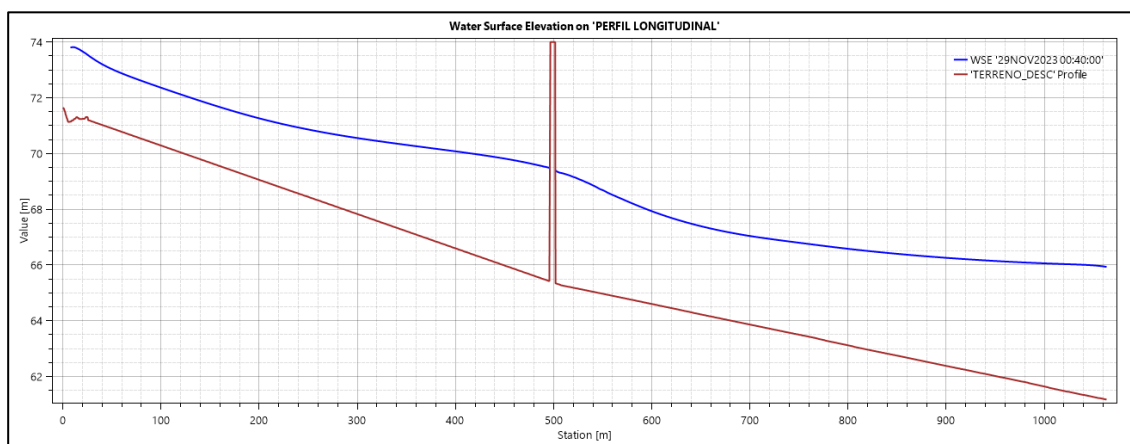
Nota. Elaboración: Propia.

**Figura 23:** Determinación de velocidades mediante simulación hidráulica del cauce con proyecto propuesto en HEC – RAS



Nota. Elaboración: Propia.

**Figura 24:** Elevación de la superficie de agua en perfil longitudinal del cauce con proyecto propuesto en HEC – RAS



Nota. Elaboración: Propia.

**Cuadro 17:** Resumen de parámetros hidráulicos en secciones con proyecto

Sección	Tirante hidráulico (m)	Velocidad media (m/s)
0+100	2.08	5.15
0+200	2.20	4.65
0+300	2.73	4.10
0+400	3.48	4.53
0+450	3.84	5.46
0+500	4.07	9.46
0+550	3.71	8.85
0+600	3.33	7.50
0+700	3.18	5.08
0+800	3.46	4.84
0+900	3.88	4.04
1+000	4.42	2.57

Nota. Elaboración: Propia.

### 4.3. Docimasia de hipótesis

#### Hipótesis Nula (H0):

Los efectos de socavación general y local NO afectan directamente al suelo que demarca las riberas y en donde se asientan las bases del pilar del puente Conache.

**Hipótesis Alterna (H1):**

Los efectos de socavación general y local SÍ afectan directamente al suelo que demarca las riberas y en donde se asientan las bases del pilar del puente mencionado.

**4.3.1. Interpretación de la Hipótesis Nula (H0):**

La Hipótesis Nula (H0) se considera una afirmación temporal, la cual se acepta como verdadera; y que, a su vez, se someterá a una prueba experimental para determinar su validez. Caso contrario, se rechazará.

La presente tesis concluye que efectivamente los efectos de socavación afectan directamente de manera considerable al suelo que demarca las riberas y en donde se asientan las bases del pilar del puente Conache; esto puede evidenciarse en el Cuadro 16; lo cual nos indica un 0% de confiabilidad con la hipótesis nula.

**4.3.2. Interpretación de la Hipótesis Alterna (H1):**

La Hipótesis Alterna (H1) se considera una afirmación totalmente opuesta a la Hipótesis Nula (H0), la cual se aceptará como verdadera de manera automática sí y sólo sí, la Hipótesis Nula (H0) se considera como falsa.

La presente tesis concluye que efectivamente los efectos de socavación afectan directamente de manera considerable al suelo que demarca las riberas y en donde se asientan las bases del pilar del puente Conache; esto puede evidenciarse en el Cuadro 16; lo cual nos indica un 100% de confiabilidad con la hipótesis alterna.

**4.3.3. Interpretación de las hipótesis propuestas:**

La Hipótesis Alterna es la que finalmente se toma como correcta, debido a que el porcentaje de confiabilidad es absoluto, a comparación del porcentaje de confiabilidad de la Hipótesis Nula, el cual es completamente nulo.

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- ✓ Haciendo un comparativo entre los resultados de la presente tesis con los que obtienen (Orbegoso Alayo & Roldán Mora, 2020), podemos decir que:
  - Los valores iniciales del cauce como la pendiente y el diámetro medio del suelo, se asemeja en cierta medida con los valores que se determinaron para la presente tesis.
  - Se concuerda que al procesar los datos hidrológicos de la estación Quirihuac mediante la distribución Log – Pearson Tipo III, se llega a valores de caudal extraordinario de más de 1100 m<sup>3</sup>/s considerando un período de retorno de 500 años. Sin embargo, no se coincide en que la distribución que mejor se adecúa es la Log – Normal de Tipo 2, con la cual los autores determinan un caudal de diseño de 744.11 m<sup>3</sup>/s. A su vez, cabe resaltar que los autores utilizan los caudales máximos anuales del registro histórico, a diferencia de la presente tesis que utiliza los caudales máximos instantáneos.
  - Respecto a los valores hallados por los autores de socavación general y local, coincide que la socavación general promedio en las proximidades del eje del puente que los autores determinan son de 0.757m, y que en la presente tesis se determinaron profundidades de socavación general en las proximidades del eje del puente de entre 0.50m y 0.80m. De igual manera con respecto a la socavación local en el pilar del puente, la cual los autores determinan un promedio de 3.51m, mientras que en la presente tesis se determinó una profundidad de socavación local de 3.30m, siendo estos valores, concordantes.
- ✓ Se discrepa de (Armas Meléndez, 2021), quien determina un caudal de máxima avenida con un período de retorno de 500 años en el Río Moche de 263.61 m<sup>3</sup>/s, para los cuales únicamente utilizó los últimos 25 datos del registro histórico (desde 1995 hasta 2019), lo cual no garantiza una correcta determinación del caudal de máxima avenida, más aún si la estación Quirihuac brinda datos desde el año 1950.
- ✓ Haciendo un comparativo entre los resultados de la presente tesis con los que obtienen (Cueva Vazallo & Gutiérrez Zapata, 2023), podemos decir que:



- Los valores iniciales del cauce como la pendiente y el diámetro medio del suelo, se asemeja en cierta medida con los valores que se determinaron para la presente tesis.
  - Se concuerda que al procesar los datos hidrológicos de la estación Quirihuac mediante la distribución Log – Pearson Tipo III, se llega a valores de caudal extraordinario de más de 1000 m<sup>3</sup>/s considerando un período de retorno de 500 años. Sin embargo, no llegan a ser exactos, y eso puede deberse a que los autores utilizan los caudales máximos anuales del registro histórico, a diferencia de la presente tesis que utiliza los caudales máximos instantáneos, lo cual termina condicionando a la coincidencia de los demás resultados.
  - Los autores determinan valores de velocidad y tirante en el eje del puente Conache de 5.31m/s, y 7.60m respectivamente, lo cual no coincide con los resultados obtenidos en la presente tesis para el eje del mismo puente, siendo respectivamente 7.44m/s, y 5.92m.
  - Finalmente, los autores determinan que la profundidad de socavación local total para el puente Conache es de 4.52m mediante el método CSU, lo cual no coincide con lo determinado en la presente tesis mediante el mismo método, hallándose una socavación local de 5.15m. Esto se debe pues, por la condición del estudio hidrológico previamente explicada. Es más, el valor de la socavación local mediante el método CSU no es el que se termina aceptando en la presente tesis, sino un valor de 3.30m, promedio de los 11 diversos métodos que se utilizan.
- ✓ Se concuerda, en cierta medida, con la conclusión a la que llegan (Lauchlan & Melville, 2001), quienes indican que el método que más se aproximaba a los valores óptimos de dimensionamiento de diámetro medio de enrocado para protección de pilares de puentes es el de Richardson & Davis. Esto se puede constatar en la presente tesis, donde el tamaño de roca determinado mediante este método resultó en 1.94m, siendo muy cercano al valor que se acepta en la presente tesis de 1.80m, siendo un promedio de los 6 distintos métodos.
  - ✓ Se coincide con (Vásquez Cáceres & Nureña Moncada, 2019) con lo que indican en sus recomendaciones, que se debe “realizar un estudio de

socavación y encauzamiento para la correcta instalación de la defensa lateral” (pág. 66). Sin embargo, se discrepa con respecto a la determinación del caudal de diseño, el cual realizan utilizando los caudales máximos anuales, y no los caudales máximos instantáneos anuales, tal y como plantea la presente tesis.

## CONCLUSIONES

- Del modelamiento digital de la topografía se determinó que las pendientes van desde 1.14% desde el inicio del tramo de estudio en dirección aguas abajo hasta la ubicación del pilar del puente, y de 0.72% desde el pilar del puente hasta el punto final del tramo de estudio en dirección aguas abajo.
- El caudal de diseño fue determinado en base a los caudales instantáneos máximos anuales datos del registro histórico de la Estación Quirihuac, correspondientes a la cuenca del Río Moche hasta el año 2024, con un periodo de retorno de 500 años, y en base también a la distribución Log – Pearson Tipo III, resultando un caudal de 1253.13 m<sup>3</sup>/s.
- Del análisis granulométrico, se determinaron valores de diámetros medios efectivos desde los 24.12mm, hasta los 35.80mm.
- Con el modelamiento digital sin proyecto se determinaron tirantes y velocidades que oscilan entre 2.06m hasta 5.92m, y 4.82m/s hasta 7.44m/s respectivamente.
- El cálculo de socavación general determinó que la profundidad de socavación crítica fue de 2.00 metros.
- El cálculo de socavación local determinó que la profundidad de socavación local fue de 3.30 metros.
- Para el diseño de enrocado para defensas ribereñas se determinaron los siguientes valores:
  - ✓ Altura de dique: 5.00 m.
  - ✓ Talud húmedo: 2:1.
  - ✓ Talud Seco: 1.5:1.
  - ✓ Ancho de corona: 5.00 m.
  - ✓ D<sub>50</sub>: 1.80 m.
  - ✓ Espesor de enrocado (D<sub>100</sub>): 3.60 m.
  - ✓ Profundidad de uña: 3.17 m.

- Para el diseño de manto de enrocado para protección de pilar del puente se determinaron los siguientes valores:
  - ✓  $D_{50}$ : 1.80 m.
  - ✓ Profundidad de manto de enrocado: 3.60 m.
  
- El modelamiento digital con las propuestas de proyectos de protección determinó nuevos tirantes, los cuales oscilan entre 2.08m y 3.88m en las secciones alejadas a la contracción generada por el puente; mientras que las secciones cercanas al puente, y del mismo puente, presentan valores de tirantes de entre 3.71m y 4.07m. Mientras que las nuevas velocidades oscilan entre 2.57m/s y 7.05m/s en las secciones alejadas a la contracción generada por el puente; mientras que las secciones cercanas al puente, y del mismo puente, presentan valores de velocidades de entre 5.46m/s y 9.46m/s.

## RECOMENDACIONES

- En primera instancia se recomienda que se utilice la presente tesis como punto de partida para un posterior análisis donde se podría considerar la viabilidad de la ampliación del cauce en la zona del puente, con el fin de reducir las velocidades y socavaciones por la contracción que el puente le presenta al cauce.
- Se recomienda que, para futuros estudios de hidráulica que incluya en su proceso la determinación de caudales de máximas avenidas en base a registros históricos de estaciones hidrometeorológicas, se utilicen los Caudales Instantáneos Máximos Anuales, conseguidos en base al "*Método de Füller*", en vez de los Caudales Máximos Anuales, para generar condiciones más reales y críticas.
- Se recomienda también que la presente tesis sea compartida con la Comisión de Usuarios de Agua Huatape, Santo Domingo y Conache, y con la Junta de Usuarios de Agua del Sector Hidráulico Menor Moche, con el fin de que sirva como base para futuros expedientes técnicos de defensas ribereñas y protección del pilar del puente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA (Autoridad Nacional del Agua). (2015). *Capítulo IV - Caudales Máximos*. Lima, Perú: Ministerio de Agricultura y Riego.
- ANA (Autoridad Nacional del Agua). (2015). *Tratamiento de Cauce del Río Paucartambo para el Control de Inundación y Erosión*. Lima: Ministerio de Agricultura.
- Aparicio Mijares, F. J. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. México D. F.: Limusa S. A.
- Armas Meléndez, M. A. (2021). *Análisis de la Socavación Local en los Pilares del Puente Moche Ubicado en la Ciudad de Trujillo Mediante Simulación Hidráulica en HEC-RAS*. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Civil. Trujillo, Perú: Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada del Norte.
- ASCE. (2000). *Hydraulic Modeling - Concepts and Practice*. Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers.
- Barbosa Gil, S. (2013). *Metodología para Calcular la Profundidad de Socavación General en Ríos de Montaña (Lecho de Gravas)*. Tesis Mag. en ingeniería de recurso hidráulicos. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Briceño Vásquez, E. T. (2023). *Diseño de Defensas ribereñas en el Río Moche Tramo 1+400 a 3+400 Aguas Arriba de la Confluencia con el Río Simbal - Trujillo - La Libertad*. Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero Civil. Trujillo: UPAO.
- Brown, S. A., & Clyde, E. S. (1989). *Design of Riprap Revetment*. Washington D.C.: Hydraulic Engineering Circular N°11.
- Carrillo Hernández, J. M. (02 de noviembre de 2021). *Ingeniería Civil y Administrativa*. Obtenido de <https://ingenieriaconsultoria.com/socavacion-en-puentes/#:~:text=Socavaci%C3%B3n%20por%20contracci%C3%B3n,y%20ostribos%20de%20un%20puente>.
- Chiew, Y.-M. (1995). Mechanics of Riprap Failure at Bridge Piers. *Journal of Hydraulic Engineering*.
- Chow, V. T. (1959). *Hidráulica de Canales Abiertos (Traducción de Juan G. Saldarriaga)*. New York, EEUU: McGraw Hill.
- Cueva Vazallo, A. L., & Gutiérrez Zapata, G. A. (2023). *Estudio de la socavación local en las subestructuras de los puentes Conache, Cacique, Santa Rosa y Moche - Trujillo 2023*. Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero Civil. Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego.

- Díaz Vélchez, D. G., & Millán Arriola, R. M. (2020). *Diseño de una Defensa Ribereña Mediante Enrocado en el Río Chillón, Sector Yangas. Tramo: Km 34 - 40. Tesis de titulación profesional*. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo.
- Espinoza Ruíz, L. F., & Torres Sandoval, J. C. (2015). *Diseño Hidráulico y Estructural de Diques para el Encauzamiento del Río Virú entre Zaraq y Tomabal, Provincia de Virú - Departamento de La Libertad*. Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego.
- Farias, H. D., Pilán, M. T., Olmos, L. A., & Pece, F. J. (2008). *Erosión General en Ríos Aluviales*. Santiago del Estero: Instituto de Recursos Hídricos - Universidad Nacional Santiago del Estero.
- Gómez Cunya, L. Á. (2010). *Socavación Alrededor de Pilares de Puentes en Lechos Granulares No Cohesivos*. Lima: Repositorio de Tesis de Maestría de la Universidad Nacional de Ingeniería.
- Guevara Álvarez, M. E. (2013). *Estructuras Hidráulicas*. Popayán, Colombia: Departamento de Hidráulica. Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca.
- Guevara Álvarez, M. E. (2016). *Socavación en Puentes*. Cauca, Colombia: Editorial Universidad del Cauca.
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (1974). *Mecánica de Suelos Tomo III: Flujo de agua en suelos*. México D. F. : Editorial Limusa S. A. .
- Lagasse, P. F., Zevenbergen, L. W., Schall, J. D., & Clopper, P. E. (2001). *Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures*. Washington D.C.: Federal Highway Administration.
- Lauchlan, C. S., & Melville, B. W. (2001). Riprap Protection at Bridge Piers. *Journal of Hydraulic Engineering*.
- Martín Vide, J. P. (2001). *Ingeniería de Ríos*. Barcelona, España: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Maynard, S., Ruff, J. F., & Abt, S. R. (1989). Riprap Design. *Journal of Hydraulic Engineering*.
- Maza Álvarez, J. A. (1985). Contribución al Estudio de Cauces Estables. En varios, *Anales de la Universidad de Chile* (págs. 457-475). Santiago, Chile: Universidad de Chile.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2012). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*. Lima.
- Novak, P., Moffat, A., Nalluri, C., & Narayanan, R. (2001). *Estructuras Hidráulicas - Segunda Edición. Traducción a español de la segunda edición del libro "Hydraulic Structures" por el ing. Germán Santos Granados*. Colombia: McGraw Hill Interamericana S. A.

- Orbegoso Alayo, J. D., & Roldán Mora, D. R. (2020). *Diseño Estructural del Puente Conache, sobre el Río Moche, en la Carretera Industrial – Centro Poblado Santo domingo, distrito de Laredo. Tesis de titulación en Ingeniería Civil*. Trujillo, Perú: Universidad César Vallejo.
- Otiniano Arribasplata, D. A., & Cielo Saldaña, J. V. (2016). *Diseño hidráulico y Estructural de la Defensa Ribereña del Río Nepeña, Sector Puente Huambacho - Distrito de Nepeña - Santa - Ancash. Tesis de Titulación de Ingeniería Civil*. Nuevo Chimbote, Perú: Universidad Nacional del Santa, Facultad de Ingeniería.
- Pérez Morales, G., Rodríguez Castro, J. A., & Molina Aguilar, J. P. (2018). *Ingeniería de Ríos: apuntes de la materia*. Morelia, México: Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo.
- Rocha Felices, A. (1998). *Introducción a la Hidráulica Fluvial - Primera Edición*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Rocha Felices, A. (2013). *Introducción a la Hidráulica de Obras Viales. Tercera Edición*. Lima: ICG.
- Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SNIRH). (2024). *Portal Web del Observatorio Nacional de Recursos Hídricos*. Obtenido de Mapa de Estaciones Pluviométricas: <https://snirh.ana.gob.pe/onrh/>
- Smith, D. (1976). Bridge Failures. En D. e. Smith, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers* (págs. 367-382). Londres: ICE Publishing.
- Steiner, A. A., & Fill, H. D. (2003). Estimating Instantaneous Flow Peak from Mean Daily Flow Data. *Journal of Hydrologic Engineering - ASCE*, 5.
- Terán Adriazola, R. (1998). *Diseño y Construcción de Defensas Ribereñas*. Lima: Escuela Superior de Administración de Aguas "Charles Sutton".
- USACE. (1991). *Equation Selection and Rock Sizing*. Washington D.C.: Engineering Manual 1110-2-1601.
- USDA. (2007). *Stream Restoration Design: Stone Sizing Cirteria*. Washington D.C.: National Engineering Handbook.
- Vargas Coca, G. (20 de Octubre de 2016). *Análisis de Máximas Avenidas*. Obtenido de Slideshare: <https://es.slideshare.net/RibBrian/14-analisis-de-maximas-avenidas-67439302>
- Vásquez Cáceres, W. F., & Nureña Moncada, D. E. (2019). *Identificación de áreas inundables mediante modelamiento hidráulico del Río Moche, tramo Puente Moche - desembocadura playa Buenos Aires, Trujillo-2019. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil*. Trujillo: Universidad César Vallejo.
- Villón Béjar, M. (2002). *Hidrología*. Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.





## ANEXOS

### A. Estudio Hidrológico

**Figura 25:** Tabla en de los valores de los caudales máximos anuales del registro histórico de la Estación Quirihuac en Microsoft Excel

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS HISTÓRICOS							
Tesis:		Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.					
Tesisista:		Bach. Javier Vásquez Silva					
Asesor:		Ing. Juan Pablo García Rivera					
Datos históricos de los caudales máximo anuales.							
Fuente: Portal web del MIDAGRI							
Nombre de estación:				Quirihuac			
Cuenca:				Cuenca Moche			
Área de la cuenca (Km <sup>2</sup> ):				2557			
N° de años:				71			
N°	Año	Qmáx anual (m <sup>3</sup> /s)	Qmáx instantáneo (m <sup>3</sup> /s)	N°	Año	Qmáx anual (m <sup>3</sup> /s)	Qmáx instantáneo (m <sup>3</sup> /s)
1	1950	56.00	67.18	37	1986	72.00	86.38
2	1951	48.26	57.9	38	1987	64.00	76.78
3	1952	170.17	204.15	39	1988	98.53	118.2
4	1953	94.33	113.17	40	1989	40.00	47.99
5	1954	93.26	111.88	41	1990	22.64	27.16
6	1955	132.75	159.26	42	1991	41.50	49.79
7	1956	212.88	255.39	43	1992	26.06	31.26
8	1957	197.93	237.45	44	1993	66.97	80.34
9	1958	88.33	105.97	45	1994	204.80	245.69
10	1959	117.50	140.96	46	1995	23.84	28.6
11	1960	198.63	238.29	47	1996	64.00	76.78
12	1961	43.92	52.69	48	1997	200.00	239.94
13	1962	180.31	216.31	49	1998	1000.00	1199.68
14	1963	117.57	141.05	50	1999	240.36	288.35
15	1964	119.19	142.99	51	2000	71.02	85.2
16	1965	78.40	94.05	52	2001	150.00	179.95
17	1966	58.45	70.12	53	2002	109.46	131.32
18	1967	336.60	403.81	54	2003	42.51	51.00
19	1968	23.42	28.1	55	2004	39.41	47.28
20	1969	91.81	110.14	56	2005	38.96	46.74
21	1970	96.10	115.29	57	2006	46.60	55.91
22	1971	117.63	141.12	58	2007	47.26	56.7
23	1972	138.25	165.86	59	2008	53.72	64.45
24	1973	152.96	183.5	60	2009	61.01	73.19
25	1974	50.29	60.33	61	2010	43.97	52.75
26	1975	170.88	205	62	2013	125.00	149.96
27	1976	112.85	135.38	63	2014	65.13	78.14
28	1977	201.52	241.76	64	2015	203.33	243.93
29	1978	24.00	28.79	65	2016	43.30	51.95
30	1979	54.88	65.84	66	2017	187.13	224.5
31	1980	56.00	67.18	67	2018	142.90	171.43
32	1981	160.00	191.95	68	2019	51.27	61.51
33	1982	90.00	107.97	69	2020	31.00	37.19
34	1983	280.00	335.91	70	2021	40.00	47.99
35	1984	152.00	182.35	71	2022	58.33	69.98
36	1985	20.80	24.95	72	2023	303.50	364.1

*Nota.* Fuente: (Portal Web del Observatorio Nacional de Recursos Hídricos) del (Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SNIRH), 2024).

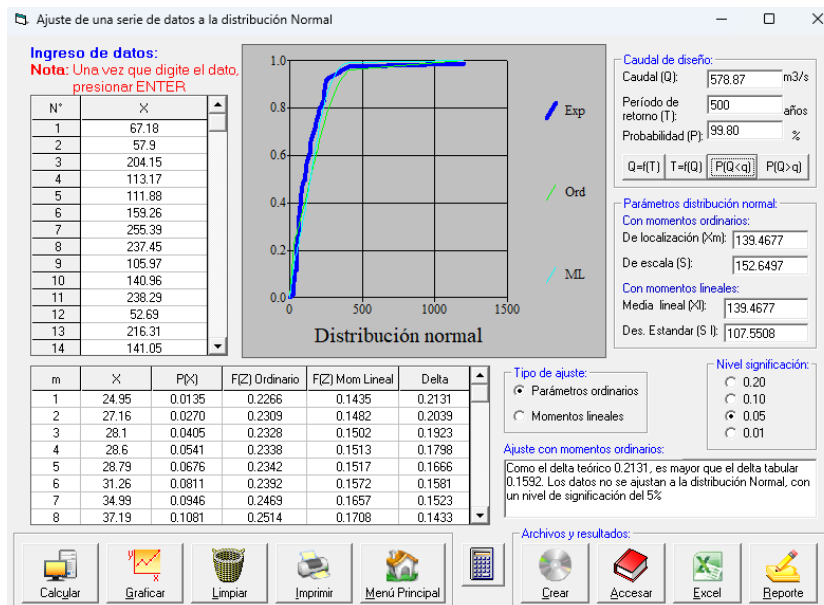
Elaboración propia.

**Figura 26:** Determinación del Período de Retorno en Microsoft Excel

DETERMINACIÓN DE PERÍODO DE RETORNO															
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.														
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva														
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera														
Relación de variables $R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>TIPO DE OBRA</th> <th>RIESGO ADMISIBLE (**) (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Puentes (*)</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Alcantarillas de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>Subdrenes</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>Defensas Riberenas</td> <td>25</td> </tr> </tbody> </table>	TIPO DE OBRA	RIESGO ADMISIBLE (**) (%)	Puentes (*)	25	Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	30	Alcantarillas de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas	35	Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	40	Subdrenes	40	Defensas Riberenas	25	Para cálculo de Socavación: $T = 500$ años
TIPO DE OBRA	RIESGO ADMISIBLE (**) (%)														
Puentes (*)	25														
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	30														
Alcantarillas de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas	35														
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	40														
Subdrenes	40														
Defensas Riberenas	25														
<p>(*) - Para obtención de la luz y nivel de agua máximas extraordinarias.            - Se recomienda un período de retorno T de 500 años para el cálculo de socavación.</p> <p>(**) - Vida Útil considerado (a):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Puentes y Defensas Riberenas n= 40 años.</li> <li>• Alcantarillas de quebradas importantes n= 25 años.</li> <li>• Alcantarillas de quebradas menores n= 15 años.</li> <li>• Drenaje de plataforma y Sub-drenes n= 15 años.</li> </ul> <p>- Se tendrá en cuenta, la importancia y la vida útil de la obra a diseñarse.            - El Propietario de una Obra es el que define el riesgo admisible de falla y la vida útil de las obras.</p>															
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2012). "Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje".															

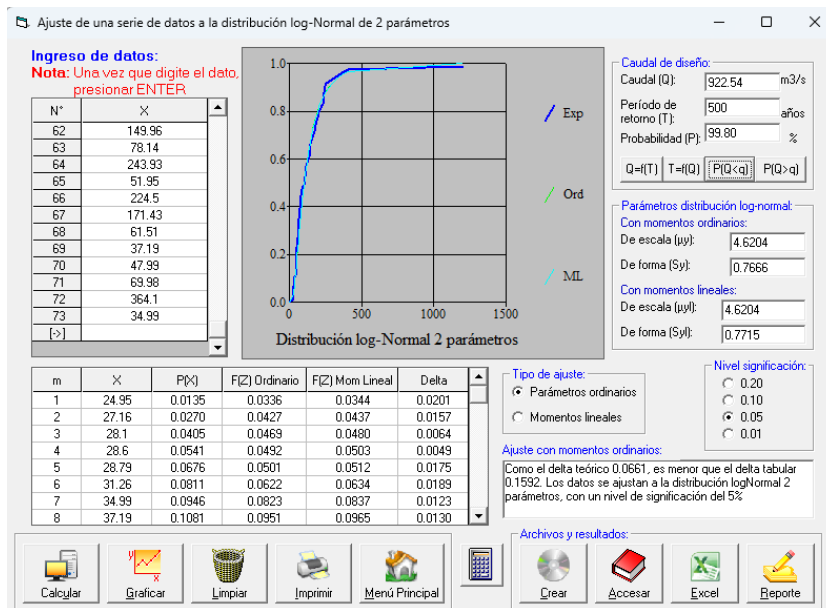
Nota. Elaboración propia.

Figura 27: Determinación del Caudal de diseño con la Distribución Normal con software Hidroesta 2



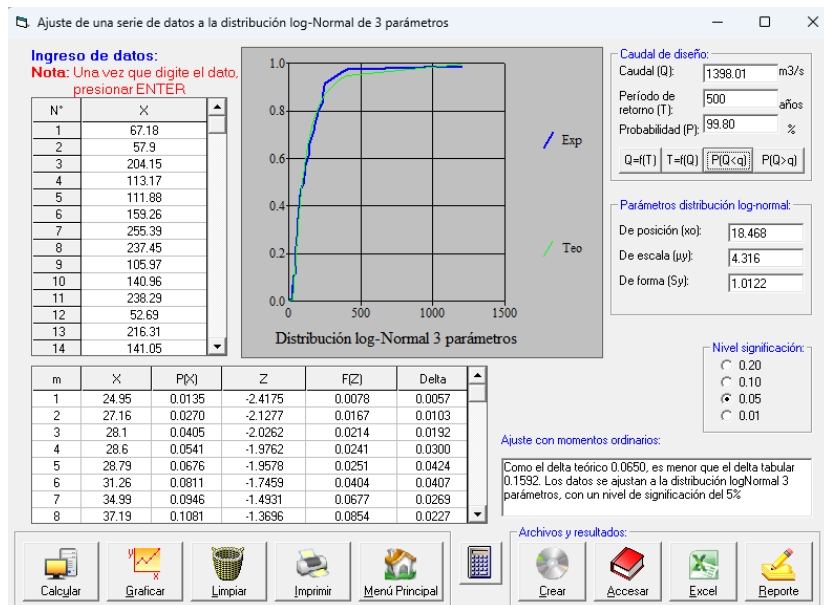
Nota. Elaboración propia.

**Figura 28:** Determinación del Caudal de diseño con la Distribución Log – Normal de 2 Parámetros con software Hidroesta 2



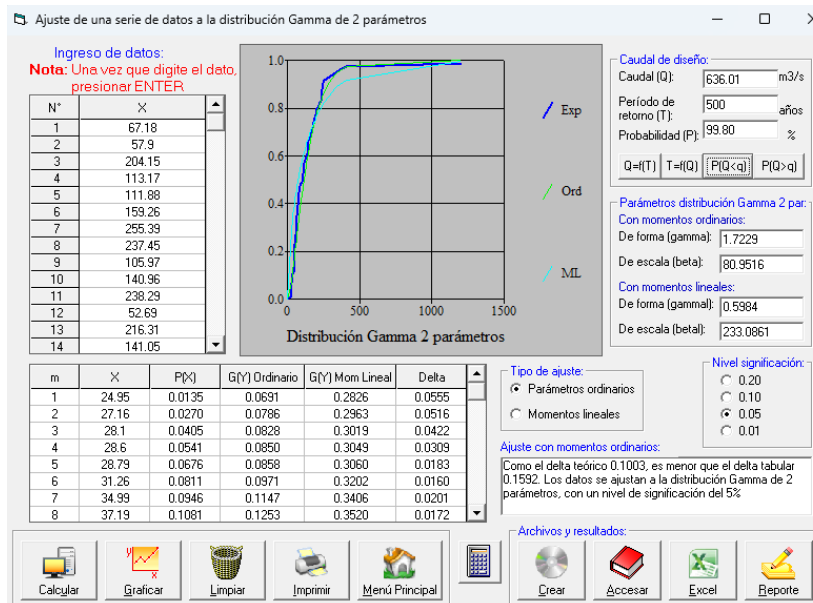
Nota. Elaboración propia.

**Figura 29:** Determinación del Caudal de diseño con la Distribución Log – Normal de 3 Parámetros con software Hidroesta 2



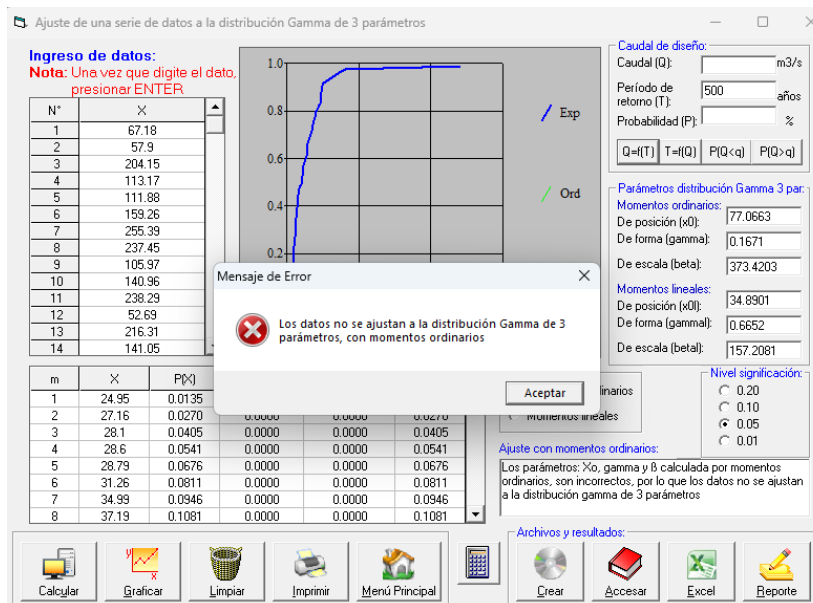
Nota. Elaboración propia.

**Figura 30:** Determinación del Caudal de diseño con la Distribución Gamma de 2 Parámetros con software Hidroesta 2



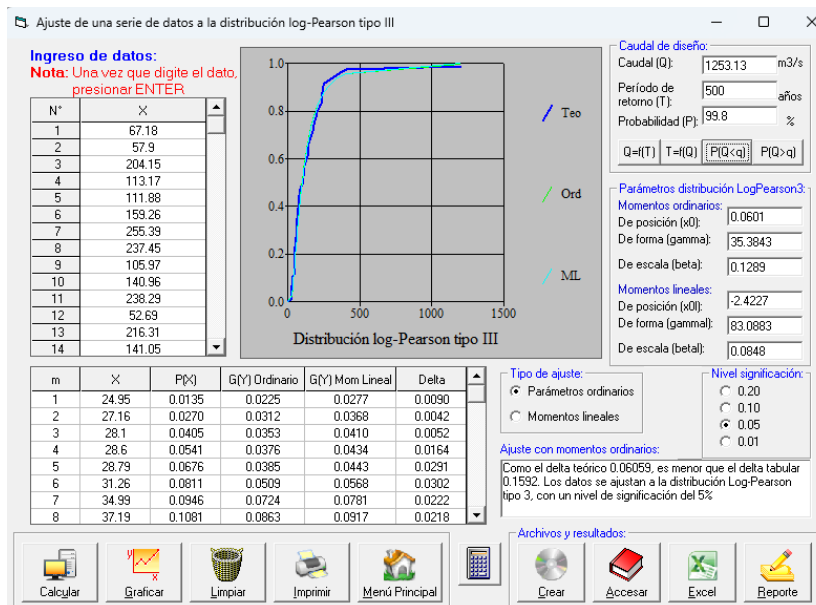
Nota. Elaboración propia.

**Figura 31:** Determinación del Caudal de diseño con la Distribución Gamma de 3 Parámetros con software Hidroesta 2



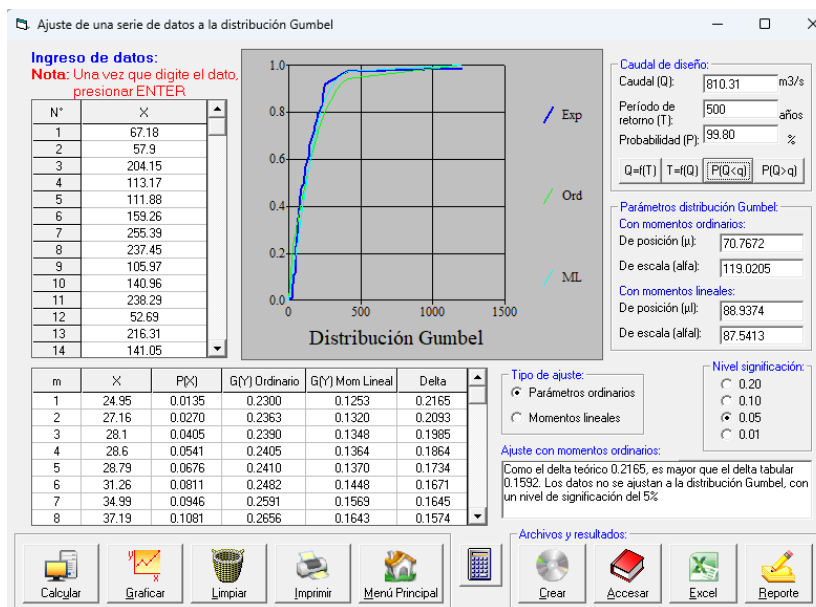
Nota. Elaboración propia.

**Figura 32:** Determinación del Caudal de diseño con la Distribución Log – Pearson Tipo III con software Hidroesta 2



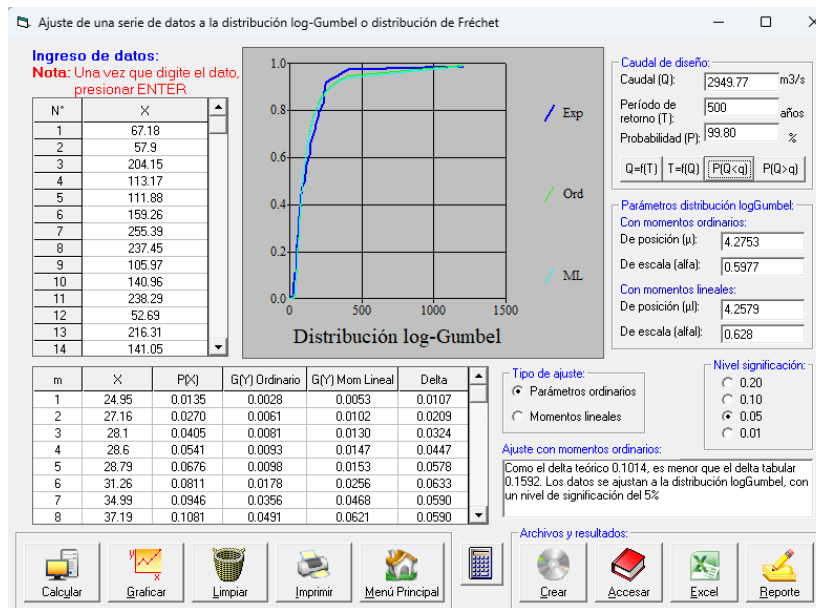
Nota. Elaboración propia.

**Figura 33:** Determinación del Caudal de diseño con la Distribución Gumbel con software Hidroesta 2



Nota. Elaboración propia.

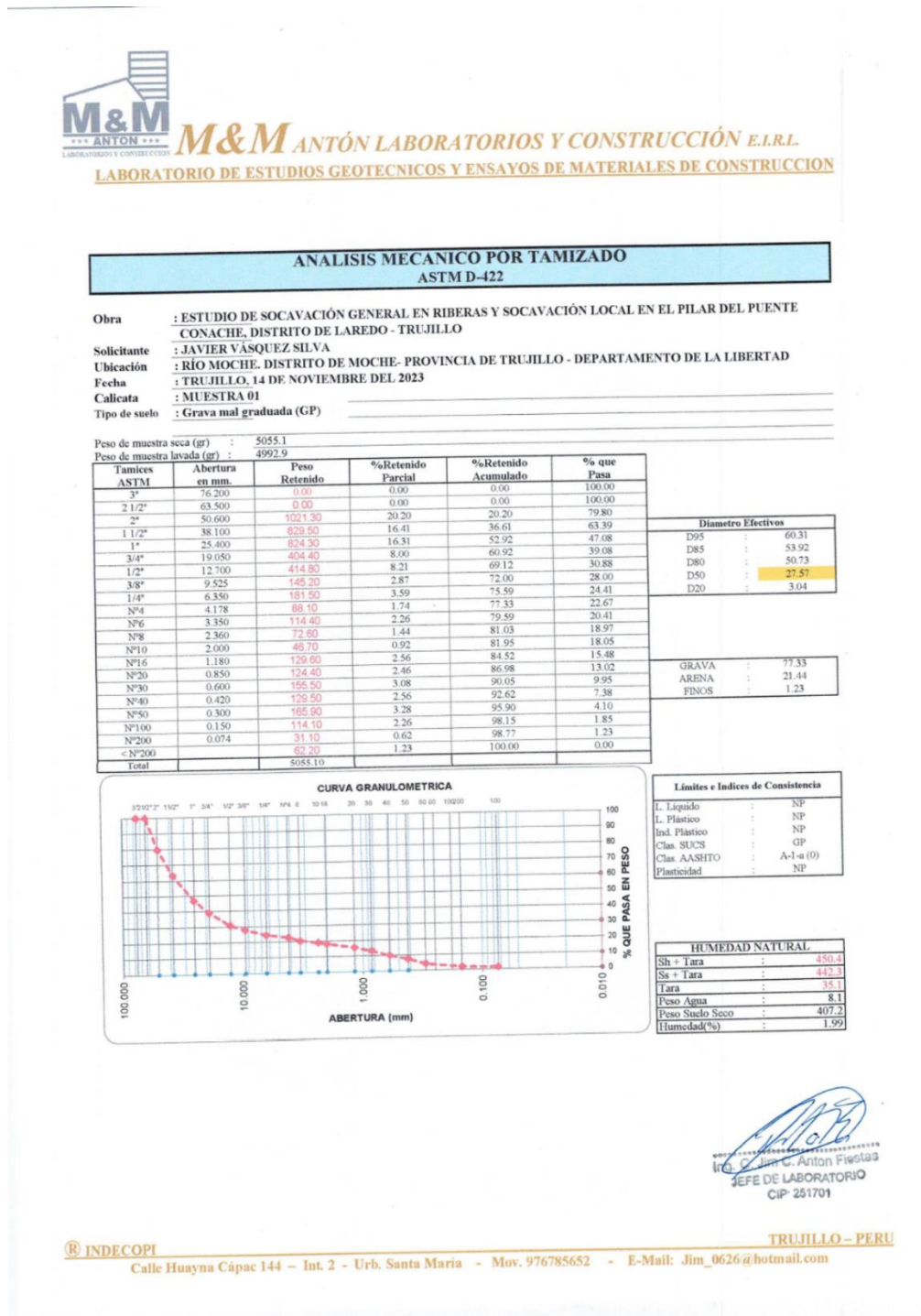
**Figura 34:** Determinación del Caudal de diseño con la Distribución Log – Gumbel con software Hidroesta 2



*Nota.* Elaboración propia.

**B. Estudio de Suelos**

**Figura 35: Resultados del estudio de suelos de la Muestra 01**



Nota. Elaboración: M&M Antón Laboratorios y Construcción E.I.R.L.



Figura 36: Resultados del estudio de suelos de la Muestra 02



**ANALISIS MECANICO POR TAMIZADO**  
ASTM D-422

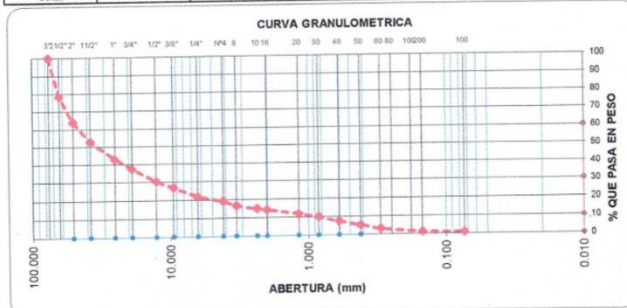
Obra : ESTUDIO DE SOCAVACIÓN GENERAL EN RIBERAS Y SOCAVACIÓN LOCAL EN EL PILAR DEL PUENTE  
CONACHE, DISTRITO DE LAREDO - TRUJILLO  
Solicitante : JAVIER VÁSQUEZ SILVA  
Ubicación : RÍO MOCHE. DISTRITO DE MOCHE- PROVINCIA DE TRUJILLO - DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD  
Fecha : TRUJILLO, 14 DE NOVIEMBRE DEL 2023  
Calicata : MUESTRA 02  
Tipo de suelo : Grava mal graduada (GP)

Peso de muestra seca (gr) : 5083.6  
Peso de muestra lavada (gr) : 5042.5

Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.500	1100.00	21.64	21.64	78.36
2"	50.600	735.00	14.46	36.10	63.90
1 1/2"	38.100	555.10	10.92	47.02	52.98
1"	25.400	498.60	9.81	56.82	43.18
3/4"	19.050	267.60	5.66	62.49	37.51
1/2"	12.700	370.10	7.28	69.77	30.23
3/8"	9.525	179.90	3.54	73.30	26.70
1/4"	6.350	251.90	4.96	78.26	21.74
Nº4	4.178	133.60	2.63	80.89	19.11
Nº6	3.350	128.50	2.53	83.42	16.58
Nº8	2.360	87.40	1.72	85.13	14.87
Nº10	2.000	36.00	0.71	85.84	14.16
Nº16	1.180	118.20	2.33	88.17	11.83
Nº20	0.850	97.70	1.92	90.09	9.91
Nº30	0.600	128.50	2.53	92.62	7.38
Nº40	0.420	113.10	2.22	94.84	5.16
Nº50	0.300	102.80	2.02	96.86	3.14
Nº100	0.150	97.70	1.92	98.79	1.21
Nº200	0.074	20.60	0.41	99.19	0.81
< Nº200		41.10	0.81	100.00	0.00
Total		5083.60			

Díametro Efectivos	
D95	: 73.33
D85	: 67.48
D80	: 64.49
D50	: 33.97
D20	: 4.84

GRAVA	: 80.89
ARENA	: 18.30
FINOS	: 0.81



Límites e Índices de Consistencia	
L. Líquido	: NP
L. Plástico	: NP
Ind. Plástico	: NP
Clas. SUCS	: GP
Clas. AASHTO	: A-1-a (0)
Plasticidad	: NP

HUMEDAD NATURAL	
Sh + Tara	: 443.6
Sa + Tara	: 434.9
Tara	: 35.7
Peso Agua	: 8.7
Peso Suelo Seco	: 399.8
Humedad(%)	: 2.17

J. C. Jim. C. Anton Fiestas  
 JEFE DE LABORATORIO  
 CIP: 251701

® INDECOPI

Calle Huayna Cápac 144 - Int. 2 - Urb. Santa María - Mov. 976785652 - E-Mail: Jim\_0626@hotmail.com

TRUJILLO - PERU

Nota. Elaboración: M&M Antón Laboratorios y Construcción E.I.R.L.

Figura 37: Resultados del estudio de suelos de la Muestra 03



**M&M ANTÓN LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.**  
**LABORATORIO DE ESTUDIOS GEOTECNICOS Y ENSAYOS DE MATERIALES DE CONSTRUCCION**

**ANALISIS MECANICO POR TAMIZADO**  
**ASTM D-422**

Obra : ESTUDIO DE SOCAVACIÓN GENERAL EN RIBERAS Y SOCAVACIÓN LOCAL EN EL PILAR DEL PUENTE  
 CONACHE, DISTRITO DE LAREDO - TRUJILLO  
 Solicitante : JAVIER VÁSQUEZ SILVA  
 Ubicación : RÍO MOCHE, DISTRITO DE MOCHE- PROVINCIA DE TRUJILLO - DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD  
 Fecha : TRUJILLO, 14 DE NOVIEMBRE DEL 2023  
 Calicata : MUESTRA 03  
 Tipo de suelo : Grava mal graduada (GP)

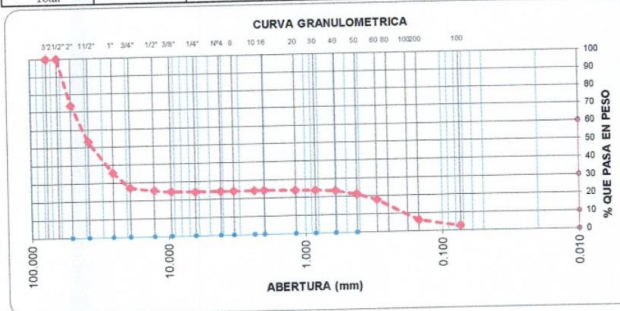
Peso de muestra seca (gr) : 4623.0  
 Peso de muestra lavada (gr) : 4505.8

Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.600	1223.30	26.46	26.46	73.54
1 1/2"	38.100	942.90	20.40	46.86	53.14
1"	25.400	805.30	17.42	64.28	35.72
3/4"	19.050	397.60	8.60	72.88	27.12
1/2"	12.700	81.60	1.77	74.64	25.36
3/8"	9.525	35.70	0.77	75.41	24.59
1/4"	6.350	15.30	0.33	75.75	24.25
Nº4	4.178	5.10	0.11	75.86	24.14
Nº6	3.350	0.00	0.00	75.86	24.14
Nº8	2.360	0.00	0.00	75.86	24.14
Nº10	2.000	0.00	0.00	75.86	24.14
Nº16	1.180	10.20	0.22	76.08	23.92
Nº20	0.850	10.20	0.22	76.30	23.70
Nº30	0.600	25.50	0.55	76.85	23.15
Nº40	0.420	98.80	2.09	78.94	21.06
Nº50	0.300	147.80	3.20	82.14	17.86
Nº100	0.150	540.30	11.69	93.83	6.17
Nº200	0.074	168.20	3.64	97.46	2.54
<Nº200		117.20	2.54	100.00	0.00
Total		4623.00			

**Diametro Efectivos**

D95	: 61.14
D85	: 56.32
D80	: 53.85
D50	: 35.80
D20	: 0.38

GRAVA	: 75.86
ARENA	: 21.61
FINOS	: 2.54



**Límites e Indices de Consistencia**

L. Líquido	: NP
L. Plástico	: NP
Ind. Plástico	: NP
Clas. SUCS	: GP
Clas. AASHTO	: A-1-a (0)
Plasticidad	: NP

**HUMEDAD NATURAL**

Sh + Tara	: 485.6
Ss + Tara	: 476.2
Tara	: 35.1
Peso Agua	: 9.4
Peso Suelo Seco	: 441.1
Humedad(%)	: 2.14

*Ing. C. Jim C. Anton Fiestas*  
 JEFE DE LABORATORIO  
 CIP- 251701

Nota. Elaboración: M&M Antón Laboratorios y Construcción E.I.R.L.

Figura 38: Resultados del estudio de suelos de la Muestra 04



**M&M ANTÓN LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.**  
**LABORATORIO DE ESTUDIOS GEOTECNICOS Y ENSAYOS DE MATERIALES DE CONSTRUCCION**

**ANALISIS MECANICO POR TAMIZADO**  
**ASTM D-422**

Obra : ESTUDIO DE SOCAVACIÓN GENERAL EN RIBERAS Y SOCAVACIÓN LOCAL EN EL PILAR DEL PUENTE  
 CONACHE, DISTRITO DE LAREDO - TRUJILLO  
 Solicitante : JAVIER VÁSQUEZ SILVA  
 Ubicación : RÍO MOCHE, DISTRITO DE MOCHE- PROVINCIA DE TRUJILLO - DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD  
 Fecha : TRUJILLO, 14 DE NOVIEMBRE DEL 2023  
 Calicata : MUESTRA 04  
 Tipo de suelo : Grava mal graduada (GP)

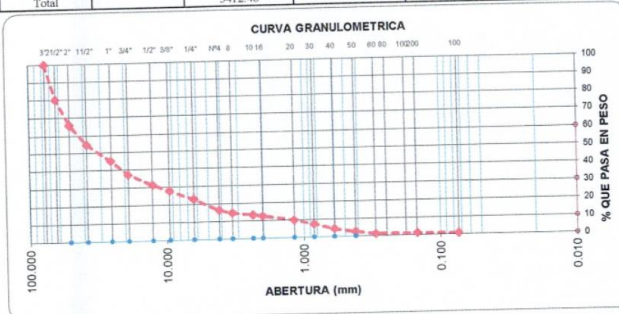
Peso de muestra seca (gr) : 5412.5  
 Peso de muestra lavada (gr) : 5374.3

Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.500	1075.90	19.88	19.88	80.12
2"	50.600	770.10	14.23	34.11	65.89
1 1/2"	38.100	600.80	11.10	45.21	54.79
1"	25.400	518.00	9.59	54.79	45.21
3/4"	19.050	428.00	7.87	62.66	37.34
1/2"	12.700	327.70	6.05	68.72	31.28
3/8"	9.525	191.20	3.53	72.25	27.75
1/4"	6.350	267.60	4.94	77.20	22.80
Nº4	4.178	349.56	6.46	83.65	16.35
Nº6	3.350	92.80	1.71	85.37	14.63
Nº8	2.360	71.00	1.31	86.68	13.32
Nº10	2.000	38.20	0.71	87.39	12.61
Nº16	1.180	147.50	2.73	90.11	9.89
Nº20	0.850	136.50	2.52	92.63	7.37
Nº30	0.600	163.80	3.03	95.66	4.34
Nº40	0.420	103.80	1.92	97.58	2.42
Nº50	0.300	71.00	1.31	98.89	1.11
Nº100	0.150	5.50	0.10	98.99	1.01
Nº200	0.074	16.40	0.30	99.29	0.71
<Nº200		38.20	0.71	100.00	0.00
Total		5412.46			

**Diametro Efectivos**

D95	: 73.05
D85	: 66.66
D80	: 63.39
D50	: 31.41
D20	: 5.38

GRAVA	: 83.65
ARENA	: 15.64
FINOS	: 0.71



**Límites e Índices de Consistencia**

L. Líquido	: NP
L. Plástico	: NP
Ind. Plástico	: NP
Clas. SUCS	: GP
Clas. AASHTO	: A-1-a (0)
Plasticidad	: NP

**HUMEDAD NATURAL**

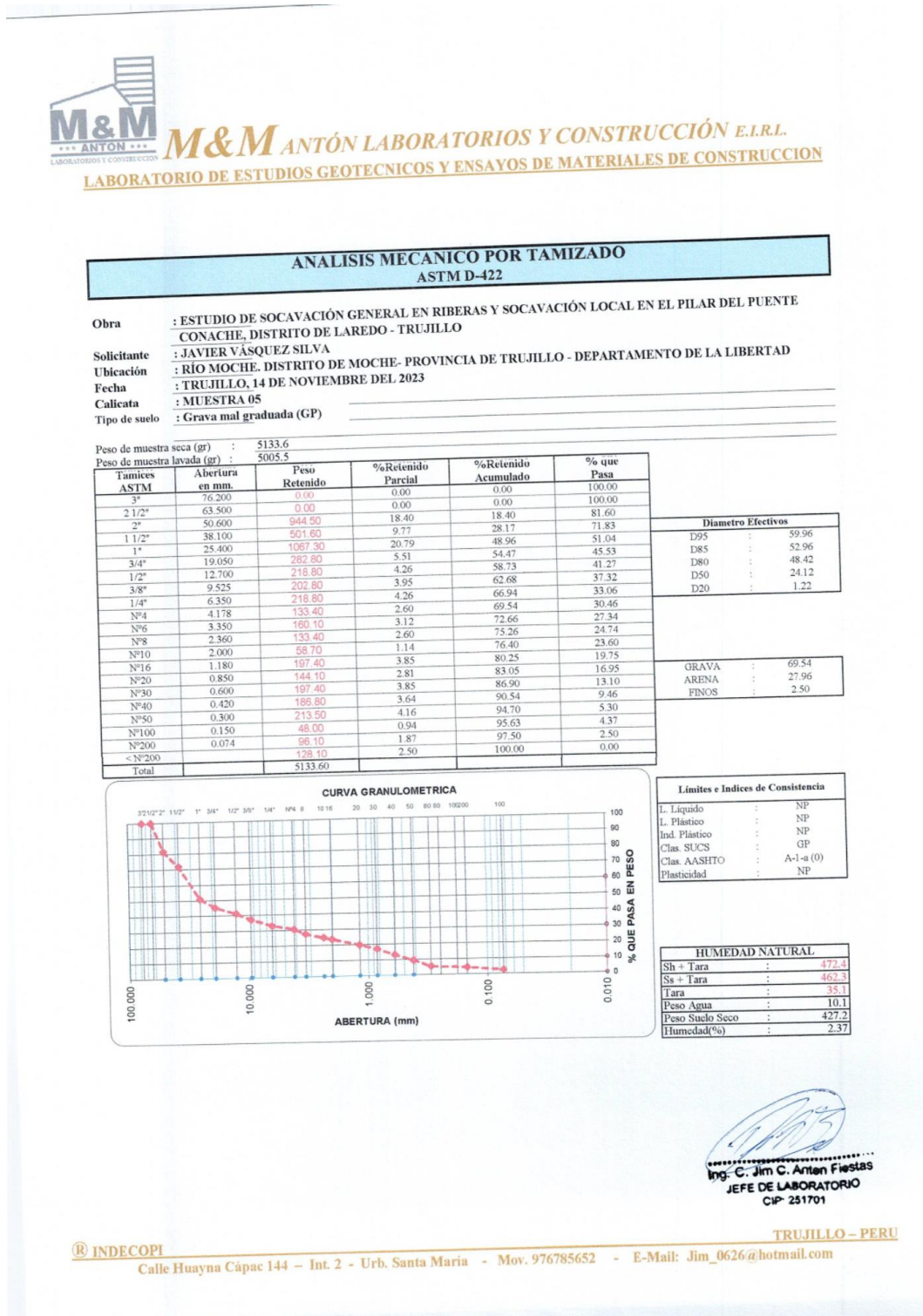
Sh + Tara	: 432.6
Ss + Tara	: 425.9
Tara	: 35.1
Peso Agua	: 6.7
Peso Suelo Seco	: 390.8
Humedad(%)	: 1.71

*Ing. C. Jim C. Anton Fiestas*  
**JEFE DE LABORATORIO**  
 CIP: 251701

Nota. Elaboración: M&M Antón Laboratorios y Construcción E.I.R.L.



Figura 39: Resultados del estudio de suelos de la Muestra 05



Nota. Elaboración: M&M Antón Laboratorios y Construcción E.I.R.L.

### C. HIDRÁULICA, SOCAVACIÓN Y ENROCADO

- **Parámetros hidráulicos de las secciones sin proyecto**

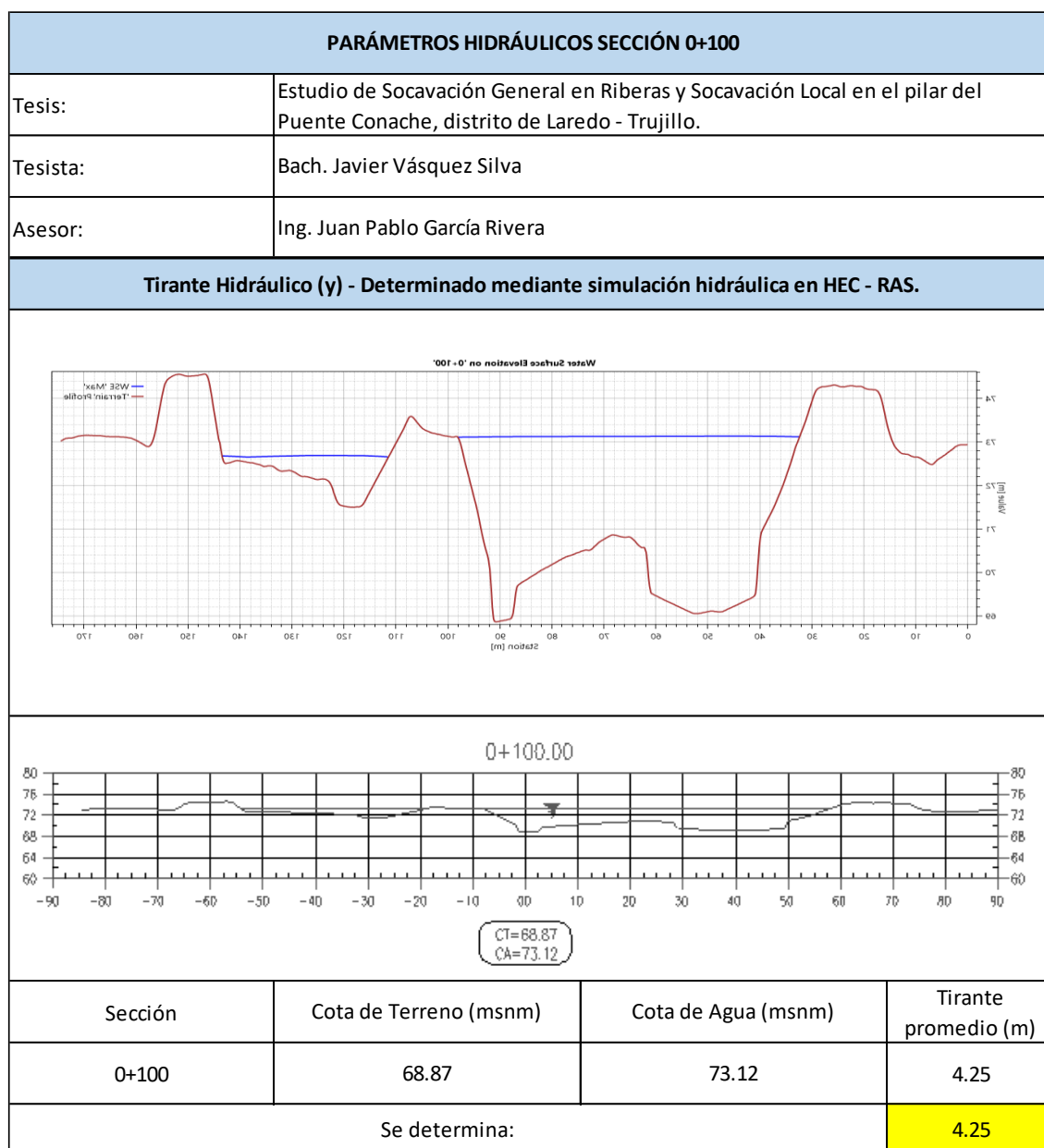
✓ **Sección 0+100:**

**Figura 40:** *Datos Iniciales de los parámetros topográficos y geotécnicos de la Sección 0+100 en Microsoft Excel*

DATOS INICIALES - SECCIÓN 0+100				
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.			
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva			
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera			
Caudal de Diseño "Qd" (m <sup>3</sup> /s)	Ancho Natural de Cauce (m)	Pendiente "S" (m/m)	Periodo de Retorno T (años)	Condición de lecho
1253.13	130	0.0114	500	Dunas medianas
Análisis de Sedimentos del lecho				
d50 (mm)	d80 (mm)	d85 (mm)	d95 (mm)	γs (ton/m <sup>3</sup> )
30.57	56.18	59.47	65.56	1.65

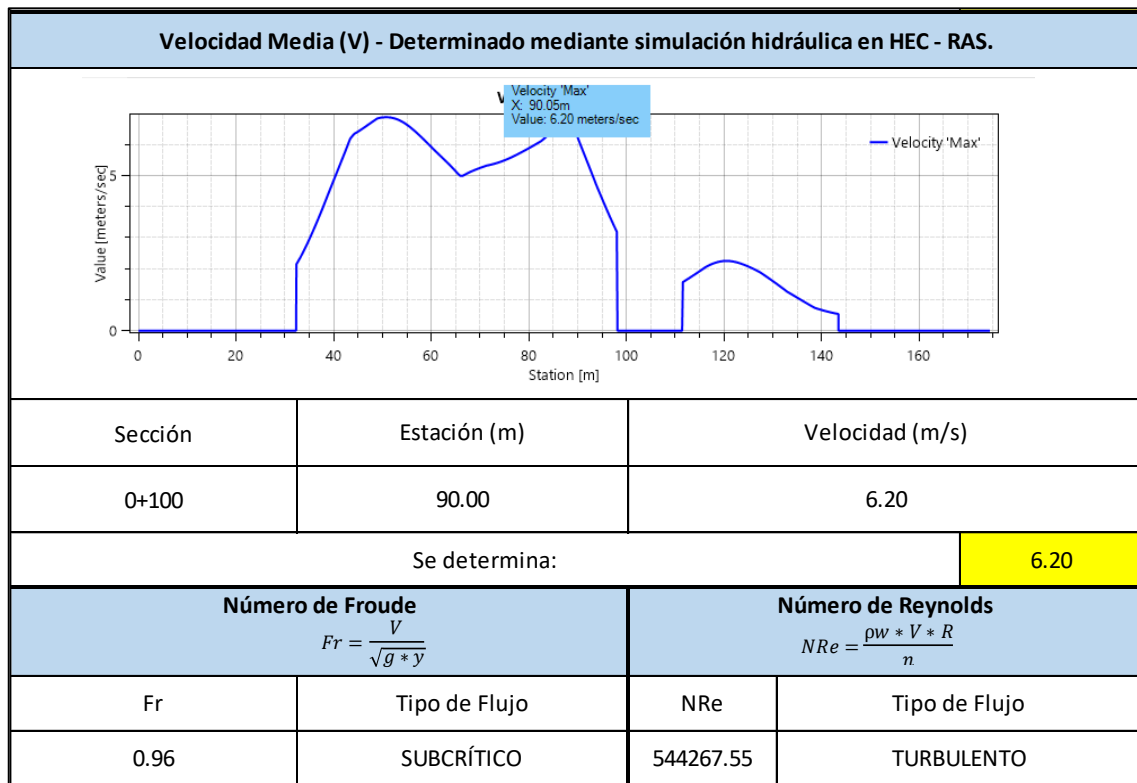
*Nota.* Elaboración propia

**Figura 41:** *Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+100 en Microsoft Excel. Parte 01*



Nota. Elaboración propia

**Figura 42:** *Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+100 en Microsoft Excel. Parte 02*



*Nota.* Elaboración propia

**Figura 43:** Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+100 en Microsoft Excel. Parte 01

TABLAS PARA CÁLCULO DE SOCAVACIÓN GENERAL - SECCIÓN 0+100													
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.												
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva												
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera												
Datos Iniciales													
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Ancho de cauce	Tirante Hidráulico (m)	Velocidad Media (m/s)	N° de Froude	Tipo de Flujo	Descarga Unitaria (m <sup>2</sup> /s)	d50 suelo (mm)	PE suelo (ton/m <sup>3</sup> )					
1253.13	130.00	4.25	6.20	0.96	SUBCRÍTICO	9.64	30.57	1.65					
Tablas para cálculo de Socavación General (Método Lischvan - Lebediev) - Extraído de: Pérez et al (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia"													
Tabla N° 1 - Coeficiente de contracción "μ". Método de Lischvan - Lebediev													
Velocidad media en la sección	Ancho de cauce en metros												
	10	13	16	18	21	25	30	42	52	63	106	124	200
< 1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.5	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
2	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
2.5	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
3	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.5	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.94	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
> 4.00	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.93	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99
Ancho de cauce (m):	→		130										
Velocidad media (m/s):	→		6.20										
Interpolación de datos:													
		124	130	200									
		#N/D		#N/D									
	6.20	#N/D	#N/D	#N/D									
		#N/D		#N/D									
Entonces:	μ =		0.99										
Por lo que:	α =		0.87										

**Nota.** Elaboración propia



**Figura 44:** Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+100 en Microsoft Excel. Parte 02

Tabla N°2 - Valores del coeficiente "β"		Tabla N°3 - Valores de "X" y "1/(1+X)" para suelos cohesivos y no cohesivos. Método de Lischtvan - Lebediev							
Periodo de retorno (Tr) en años	(β)	Suelos cohesivos			Suelos no cohesivos			Valores para el estudio	
		γs (ton/m³)	x	$\frac{1}{1+X}$	Dm (mm)	x	$\frac{1}{1+X}$	x	$\frac{1}{1+X}$
1	0.77	0.80	0.52	0.66	0.05	0.43	0.70		
2	0.82	0.82	0.51	0.66	0.15	0.42	0.70		
5	0.86	0.86	0.50	0.67	0.50	0.41	0.71		
10	0.90	0.88	0.49	0.67	1.00	0.40	0.71		
20	0.94	0.90	0.48	0.67	1.50	0.39	0.72		
50	0.97	0.93	0.47	0.68	2.50	0.38	0.72		
100	1.00	0.96	0.46	0.68	4	0.37	0.73		
500	1.05	0.98	0.45	0.69	6	0.36	0.74		
1000	1.07	1.00	0.44	0.69	8	0.35	0.74		
		1.04	0.43	0.70	10	0.34	0.75		
		1.08	0.42	0.70	15	0.33	0.75		
		1.12	0.41	0.71	20	0.32	0.76		
		1.16	0.40	0.71	25	0.31	0.76	0.306	0.76
		1.20	0.39	0.72	40	0.30	0.77		
		1.24	0.38	0.72	60	0.29	0.78		
		1.28	0.37	0.73	90	0.28	0.78		
		1.34	0.36	0.74	140	0.27	0.79		
		1.40	0.35	0.74	190	0.26	0.79		
		1.46	0.34	0.75	250	0.25	0.80		
		1.52	0.33	0.75	310	0.24	0.81		
		1.58	0.32	0.76	370	0.23	0.81		
		1.64	0.31	0.76	450	0.22	0.83		
		1.71	0.30	0.77	570	0.21	0.83		
		1.80	0.29	0.78	750	0.20	0.83		
		1.89	0.28	0.78	1000	0.19	0.84		
		2.00	0.27	0.79					

Tr =	500
β =	1.05

D50 de suelo (mm):	30.57
X	>>> 0.306
1/(1+X)	>>> 0.76

Nota. Elaboración propia

**Figura 45:** Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+100 en Microsoft Excel. Parte 03

Tabla N°4 - Clasificación según tamaño de partículas					
Tamaño (mm)			Tipo de material	Tipo de material del estudio	
4000	-	2000	Canto rodado muy grande		
2000	-	1000	Canto rodado grande		
1000	-	500	Canto rodado medio		
500	-	250	Canto rodado pequeño		
250	-	130	Cascajo grande		
130	-	64	Cascajo pequeño		
64	-	32	Grava muy grueso		
32	-	16	Grava gruesa	←	Grava gruesa
16	-	8	Grava media		
8	-	4	Grava fina		
4	-	2	Grava muy fina		
2	-	1	Arena muy gruesa		
1	-	0.5	Arena gruesa		
0.5	-	0.25	Arena media		
0.25	-	0.125	Arena fina		
0.125	-	0.062	Arena muy fina		
0.062	-	0.031	Limo grueso		
0.031	-	0.016	Limo medio		
0.016	-	0.008	Limo fino		
0.008	-	0.004	Limo muy fino		
0.004	-	0.002	Arcilla gruesa		
0.002	-	0.001	Arcilla media		
0.001	-	0.0005	Arcilla fina		
0.0005	-	0.00024	Arcilla muy fina		

D50 de suelo (mm):	<input type="text" value="30.57"/>	>>>	<input type="text" value="Grava gruesa"/>
	<input type="text" value="Material:"/>	>>>	<input type="text" value="Granular (No cohesivo)"/>

Nota. Elaboración propia

**Figura 46:** Cálculo de socavación general en Sección 0+100 en Microsoft Excel

CÁLCULO DE SOCAVACIÓN GENERAL - SECCIÓN 0+100					
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.				
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva				
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera				
Socavación General (Lischtvan - Lebediev) - Extraído de: Pérez et al, (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia".					
Para Suelos Cohesivos			Para Suelos granulares (no cohesivos)		
$Y_s = \left( \frac{\alpha * y^{5/3}}{0.60 * \gamma^{1.18} * \beta} \right)^{\frac{1}{1+X}}$			$Y_s = \left( \frac{\alpha * y^{5/3}}{0.68 * d_{50}^{0.28} * \beta} \right)^{\frac{1}{1+X}}$		
Tirante de socavación por Contracción Ys (m)					
3.51					
Profundidad de Socavación - Hs (m)					
NO HAY SOCAVACIÓN POR CONTRACCIÓN					
Ecuación Reducida para Socavación General - Extraído de: Barbosa Gil, S. (2013). "Metodología para Calcular la Profundidad de Socavación General en Ríos de Montaña (Lecho de Gravas)".					
$Y_s = k * \left( \frac{q^\omega}{d_{50}^\eta} \right)$					
Método (Adaptado por Barbosa Gil)	k	ω	η	Ys	Prof. de Socavación General Hs (m)
Maza - Echevarría	0.365	0.784	0.157	3.73	NO HAY SOCAVACIÓN
Lischtvan - Lebediev	0.310	0.758	0.212	3.62	NO HAY SOCAVACIÓN
Laursen	0.210	0.857	0.285	3.96	NO HAY SOCAVACIÓN
Maza - García	0.209	0.870	0.304	4.33	0.08
Neill	0.320	0.798	0.2	3.92	NO HAY SOCAVACIÓN
Blench	0.692	0.667	0.087	4.25	0.00

Nota. Elaboración propia

**Figura 47:** Resumen del cálculo de socavación general en Sección 0+100 en Microsoft Excel

Resumen	
Método	Hs (m)
Socavación General (Lischtvan - Lebediev) - Extraído de: Pérez et al, (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia".	NO HAY SOCAVACIÓN
Maza - Echevarría	NO HAY SOCAVACIÓN
Lischtvan - Lebediev	NO HAY SOCAVACIÓN
Laursen	NO HAY SOCAVACIÓN
Maza - García	0.08
Neill	NO HAY SOCAVACIÓN
Blench	0.00
<b>Promedio:</b>	<b>0.04</b>
<b>Se determina:</b>	<b>0.10</b>

Nota. Elaboración propia

**Figura 48:** Cálculo de profundidad de uña de enrocado de protección en Sección 0+100 en Microsoft Excel

CÁLCULO DE PROFUNDIDAD DE UÑA - SECCIÓN 0+100		
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.	
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva	
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera	
Profundidad de Uña Defensa Ribereña $P_u = FS * H_s$		
Profundidad de socavación Hs	Factor de Seguridad FS	Prof. De uña (m)
0.10	1.10	0.2

Nota. Elaboración propia

**Figura 49:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+100 en Microsoft Excel. Parte 01

CÁLCULO DE DIÁMETRO DE ROCA DE ENROCADO PARA PROTECCIÓN RIBEREÑA - SECCIÓN 0+100	
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera
Brown & Clyde - Extraído de: Brown, S. A., & Clyde, E. S. (1989). "Design of Riprap Revetment. Final Report HEC-11".	
$D_{50} = \frac{0.00594 * V^3}{y^{0.5} * K1^{1.5}}$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
1.02	
Maynard - Extraído de: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2012). "Manual de Hidráulica, Hidrología y Drenaje".	
$D_{50} = C1 * (y * Fr^3)$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
2.35	
Maynard et al - Extraído de: Maynard et al (1989). "Riprap Design".	
$D_{30} = y * FS * 0.3 * \left( \left( \frac{\gamma a}{\gamma r - \gamma a} \right)^{0.5} * \frac{V}{\sqrt{g y}} \right)^{2.5}$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
1.14	
USACE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	
$D_{30} = FS * Ce * Cv * Ct * y \left( \left( \frac{\gamma a}{\gamma r - \gamma a} \right)^{0.5} * \frac{V}{\sqrt{K1 g y}} \right)^{2.5}$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
1.58	

Nota. Elaboración propia

**Figura 50:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+100 en Microsoft Excel. Parte 02

<p>Isbash - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = \frac{V^2}{2gT^2 * (G_s - 1)}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1.61
<p>USBR - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = 0.0122 * V^{2.06}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1.84
<p>ASCE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = \left( \frac{6W}{\pi * \gamma_r} \right)^{1/3} ; W = \frac{0.000041 * G_s * V^6}{(G_s - 1)^3 * \cos^3(\theta)}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.92
<p>Abt &amp; Johnson - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = 5.23 * S^{0.43} * q^{0.56}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.26

Nota. Elaboración propia

**Figura 51:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+100 en Microsoft Excel. Parte 03

Anderson et al (NCHRP Report 108) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".
$D_{50} = \frac{\gamma * R * S}{4}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.70
Blaisdell (Tillatoba model study) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".
$D_{50} = 0.00116 * \frac{V^3}{y^{0.5}}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.80
CALTRANS (California Department of Transportation) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".
$D_{50} = \left( \frac{6W}{\pi * \gamma r} \right)^{1/3} ; \quad W = \frac{0.00002}{(G_s - 1)^3} * \frac{0.67 * V^6 * G_s}{\text{sen}^3(r - a)}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1.80

Nota. Elaboración propia

**Figura 52:** Resumen de cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+100 en Microsoft Excel

Resumen		
Método	D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
1	Brown & Clyde - Extraído de: Brown, S. A., & Clyde, E. S. (1989). "Design of Riprap Revetment. Final Report HEC-11".	1.02
2	Maynord - Extraído de: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2012). "Manual de Hidráulica, Hidrología y Drenaje".	2.35
3	Maynord et al - Extraído de: Maynord et al (1989). "Riprap Design".	1.14
4	USACE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	1.58
5	Isbash - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	1.61
6	USBR - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	1.84
7	ASCE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	0.92
8	Abt & Johnson - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	0.26
9	Anderson et al (NCHRP Report 108) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".	0.70
10	Blaisdell (Tillatoba model study) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".	0.80
11	CALTRANS (California Department of Transportation) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".	1.80
Promedio:		1.30
Media Armónica:		0.90
Se determina:		1.00

Nota. Elaboración propia



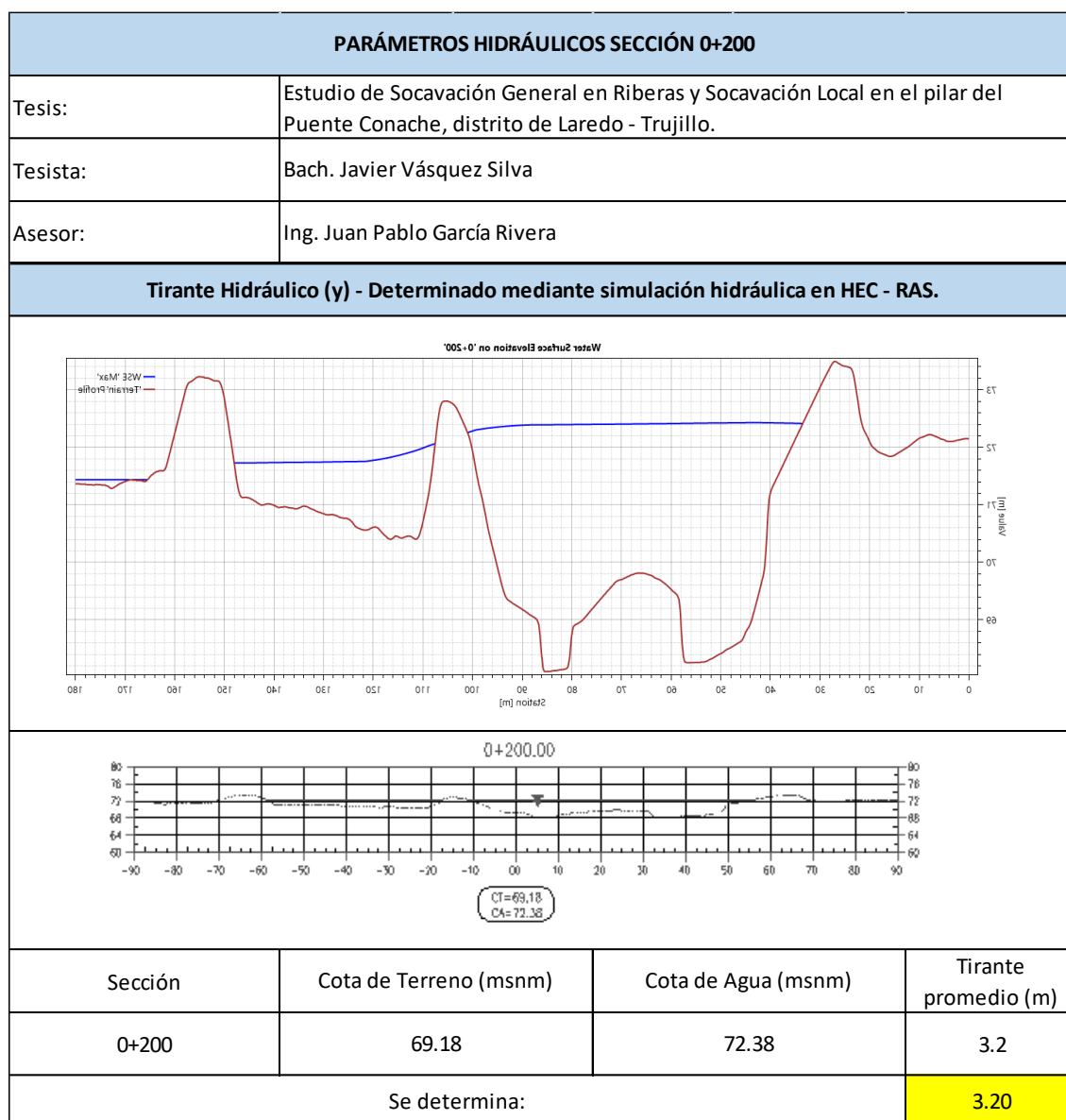
✓ **Sección 0+200:**

**Figura 53:** *Datos Iniciales de los parámetros topográficos y geotécnicos de la Sección 0+200 en Microsoft Excel*

DATOS INICIALES - SECCIÓN 0+200				
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.			
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva			
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera			
Caudal de Diseño	Ancho Natural de Cauce (m)	Pendiente "S" (m/m)	Periodo de Retorno T (años)	Condición de lecho
1253.13	130	0.0114	500	Dunas medianas
Análisis de Sedimentos del lecho				
d50 (mm)	d80 (mm)	d85 (mm)	d95 (mm)	$\gamma_s$ (ton/m <sup>3</sup> )
30.57	56.18	59.47	65.56	1.65

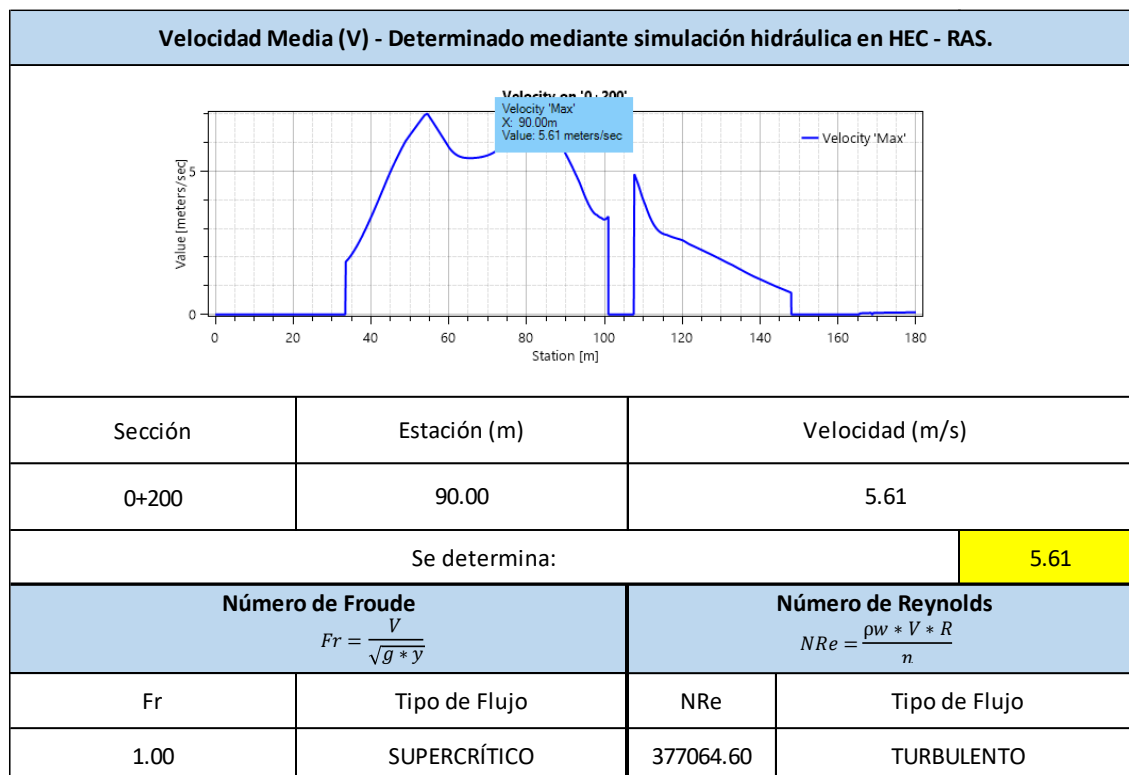
*Nota.* Elaboración propia

**Figura 54:** *Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+200 en Microsoft Excel. Parte 01*



Nota. Elaboración propia

**Figura 55:** Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+200 en Microsoft Excel. Parte 02



Nota. Elaboración propia

**Figura 56:** Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+200 en Microsoft Excel. Parte 01

TABLAS PARA CÁLCULO DE SOCAVACIÓN GENERAL - SECCIÓN 0+200													
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.												
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva												
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera												
Datos Iniciales													
Caudal (m³/s)	Ancho de cauce	Tirante Hidráulico (m)	Velocidad Media (m/s)	N° de Froude	Tipo de Flujo	Descarga Unitaria (m²/s)	d50 suelo (mm)	PE suelo (ton/m³)					
1253.13	130.00	3.20	5.61	1.00	SUPERCRÍTICO	9.64	30.57	1.65					
Tablas para cálculo de Socavación General (Método Lischtván - Lebediev) - Extraído de: Pérez et al (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia"													
Tabla N° 1 - Coeficiente de contracción "μ". Método de Lischtván - Lebediev													
Velocidad media en la sección	Ancho de cauce en metros												
	10	13	16	18	21	25	30	42	52	63	106	124	200
< 1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.5	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
2	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
2.5	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
3	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.5	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.94	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
> 4.00	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.93	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99
Ancho de cauce (m):	→		130										
Velocidad media (m/s):	→		5.61										
Interpolación de datos:													
		124	130	200									
		#N/D		#N/D									
	5.61	#N/D	#N/D	#N/D									
		#N/D		#N/D									
Entonces:	μ =		0.99										
Por lo que:	α =		1.4										

Nota. Elaboración propia

**Figura 57:** Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+200 en Microsoft Excel. Parte 02

Tabla N°2 - Valores del coeficiente "β"		Tabla N°3 - Valores de "X" y "1/(1+X)" para suelos cohesivos y no cohesivos. Método de Lischtvan - Lebediev							
Periodo de retorno (Tr) en años	(β)	Suelos cohesivos			Suelos no cohesivos			Valores para el estudio	
		γs (ton/m³)	X	$\frac{1}{1+X}$	Dm (mm)	X	$\frac{1}{1+X}$	X	$\frac{1}{1+X}$
1	0.77	0.80	0.52	0.66	0.05	0.43	0.70		
2	0.82	0.82	0.51	0.66	0.15	0.42	0.70		
5	0.86	0.86	0.50	0.67	0.50	0.41	0.71		
10	0.90	0.88	0.49	0.67	1.00	0.40	0.71		
20	0.94	0.90	0.48	0.67	1.50	0.39	0.72		
50	0.97	0.93	0.47	0.68	2.50	0.38	0.72		
100	1.00	0.96	0.46	0.68	4	0.37	0.73		
500	1.05	0.98	0.45	0.69	6	0.36	0.74		
1000	1.07	1.00	0.44	0.69	8	0.35	0.74		
		1.04	0.43	0.70	10	0.34	0.75		
		1.08	0.42	0.70	15	0.33	0.75		
		1.12	0.41	0.71	20	0.32	0.76		
		1.16	0.40	0.71	25	0.31	0.76	0.306	0.76
		1.20	0.39	0.72	40	0.30	0.77		
		1.24	0.38	0.72	60	0.29	0.78		
		1.28	0.37	0.73	90	0.28	0.78		
		1.34	0.36	0.74	140	0.27	0.79		
		1.40	0.35	0.74	190	0.26	0.79		
		1.46	0.34	0.75	250	0.25	0.80		
		1.52	0.33	0.75	310	0.24	0.81		
		1.58	0.32	0.76	370	0.23	0.81		
		1.64	0.31	0.76	450	0.22	0.83		
		1.71	0.30	0.77	570	0.21	0.83		
		1.80	0.29	0.78	750	0.20	0.83		
		1.89	0.28	0.78	1000	0.19	0.84		
		2.00	0.27	0.79					

Tr = 500  
β = 1.05

D50 de suelo (mm): 30.57

X >>> 0.306

1/(1+X) >>> 0.76

Nota. Elaboración propia

**Figura 58:** Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+200 en Microsoft Excel. Parte 03

Tabla N°4 - Clasificación según tamaño de partículas					
Tamaño (mm)			Tipo de material	Tipo de material del estudio	
4000	-	2000	Canto rodado muy grande		
2000	-	1000	Canto rodado grande		
1000	-	500	Canto rodado medio		
500	-	250	Canto rodado pequeño		
250	-	130	Cascajo grande		
130	-	64	Cascajo pequeño		
64	-	32	Grava muy grueso		
32	-	16	Grava gruesa	←	Grava gruesa
16	-	8	Grava media		
8	-	4	Grava fina		
4	-	2	Grava muy fina		
2	-	1	Arena muy gruesa		
1	-	0.5	Arena gruesa		
0.5	-	0.25	Arena media		
0.25	-	0.125	Arena fina		
0.125	-	0.062	Arena muy fina		
0.062	-	0.031	Limo grueso		
0.031	-	0.016	Limo medio		
0.016	-	0.008	Limo fino		
0.008	-	0.004	Limo muy fino		
0.004	-	0.002	Arcilla gruesa		
0.002	-	0.001	Arcilla media		
0.001	-	0.0005	Arcilla fina		
0.0005	-	0.00024	Arcilla muy fina		
D50 de suelo (mm): <input type="text" value="30.57"/> >>> <input type="text" value="Grava gruesa"/> <input type="text" value="Material:"/> >>> <input type="text" value="Granular (No cohesivo)"/>					

Nota. Elaboración propia

**Figura 59:** Cálculo de socavación general en Sección 0+200 en Microsoft Excel

CÁLCULO DE SOCAVACIÓN GENERAL - SECCIÓN 0+200					
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.				
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva				
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera				
Socavación General (Lischtvan - Lebediev) - Extraído de: Pérez et al, (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia".					
Para Suelos Cohesivos			Para Suelos granulares (no cohesivos)		
$Y_s = \left( \frac{\alpha * y^{5/3}}{0.60 * \gamma^{1.18} * \beta} \right)^{\frac{1}{1+X}}$			$Y_s = \left( \frac{\alpha * y^{5/3}}{0.68 * d_{50}^{0.28} * \beta} \right)^{\frac{1}{1+X}}$		
Tirante de socavación por Contracción Ys (m)					
3.52					
Profundidad de Socavación - Hs (m)					
0.32					
Ecuación Reducida para Socavación General - Extraído de: Barbosa Gil, S. (2013). "Metodología para Calcular la Profundidad de Socavación General en Ríos de Montaña (Lecho de Gravas)".					
$Y_s = k * \left( \frac{q^\omega}{d_{50}^\eta} \right)$					
Método (Adaptado por Barbosa Gil)	k	ω	η	Ys	Prof. de Socavación General Hs (m)
Maza - Echevarría	0.365	0.784	0.157	3.73	0.53
Lischtvan - Lebediev	0.310	0.758	0.212	3.62	0.42
Laursen	0.210	0.857	0.285	3.96	0.76
Maza - García	0.209	0.870	0.304	4.33	1.13
Neill	0.320	0.798	0.2	3.92	0.72
Blench	0.692	0.667	0.087	4.25	1.05

Nota. Elaboración propia

**Figura 60:** Resumen del cálculo de socavación general en Sección 0+200 en Microsoft Excel

Resumen	
Método	Hs (m)
Socavación General (Lischtvan - Lebediev) - Extraído de: Pérez et al, (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia".	0.32
Maza - Echevarría	0.53
Lischtvan - Lebediev	0.42
Laursen	0.76
Maza - García	1.13
Neill	0.72
Blench	1.05
<b>Promedio:</b>	<b>0.77</b>
<b>Se determina:</b>	<b>0.80</b>

Nota. Elaboración propia

**Figura 61:** Cálculo de profundidad de uña de enrocado de protección en Sección 0+200 en Microsoft Excel

CÁLCULO DE PROFUNDIDAD DE UÑA - SECCIÓN 0+200		
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.	
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva	
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera	
Profundidad de Uña Defensa Ribereña $P_u = FS * H_s$		
Profundidad de socavación $H_s$	Factor de Seguridad FS	Prof. De uña (m)
0.80	1.10	0.9

Nota. Elaboración propia



**Figura 62:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+200 en Microsoft Excel. Parte 01

CÁLCULO DE DIÁMETRO DE ROCA DE ENROCADO PARA PROTECCIÓN RIBEREÑA - SECCIÓN 0+200	
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera
Brown & Clyde - Extraído de: Brown, S. A., & Clyde, E. S. (1989). "Design of Riprap Revetment. Final Report HEC-11".	
$D_{50} = \frac{0.00594 * V^3}{y^{0.5} * K1^{1.5}}$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
0.87	
Maynard - Extraído de: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2012). "Manual de Hidráulica, Hidrología y Drenaje".	
$D_{50} = C1 * (y * Fr^3)$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
2.01	
Maynard et al - Extraído de: Maynard et al (1989). "Riprap Design".	
$D_{30} = y * FS * 0.3 * \left( \left( \frac{\gamma a}{\gamma r - \gamma a} \right)^{0.5} * \frac{V}{\sqrt{g y}} \right)^{2.5}$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
0.95	
USACE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	
$D_{30} = FS * Ce * Cv * Ct * y * \left( \left( \frac{\gamma a}{\gamma r - \gamma a} \right)^{0.5} * \frac{V}{\sqrt{K1 g y}} \right)^{2.5}$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
1.32	

Nota. Elaboración propia

**Figura 63:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+200 en Microsoft Excel. Parte 02

<p>Irbash - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = \frac{V^2}{2gT^2 * (Gs - 1)}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1.31
<p>USBR - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = 0.0122 * V^{2.06}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1.50
<p>ASCE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = \left( \frac{6W}{\pi * \gamma r} \right)^{1/3} ; W = \frac{0.000041 * Gs * V^6}{(Gs - 1)^3 * \cos^3(\theta)}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.76
<p>Abt &amp; Johnson - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = 5.23 * S^{0.43} * q^{0.56}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.26

Nota. Elaboración propia

**Figura 64:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+200 en Microsoft Excel. Parte 03

Anderson et al (NCHRP Report 108) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".
$D_{50} = \frac{\gamma * R * S}{4}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.54
Blaisdell (Tillatoba model study) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".
$D_{50} = 0.00116 * \frac{V^3}{\gamma^{0.5}}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.68
CALTRANS (California Department of Transportation) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".
$D_{50} = \left( \frac{6W}{\pi * \gamma r} \right)^{1/3} ; \quad W = \frac{0.00002}{(Gs - 1)^3} * \frac{0.67 * V^6 * Gs}{sen^3(r - a)}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1.47

Nota. Elaboración propia

**Figura 65:** Resumen de cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+200 en Microsoft Excel

Resumen		
Método	D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
1	Brown & Clyde - Extraído de: Brown, S. A., & Clyde, E. S. (1989). "Design of Riprap Revetment. Final Report HEC-11".	0.87
2	Maynord - Extraído de: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2012). "Manual de Hidráulica, Hidrología y Drenaje".	2.01
3	Maynord et al - Extraído de: Maynord et al (1989). "Riprap Design".	0.95
4	USACE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	1.32
5	Isbash - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	1.31
6	USBR - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	1.50
7	ASCE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	0.76
8	Abt & Johnson - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	0.26
9	Anderson et al (NCHRP Report 108) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".	0.54
10	Blaisdell (Tillatoba model study) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".	0.68
11	CALTRANS (California Department of Transportation) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".	1.47
Promedio:		1.10
Media Armónica:		0.78
Se determina:		0.90

Nota. Elaboración propia

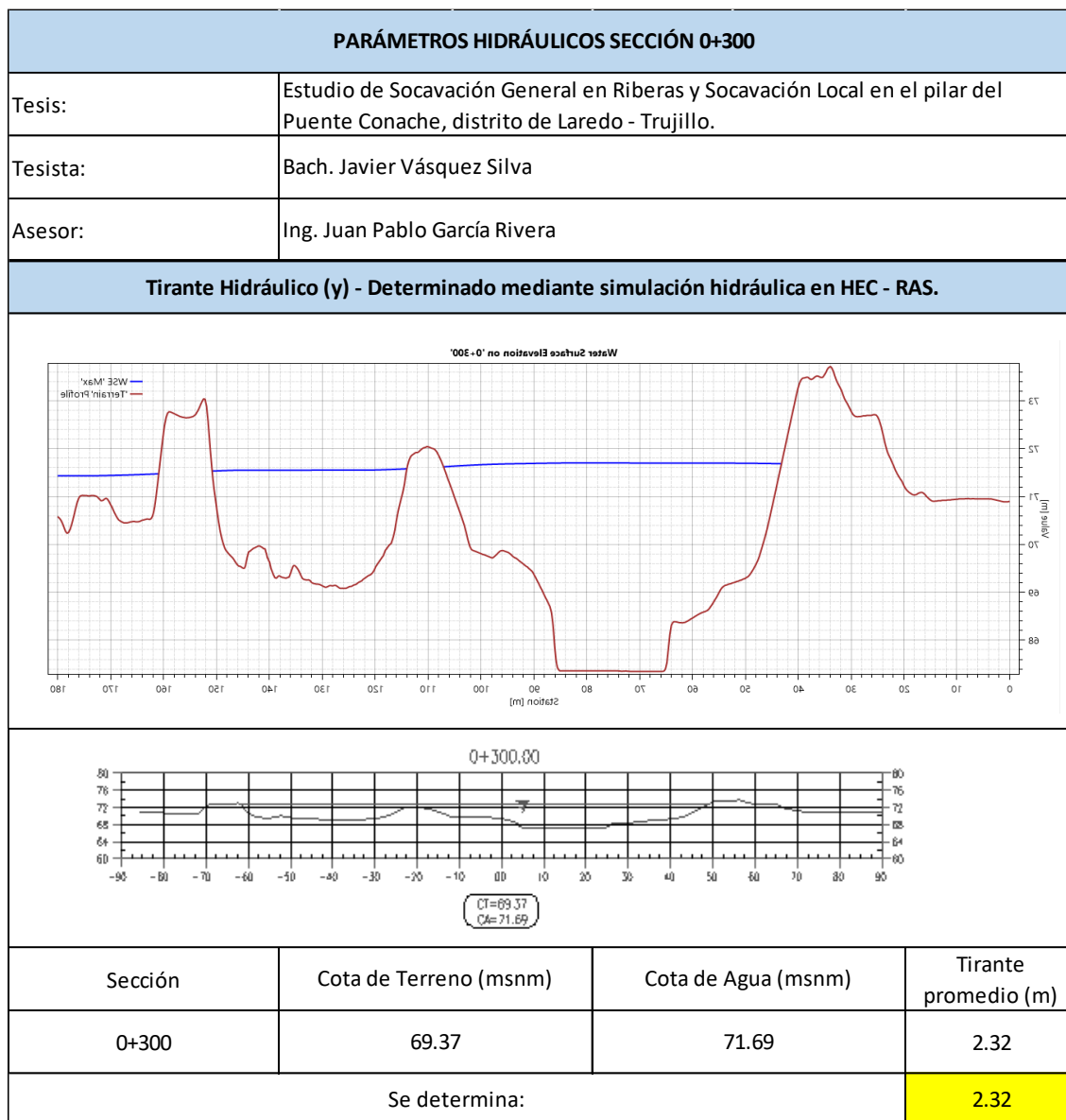
✓ **Sección 0+300:**

**Figura 66:** *Datos Iniciales de los parámetros topográficos y geotécnicos de la Sección 0+300 en Microsoft Excel*

DATOS INICIALES - SECCIÓN 0+300				
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.			
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva			
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera			
Caudal de Diseño	Ancho Natural de Cauce (m)	Pendiente "S" (m/m)	Periodo de Retorno T (años)	Condición de lecho
1253.13	120	0.0114	500	Dunas medianas
Análisis de Sedimentos del lecho				
d50 (mm)	d80 (mm)	d85 (mm)	d95 (mm)	$\gamma_s$ (ton/m <sup>3</sup> )
30.57	56.18	59.47	65.56	1.65

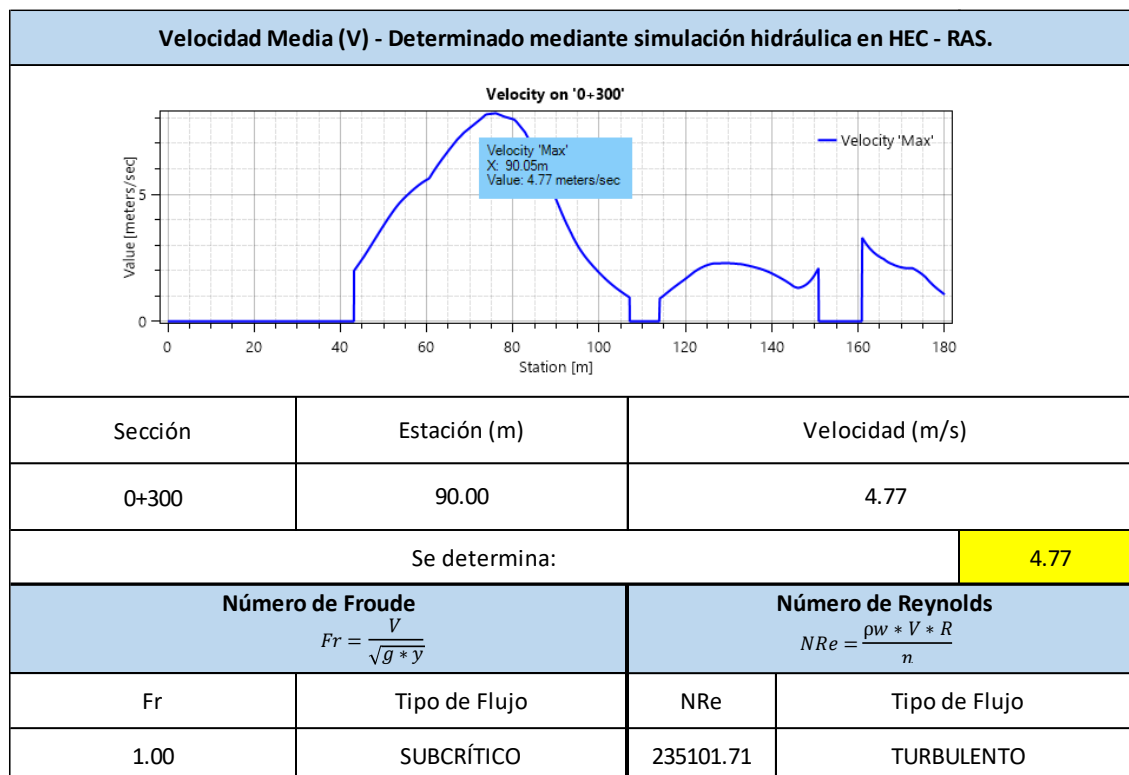
*Nota.* Elaboración propia

**Figura 67:** *Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+300 en Microsoft Excel. Parte 01*



*Nota.* Elaboración propia

**Figura 68:** *Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+300 en Microsoft Excel. Parte 02*



*Nota.* Elaboración propia

**Figura 69:** Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+300 en Microsoft Excel. Parte 01

TABLAS PARA CÁLCULO DE SOCAVACIÓN GENERAL - SECCIÓN 0+300													
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.												
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva												
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera												
Datos Iniciales													
Caudal (m³/s)	Ancho de cauce	Tirante Hidráulico (m)	Velocidad Media (m/s)	N° de Froude	Tipo de Flujo	Descarga Unitaria (m²/s)	d50 suelo (mm)	PE suelo (ton/m³)					
1253.13	120.00	2.32	4.77	1.00	SUBCRÍTICO	10.45	30.57	1.65					
Tablas para cálculo de Socavación General (Método Lischtván - Lebediev) - Extraído de: Pérez et al (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia"													
Tabla N° 1 - Coeficiente de contracción "μ". Método de Lischtván - Lebediev													
Velocidad media en la sección	Ancho de cauce en metros												
	10	13	16	18	21	25	30	42	52	63	106	124	200
< 1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.5	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
2	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
2.5	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
3	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.5	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.94	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
> 4.00	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.93	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99
Ancho de cauce (m):	→		120										
Velocidad media (m/s):	→		4.77										
Interpolación de datos:													
		106	120	124									
		#N/D		#N/D									
	4.77	#N/D	#N/D	#N/D									
		#N/D		#N/D									
Entonces:		μ =		0.99									
Por lo que:		α =		2.59									

Nota. Elaboración propia



**Figura 70:** Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+300 en Microsoft Excel. Parte 02

Tabla N°2 - Valores del coeficiente "β"		Tabla N°3 - Valores de "X" y "1/(1+X)" para suelos cohesivos y no cohesivos. Método de Lischtvan - Lebediev							
Periodo de retorno (Tr) en años	(β)	Suelos cohesivos			Suelos no cohesivos			Valores para el estudio	
		γs (ton/m³)	X	$\frac{1}{1+X}$	Dm (mm)	X	$\frac{1}{1+X}$	X	$\frac{1}{1+X}$
1	0.77	0.80	0.52	0.66	0.05	0.43	0.70		
2	0.82	0.82	0.51	0.66	0.15	0.42	0.70		
5	0.86	0.86	0.50	0.67	0.50	0.41	0.71		
10	0.90	0.88	0.49	0.67	1.00	0.40	0.71		
20	0.94	0.90	0.48	0.67	1.50	0.39	0.72		
50	0.97	0.93	0.47	0.68	2.50	0.38	0.72		
100	1.00	0.96	0.46	0.68	4	0.37	0.73		
500	1.05	0.98	0.45	0.69	6	0.36	0.74		
1000	1.07	1.00	0.44	0.69	8	0.35	0.74		
		1.04	0.43	0.70	10	0.34	0.75		
		1.08	0.42	0.70	15	0.33	0.75		
		1.12	0.41	0.71	20	0.32	0.76		
		1.16	0.40	0.71	25	0.31	0.76	0.306	0.76
		1.20	0.39	0.72	40	0.30	0.77		
		1.24	0.38	0.72	60	0.29	0.78		
		1.28	0.37	0.73	90	0.28	0.78		
		1.34	0.36	0.74	140	0.27	0.79		
		1.40	0.35	0.74	190	0.26	0.79		
		1.46	0.34	0.75	250	0.25	0.80		
		1.52	0.33	0.75	310	0.24	0.81		
		1.58	0.32	0.76	370	0.23	0.81		
		1.64	0.31	0.76	450	0.22	0.83		
		1.71	0.30	0.77	570	0.21	0.83		
		1.80	0.29	0.78	750	0.20	0.83		
		1.89	0.28	0.78	1000	0.19	0.84		
		2.00	0.27	0.79					

Tr = 500  
β = 1.05

D50 de suelo (mm): 30.57

X >>> 0.306

1/(1+X) >>> 0.76

Nota. Elaboración propia

**Figura 71:** Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+300 en Microsoft Excel. Parte 03

Tabla N°4 - Clasificación según tamaño de partículas					
Tamaño (mm)			Tipo de material	Tipo de material del estudio	
4000	-	2000	Canto rodado muy grande		
2000	-	1000	Canto rodado grande		
1000	-	500	Canto rodado medio		
500	-	250	Canto rodado pequeño		
250	-	130	Cascajo grande		
130	-	64	Cascajo pequeño		
64	-	32	Grava muy grueso		
32	-	16	Grava gruesa	←	Grava gruesa
16	-	8	Grava media		
8	-	4	Grava fina		
4	-	2	Grava muy fina		
2	-	1	Arena muy gruesa		
1	-	0.5	Arena gruesa		
0.5	-	0.25	Arena media		
0.25	-	0.125	Arena fina		
0.125	-	0.062	Arena muy fina		
0.062	-	0.031	Limo grueso		
0.031	-	0.016	Limo medio		
0.016	-	0.008	Limo fino		
0.008	-	0.004	Limo muy fino		
0.004	-	0.002	Arcilla gruesa		
0.002	-	0.001	Arcilla media		
0.001	-	0.0005	Arcilla fina		
0.0005	-	0.00024	Arcilla muy fina		
D50 de suelo (mm): <input type="text" value="30.57"/> >>> <input type="text" value="Grava gruesa"/> <input type="text" value="Material:"/> >>> <input type="text" value="Granular (No cohesivo)"/>					

Nota. Elaboración propia

**Figura 72:** Cálculo de socavación general en Sección 0+300 en Microsoft Excel

CÁLCULO DE SOCAVACIÓN GENERAL - SECCIÓN 0+300					
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.				
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva				
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera				
Socavación General (Lischtvan - Lebediev) - Extraído de: Pérez et al, (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia".					
Para Suelos Cohesivos			Para Suelos granulares (no cohesivos)		
$Y_s = \left( \frac{\alpha * y^{5/3}}{0.60 * \gamma^{1.18} * \beta} \right)^{\frac{1}{1+X}}$			$Y_s = \left( \frac{\alpha * y^{5/3}}{0.68 * d_{50}^{0.28} * \beta} \right)^{\frac{1}{1+X}}$		
Tirante de socavación por Contracción Ys (m)					
3.73					
Profundidad de Socavación - Hs (m)					
1.41					
Ecuación Reducida para Socavación General - Extraído de: Barbosa Gil, S. (2013). "Metodología para Calcular la Profundidad de Socavación General en Ríos de Montaña (Lecho de Gravas)".					
$Y_s = k * \left( \frac{q^\omega}{d_{50}^\eta} \right)$					
Método (Adaptado por Barbosa Gil)	k	ω	η	Ys	Prof. de Socavación General Hs (m)
Maza - Echevarría	0.365	0.784	0.157	3.97	1.65
Lischtvan - Lebediev	0.310	0.758	0.212	3.84	1.52
Laursen	0.210	0.857	0.285	4.24	1.92
Maza - García	0.209	0.870	0.304	4.64	2.32
Neill	0.320	0.798	0.2	4.18	1.86
Blench	0.692	0.667	0.087	4.48	2.16

Nota. Elaboración propia

**Figura 73:** Resumen del cálculo de socavación general en Sección 0+300 en Microsoft Excel

Resumen	
Método	Hs (m)
Socavación General (Lischtvan - Lebediev) - Extraído de: Pérez et al, (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia".	1.41
Maza - Echevarría	1.65
Lischtvan - Lebediev	1.52
Laursen	1.92
Maza - García	2.32
Neill	1.86
Blench	2.16
<b>Promedio:</b>	<b>1.91</b>
<b>Se determina:</b>	<b>2.00</b>

Nota. Elaboración propia

**Figura 74:** Cálculo de profundidad de uña de enrocado de protección en Sección 0+300 en Microsoft Excel

CÁLCULO DE PROFUNDIDAD DE UÑA - SECCIÓN 0+300		
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.	
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva	
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera	
Profundidad de Uña Defensa Ribereña		
$P_u = FS * H_s$		
Profundidad de socavación Hs	Factor de Seguridad FS	Prof. De uña (m)
2.00	1.10	2.2

Nota. Elaboración propia

**Figura 75:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+300 en Microsoft Excel. Parte 01

CÁLCULO DE DIÁMETRO DE ROCA DE ENROCADO PARA PROTECCIÓN RIBEREÑA - SECCIÓN 0+300	
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera
Brown & Clyde - Extraído de: Brown, S. A., & Clyde, E. S. (1989). "Design of Riprap Revetment. Final Report HEC-11".	
$D_{50} = \frac{0.00594 * V^3}{y^{0.5} * K1^{1.5}}$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
0.63	
Maynard - Extraído de: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2012). "Manual de Hidráulica, Hidrología y Drenaje".	
$D_{50} = C1 * (y * Fr^3)$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
1.45	
Maynard et al - Extraído de: Maynard et al (1989). "Riprap Design".	
$D_{30} = y * FS * 0.3 * \left( \left( \frac{\gamma a}{\gamma r - \gamma a} \right)^{0.5} * \frac{V}{\sqrt{g y}} \right)^{2.5}$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
0.69	
USACE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	
$D_{30} = FS * Ce * Cv * Ct * y * \left( \left( \frac{\gamma a}{\gamma r - \gamma a} \right)^{0.5} * \frac{V}{\sqrt{K1 g y}} \right)^{2.5}$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
0.95	

Nota. Elaboración propia

**Figura 76:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+300 en Microsoft Excel. Parte 02

<p>Isbash - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = \frac{V^2}{2gT^2 * (Gs - 1)}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.95
<p>USBR - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = 0.0122 * V^{2.06}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1.07
<p>ASCE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = \left( \frac{6W}{\pi * \gamma r} \right)^{1/3} ; W = \frac{0.000041 * Gs * V^6}{(Gs - 1)^3 * \cos^3(\theta)}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.55
<p>Abt &amp; Johnson - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = 5.23 * S^{0.43} * q^{0.56}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.27

Nota. Elaboración propia

**Figura 77:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+300 en Microsoft Excel. Parte 03

Anderson et al (NCHRP Report 108) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".
$D_{50} = \frac{\gamma * R * S}{4}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.39
Blaisdell (Tillatoba model study) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".
$D_{50} = 0.00116 * \frac{V^3}{\gamma^{0.5}}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.49
CALTRANS (California Department of Transportation) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".
$D_{50} = \left( \frac{6W}{\pi * \gamma r} \right)^{1/3} ; \quad W = \frac{0.00002}{(Gs - 1)^3} * \frac{0.67 * V^6 * Gs}{\text{sen}^3(r - a)}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1.06

Nota. Elaboración propia

**Figura 78:** Resumen de cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+300 en Microsoft Excel

Resumen		
	Método	D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1	Brown & Clyde - Extraído de: Brown, S. A., & Clyde, E. S. (1989). "Design of Riprap Revetment. Final Report HEC-11".	0.63
2	Maynord - Extraído de: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2012). "Manual de Hidráulica, Hidrología y Drenaje".	1.45
3	Maynord et al - Extraído de: Maynord et al (1989). "Riprap Design".	0.69
4	USACE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	0.95
5	Isbash - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	0.95
6	USBR - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	1.07
7	ASCE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	0.55
8	Abt & Johnson - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	0.27
9	Anderson et al (NCHRP Report 108) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".	0.39
10	Blaisdell (Tillatoba model study) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".	0.49
11	CALTRANS (California Department of Transportation) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".	1.06
Promedio:		0.80
Media Armónica:		0.62
Se determina:		0.70

Nota. Elaboración propia



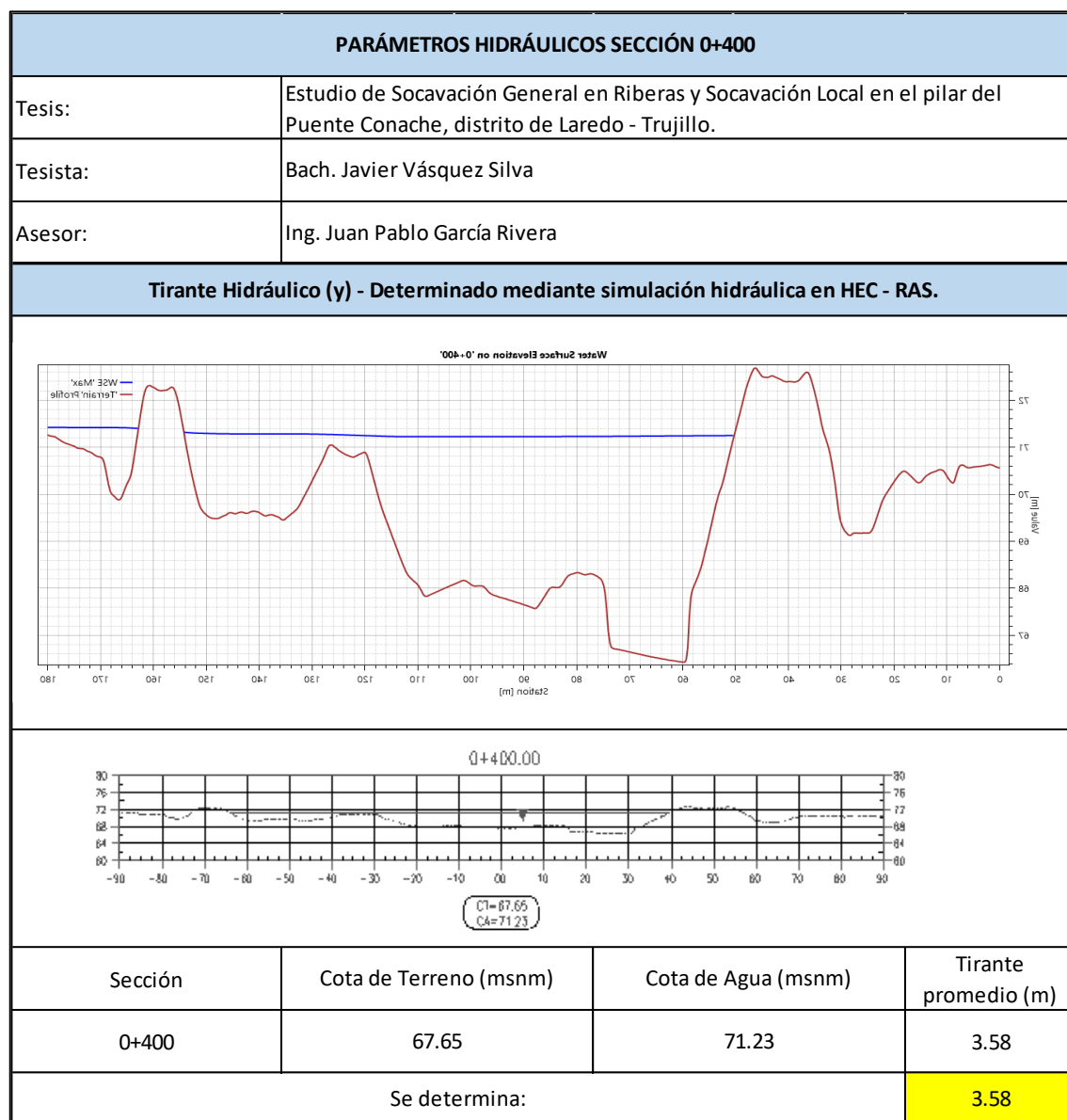
✓ **Sección 0+400:**

**Figura 79:** *Datos Iniciales de los parámetros topográficos y geotécnicos de la Sección 0+400 en Microsoft Excel*

DATOS INICIALES - SECCIÓN 0+400				
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.			
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva			
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera			
Caudal de Diseño	Ancho Natural de Cauce (m)	Pendiente "S" (m/m)	Periodo de Retorno T (años)	Condición de lecho
1253.13	115	0.0114	500	Dunas medianas
Análisis de Sedimentos del lecho				
d50 (mm)	d80 (mm)	d85 (mm)	d95 (mm)	$\gamma_s$ (ton/m <sup>3</sup> )
30.57	56.18	59.47	65.56	1.65

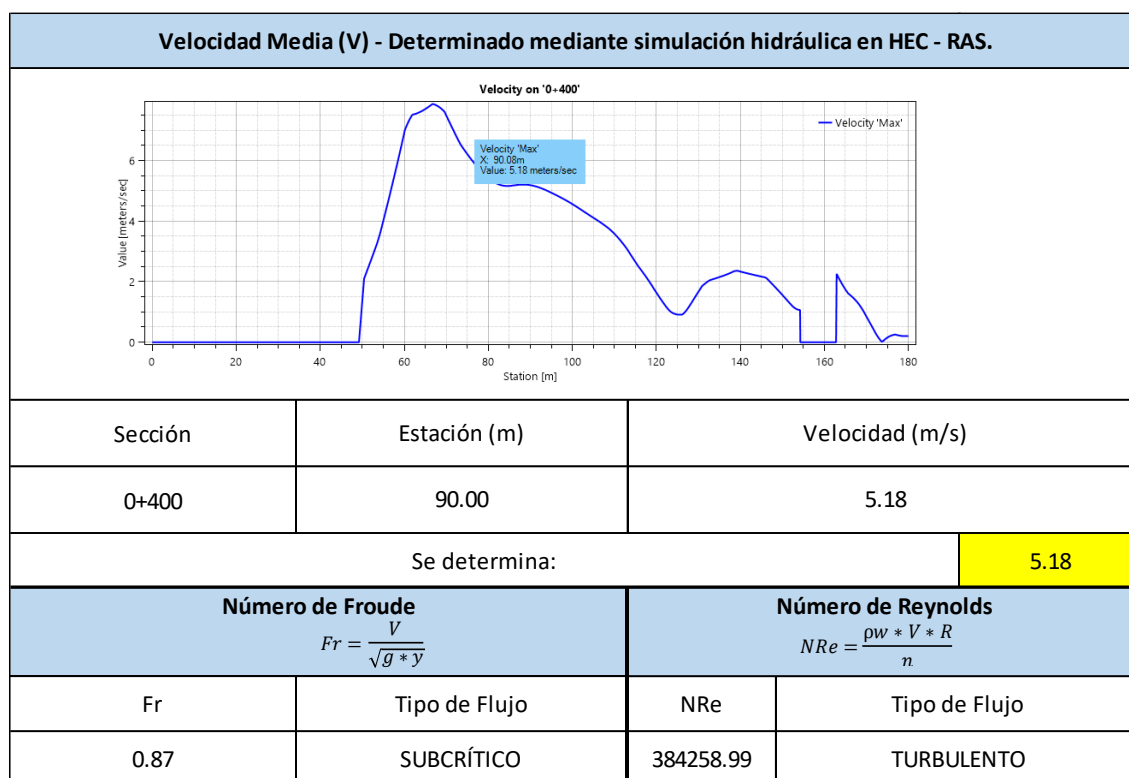
*Nota.* Elaboración propia

**Figura 80:** *Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+400 en Microsoft Excel. Parte 01*



*Nota.* Elaboración propia

**Figura 81:** Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+400 en Microsoft Excel. Parte 02



Nota. Elaboración propia

**Figura 82:** Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+400 en Microsoft Excel. Parte 01

TABLAS PARA CÁLCULO DE SOCAVACIÓN GENERAL - SECCIÓN 0+400													
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.												
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva												
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera												
Datos Iniciales													
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Ancho de cauce	Tirante Hidráulico (m)	Velocidad Media (m/s)	N° de Froude	Tipo de Flujo	Descarga Unitaria (m <sup>2</sup> /s)	d50 suelo (mm)	PE suelo (ton/m <sup>3</sup> )					
1253.13	115.00	3.58	5.18	0.87	SUBCRÍTICO	10.9	30.57	1.65					
Tablas para cálculo de Socavación General (Método Lischvan - Lebediev) - Extraído de: Pérez et al (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia"													
Tabla N° 1 - Coeficiente de contracción "μ". Método de Lischvan - Lebediev													
Velocidad media en la sección	Ancho de cauce en metros												
	10	13	16	18	21	25	30	42	52	63	106	124	200
< 1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.5	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
2	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
2.5	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
3	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.5	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.94	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
> 4.00	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.93	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99
Ancho de cauce (m):	→		115										
Velocidad media (m/s):	→		5.18										
Interpolación de datos:													
		106	115	124									
		#N/D		#N/D									
	5.18	#N/D	#N/D	#N/D									
		#N/D		#N/D									
Entonces:	μ =		0.99										
Por lo que:	α =		1.31										

**Nota.** Elaboración propia

**Figura 83:** Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+400 en Microsoft Excel. Parte 02

Tabla N°2 - Valores del coeficiente "β"		Tabla N°3 - Valores de "X" y "1/(1+X)" para suelos cohesivos y no cohesivos. Método de Lischtvan - Lebediev							
Periodo de retorno (Tr) en años	(β)	Suelos cohesivos			Suelos no cohesivos			Valores para el estudio	
		γs (ton/m³)	X	$\frac{1}{1+X}$	Dm (mm)	X	$\frac{1}{1+X}$	X	$\frac{1}{1+X}$
1	0.77	0.80	0.52	0.66	0.05	0.43	0.70		
2	0.82	0.82	0.51	0.66	0.15	0.42	0.70		
5	0.86	0.86	0.50	0.67	0.50	0.41	0.71		
10	0.90	0.88	0.49	0.67	1.00	0.40	0.71		
20	0.94	0.90	0.48	0.67	1.50	0.39	0.72		
50	0.97	0.93	0.47	0.68	2.50	0.38	0.72		
100	1.00	0.96	0.46	0.68	4	0.37	0.73		
500	1.05	0.98	0.45	0.69	6	0.36	0.74		
1000	1.07	1.00	0.44	0.69	8	0.35	0.74		
		1.04	0.43	0.70	10	0.34	0.75		
		1.08	0.42	0.70	15	0.33	0.75		
		1.12	0.41	0.71	20	0.32	0.76		
		1.16	0.40	0.71	25	0.31	0.76	0.306	0.76
		1.20	0.39	0.72	40	0.30	0.77		
		1.24	0.38	0.72	60	0.29	0.78		
		1.28	0.37	0.73	90	0.28	0.78		
		1.34	0.36	0.74	140	0.27	0.79		
		1.40	0.35	0.74	190	0.26	0.79		
		1.46	0.34	0.75	250	0.25	0.80		
		1.52	0.33	0.75	310	0.24	0.81		
		1.58	0.32	0.76	370	0.23	0.81		
		1.64	0.31	0.76	450	0.22	0.83		
		1.71	0.30	0.77	570	0.21	0.83		
		1.80	0.29	0.78	750	0.20	0.83		
		1.89	0.28	0.78	1000	0.19	0.84		
		2.00	0.27	0.79					

Tr = 500  
β = 1.05

D50 de suelo (mm): 30.57

X >>> 0.306

1/(1+X) >>> 0.76

Nota. Elaboración propia

**Figura 84:** Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+400 en Microsoft Excel. Parte 03

Tabla N°4 - Clasificación según tamaño de partículas					
Tamaño (mm)			Tipo de material	Tipo de material del estudio	
4000	-	2000	Canto rodado muy grande		
2000	-	1000	Canto rodado grande		
1000	-	500	Canto rodado medio		
500	-	250	Canto rodado pequeño		
250	-	130	Cascajo grande		
130	-	64	Cascajo pequeño		
64	-	32	Grava muy grueso		
32	-	16	Grava gruesa	←	Grava gruesa
16	-	8	Grava media		
8	-	4	Grava fina		
4	-	2	Grava muy fina		
2	-	1	Arena muy gruesa		
1	-	0.5	Arena gruesa		
0.5	-	0.25	Arena media		
0.25	-	0.125	Arena fina		
0.125	-	0.062	Arena muy fina		
0.062	-	0.031	Limo grueso		
0.031	-	0.016	Limo medio		
0.016	-	0.008	Limo fino		
0.008	-	0.004	Limo muy fino		
0.004	-	0.002	Arcilla gruesa		
0.002	-	0.001	Arcilla media		
0.001	-	0.0005	Arcilla fina		
0.0005	-	0.00024	Arcilla muy fina		
D50 de suelo (mm): <input type="text" value="30.57"/> >>> <input type="text" value="Grava gruesa"/> <input type="text" value="Material:"/> >>> <input type="text" value="Granular (No cohesivo)"/>					

Nota. Elaboración propia

**Figura 85:** Cálculo de socavación general en Sección 0+400 en Microsoft Excel

CÁLCULO DE SOCAVACIÓN GENERAL - SECCIÓN 0+400					
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.				
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva				
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera				
Socavación General (Lischtvan - Lebediev) - Extraído de: Pérez et al, (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia".					
Para Suelos Cohesivos			Para Suelos granulares (no cohesivos)		
$Y_s = \left( \frac{\alpha * y^{5/3}}{0.60 * \gamma^{1.18} * \beta} \right)^{\frac{1}{1+X}}$			$Y_s = \left( \frac{\alpha * y^{5/3}}{0.68 * d_{50}^{0.28} * \beta} \right)^{\frac{1}{1+X}}$		
Tirante de socavación por Contracción Ys (m)					
3.85					
Profundidad de Socavación - Hs (m)					
0.27					
Ecuación Reducida para Socavación General - Extraído de: Barbosa Gil, S. (2013). "Metodología para Calcular la Profundidad de Socavación General en Ríos de Montaña (Lecho de Gravas)".					
$Y_s = k * \left( \frac{q^\omega}{d_{50}^\eta} \right)$					
Método (Adaptado por Barbosa Gil)	k	ω	η	Ys	Prof. de Socavación General Hs (m)
Maza - Echevarría	0.365	0.784	0.157	4.11	0.53
Lischtvan - Lebediev	0.310	0.758	0.212	3.97	0.39
Laursen	0.210	0.857	0.285	4.39	0.81
Maza - García	0.209	0.870	0.304	4.82	1.24
Neill	0.320	0.798	0.2	4.32	0.74
Blench	0.692	0.667	0.087	4.61	1.03

Nota. Elaboración propia

**Figura 86:** Resumen del cálculo de socavación general en Sección 0+400 en Microsoft Excel

Resumen	
Método	Hs (m)
Socavación General (Lischtvan - Lebediev) - Extraído de: Pérez et al, (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia".	0.27
Maza - Echevarría	0.53
Lischtvan - Lebediev	0.39
Laursen	0.81
Maza - García	1.24
Neill	0.74
Blench	1.03
<b>Promedio:</b>	<b>0.79</b>
<b>Se determina:</b>	<b>0.80</b>

Nota. Elaboración propia

**Figura 87:** Cálculo de profundidad de uña de enrocado de protección en Sección 0+400 en Microsoft Excel

CÁLCULO DE PROFUNDIDAD DE UÑA - SECCIÓN 0+400		
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.	
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva	
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera	
Profundidad de Uña Defensa Ribereña		
$P_u = FS * H_s$		
Profundidad de socavación $H_s$	Factor de Seguridad FS	Prof. De uña (m)
0.80	1.10	0.9

Nota. Elaboración propia



**Figura 88:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+400 en Microsoft Excel. Parte 01

CÁLCULO DE DIÁMETRO DE ROCA DE ENROCADO PARA PROTECCIÓN RIBEREÑA - SECCIÓN 0+400	
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera
Brown & Clyde - Extraído de: Brown, S. A., & Clyde, E. S. (1989). "Design of Riprap Revetment. Final Report HEC-11".	
$D_{50} = \frac{0.00594 * V^3}{y^{0.5} * K1^{1.5}}$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
0.65	
Maynard - Extraído de: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2012). "Manual de Hidráulica, Hidrología y Drenaje".	
$D_{50} = C1 * (y * Fr^3)$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
1.49	
Maynard et al - Extraído de: Maynard et al (1989). "Riprap Design".	
$D_{30} = y * FS * 0.3 * \left( \left( \frac{\gamma a}{\gamma r - \gamma a} \right)^{0.5} * \frac{V}{\sqrt{g y}} \right)^{2.5}$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
0.75	
USACE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	
$D_{30} = FS * Ce * Cv * Ct * y * \left( \left( \frac{\gamma a}{\gamma r - \gamma a} \right)^{0.5} * \frac{V}{\sqrt{K1gy}} \right)^{2.5}$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
1.05	

Nota. Elaboración propia

**Figura 89:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+400 en Microsoft Excel. Parte 02

<p>Isbash - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = \frac{V^2}{2gT^2 * (Gs - 1)}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1.12
<p>USBR - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = 0.0122 * V^{2.06}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1.27
<p>ASCE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = \left( \frac{6W}{\pi * \gamma r} \right)^{1/3} ; W = \frac{0.000041 * Gs * V^6}{(Gs - 1)^3 * \cos^3(\theta)}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.64
<p>Abt &amp; Johnson - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = 5.23 * S^{0.43} * q^{0.56}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.28

Nota. Elaboración propia

**Figura 90:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+400 en Microsoft Excel. Parte 03

Anderson et al (NCHRP Report 108) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".
$D_{50} = \frac{\gamma * R * S}{4}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.59
Blaisdell (Tillatoba model study) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".
$D_{50} = 0.00116 * \frac{V^3}{\gamma^{0.5}}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.51
CALTRANS (California Department of Transportation) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".
$D_{50} = \left( \frac{6W}{\pi * \gamma r} \right)^{1/3} ; \quad W = \frac{0.00002}{(Gs - 1)^3} * \frac{0.67 * V^6 * Gs}{sen^3(r - a)}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1.25

Nota. Elaboración propia

**Figura 91:** Resumen de cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+400 en Microsoft Excel

Resumen		
Método	D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
1	Brown & Clyde - Extraído de: Brown, S. A., & Clyde, E. S. (1989). "Design of Riprap Revetment. Final Report HEC-11".	0.65
2	Maynord - Extraído de: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2012). "Manual de Hidráulica, Hidrología y Drenaje".	1.49
3	Maynord et al - Extraído de: Maynord et al (1989). "Riprap Design".	0.75
4	USACE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	1.05
5	Isbash - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	1.12
6	USBR - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	1.27
7	ASCE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	0.64
8	Abt & Johnson - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	0.28
9	Anderson et al (NCHRP Report 108) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".	0.59
10	Blaisdell (Tillatoba model study) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".	0.51
11	CALTRANS (California Department of Transportation) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".	1.25
Promedio:		0.90
Media Armónica:		0.70
Se determina:		0.80

Nota. Elaboración propia

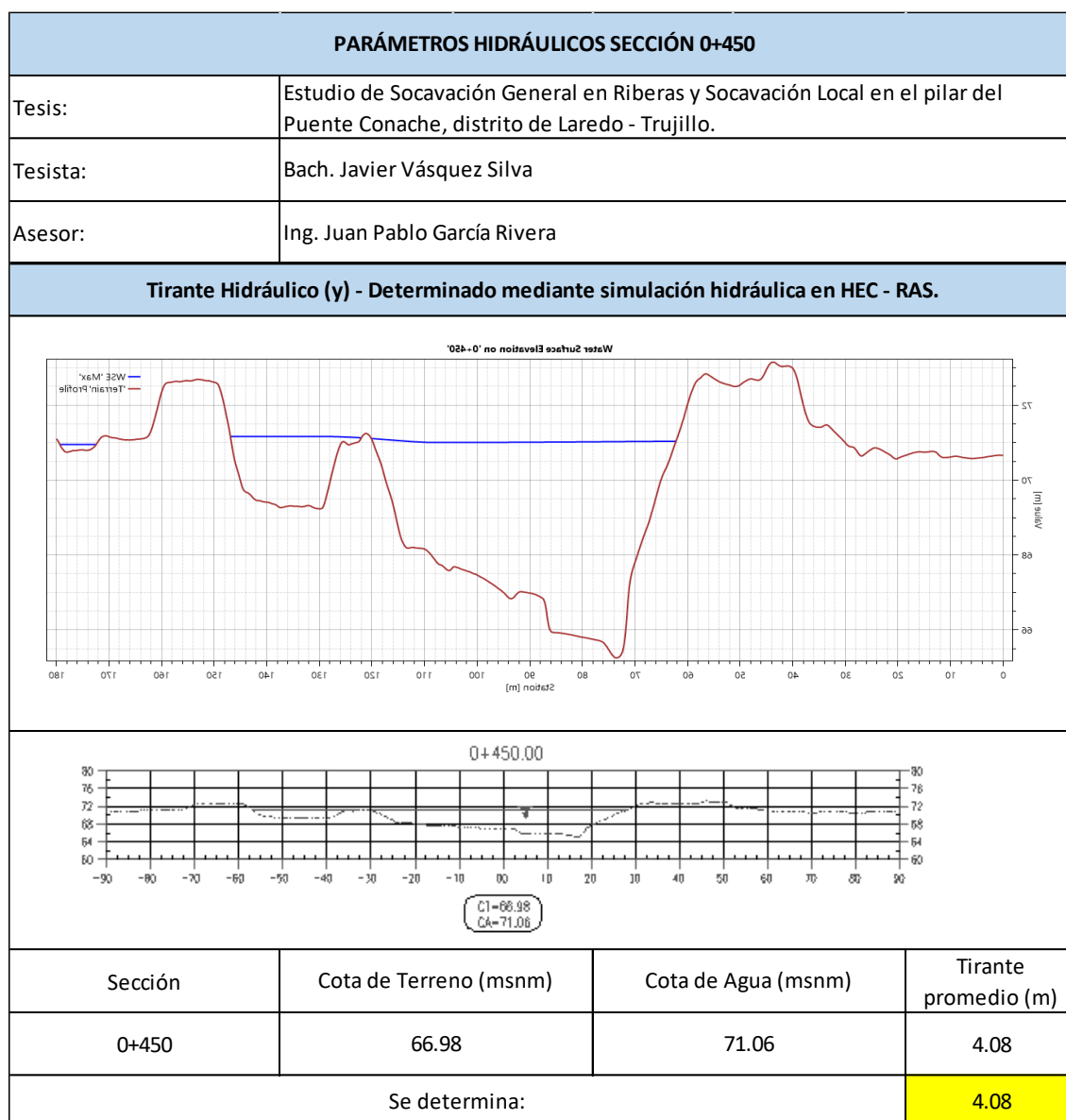
✓ **Sección 0+450:**

**Figura 92:** *Datos Iniciales de los parámetros topográficos y geotécnicos de la Sección 0+450 en Microsoft Excel*

DATOS INICIALES - SECCIÓN 0+450				
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.			
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva			
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera			
Caudal de Diseño	Ancho Natural de Cauce (m)	Pendiente "S" (m/m)	Periodo de Retorno T (años)	Condición de lecho
1253.13	105	0.0141	500	Dunas medianas
Análisis de Sedimentos del lecho				
d50 (mm)	d80 (mm)	d85 (mm)	d95 (mm)	γs (ton/m <sup>3</sup> )
30.57	56.18	59.47	65.56	1.65

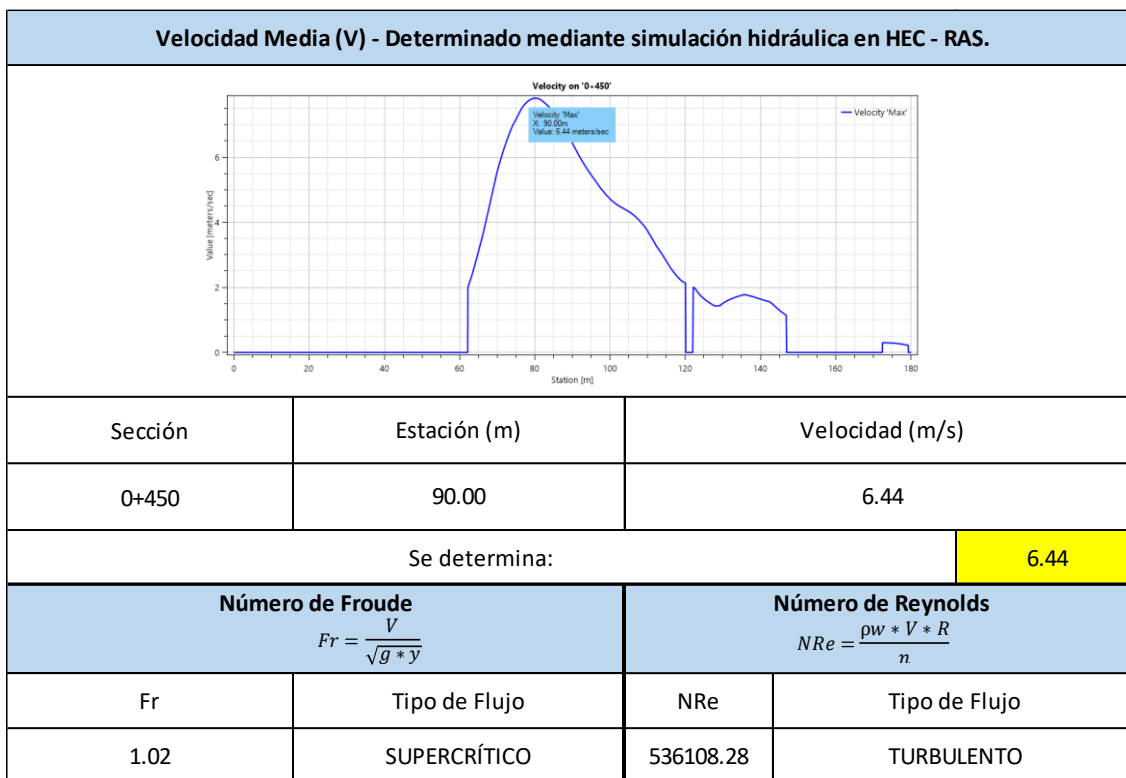
*Nota.* Elaboración propia

**Figura 93:** *Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+450 en Microsoft Excel. Parte 01*



*Nota.* Elaboración propia

**Figura 94:** *Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+450 en Microsoft Excel. Parte 02*



Nota. Elaboración propia

**Figura 95:** Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+450 en Microsoft Excel. Parte 01

TABLAS PARA CÁLCULO DE SOCAVACIÓN GENERAL - SECCIÓN 0+450													
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.												
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva												
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera												
Datos Iniciales													
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Ancho de cauce	Tirante Hidráulico (m)	Velocidad Media (m/s)	N° de Froude	Tipo de Flujo	Descarga Unitaria (m <sup>2</sup> /s)	d50 suelo (mm)	PE suelo (ton/m <sup>3</sup> )					
1253.13	105.00	4.08	6.44	1.02	SUPERCRÍTICO	11.94	30.57	1.65					
Tablas para cálculo de Socavación General (Método Lischvan - Lebediev) - Extraído de: Pérez et al (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia"													
Tabla N° 1 - Coeficiente de contracción "μ". Método de Lischvan - Lebediev													
Velocidad media en la sección	Ancho de cauce en metros												
	10	13	16	18	21	25	30	42	52	63	106	124	200
< 1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.5	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
2	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
2.5	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
3	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.5	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.94	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
> 4.00	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.93	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99
Ancho de cauce (m):	→		105										
Velocidad media (m/s):	→		6.44										
Interpolación de datos:													
		63	105	106									
		#N/D		#N/D									
	6.44	#N/D	#N/D	#N/D									
		#N/D		#N/D									
Entonces:		μ =	0.99										
Por lo que:		α =	1.16										

**Nota.** Elaboración propia



**Figura 96:** Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+450 en Microsoft Excel. Parte 02

Tabla N°2 - Valores del coeficiente "β"		Tabla N°3 - Valores de "X" y "1/(1+X)" para suelos cohesivos y no cohesivos. Método de Lischtvan - Lebediev							
Periodo de retorno (Tr) en años	(β)	Suelos cohesivos			Suelos no cohesivos			Valores para el estudio	
		γs (ton/m³)	X	$\frac{1}{1+X}$	Dm (mm)	X	$\frac{1}{1+X}$	X	$\frac{1}{1+X}$
1	0.77	0.80	0.52	0.66	0.05	0.43	0.70		
2	0.82	0.82	0.51	0.66	0.15	0.42	0.70		
5	0.86	0.86	0.50	0.67	0.50	0.41	0.71		
10	0.90	0.88	0.49	0.67	1.00	0.40	0.71		
20	0.94	0.90	0.48	0.67	1.50	0.39	0.72		
50	0.97	0.93	0.47	0.68	2.50	0.38	0.72		
100	1.00	0.96	0.46	0.68	4	0.37	0.73		
500	1.05	0.98	0.45	0.69	6	0.36	0.74		
1000	1.07	1.00	0.44	0.69	8	0.35	0.74		
		1.04	0.43	0.70	10	0.34	0.75		
		1.08	0.42	0.70	15	0.33	0.75		
		1.12	0.41	0.71	20	0.32	0.76		
		1.16	0.40	0.71	25	0.31	0.76	0.306	0.76
		1.20	0.39	0.72	40	0.30	0.77		
		1.24	0.38	0.72	60	0.29	0.78		
		1.28	0.37	0.73	90	0.28	0.78		
		1.34	0.36	0.74	140	0.27	0.79		
		1.40	0.35	0.74	190	0.26	0.79		
		1.46	0.34	0.75	250	0.25	0.80		
		1.52	0.33	0.75	310	0.24	0.81		
		1.58	0.32	0.76	370	0.23	0.81		
		1.64	0.31	0.76	450	0.22	0.83		
		1.71	0.30	0.77	570	0.21	0.83		
		1.80	0.29	0.78	750	0.20	0.83		
		1.89	0.28	0.78	1000	0.19	0.84		
		2.00	0.27	0.79					

Tr = 500  
β = 1.05

D50 de suelo (mm): 30.57

X >>> 0.306

1/(1+X) >>> 0.76

Nota. Elaboración propia

**Figura 97:** Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+450 en Microsoft Excel. Parte 03

Tabla N°4 - Clasificación según tamaño de partículas					
Tamaño (mm)			Tipo de material	Tipo de material del estudio	
4000	-	2000	Canto rodado muy grande		
2000	-	1000	Canto rodado grande		
1000	-	500	Canto rodado medio		
500	-	250	Canto rodado pequeño		
250	-	130	Cascajo grande		
130	-	64	Cascajo pequeño		
64	-	32	Grava muy grueso		
32	-	16	Grava gruesa	←	Grava gruesa
16	-	8	Grava media		
8	-	4	Grava fina		
4	-	2	Grava muy fina		
2	-	1	Arena muy gruesa		
1	-	0.5	Arena gruesa		
0.5	-	0.25	Arena media		
0.25	-	0.125	Arena fina		
0.125	-	0.062	Arena muy fina		
0.062	-	0.031	Limo grueso		
0.031	-	0.016	Limo medio		
0.016	-	0.008	Limo fino		
0.008	-	0.004	Limo muy fino		
0.004	-	0.002	Arcilla gruesa		
0.002	-	0.001	Arcilla media		
0.001	-	0.0005	Arcilla fina		
0.0005	-	0.00024	Arcilla muy fina		
D50 de suelo (mm): <input type="text" value="30.57"/> >>> <input type="text" value="Grava gruesa"/> <input type="text" value="Material:"/> >>> <input type="text" value="Granular (No cohesivo)"/>					

Nota. Elaboración propia

**Figura 98:** Cálculo de socavación general en Sección 0+450 en Microsoft Excel

CÁLCULO DE SOCAVACIÓN GENERAL - SECCIÓN 0+450					
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.				
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva				
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera				
Socavación General (Lischtvan - Lebediev) - Extraído de: Pérez et al, (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia".					
Para Suelos Cohesivos			Para Suelos granulares (no cohesivos)		
$Y_s = \left( \frac{\alpha * y^{5/3}}{0.60 * \gamma^{1.18} * \beta} \right)^{\frac{1}{1+X}}$			$Y_s = \left( \frac{\alpha * y^{5/3}}{0.68 * d_{50}^{0.28} * \beta} \right)^{\frac{1}{1+X}}$		
Tirante de socavación por Contracción Ys (m)					
4.15					
Profundidad de Socavación - Hs (m)					
0.07					
Ecuación Reducida para Socavación General - Extraído de: Barbosa Gil, S. (2013). "Metodología para Calcular la Profundidad de Socavación General en Ríos de Montaña (Lecho de Gravas)".					
$Y_s = k * \left( \frac{q^\omega}{d_{50}^\eta} \right)$					
Método (Adaptado por Barbosa Gil)	k	ω	η	Ys	Prof. de Socavación General Hs (m)
Maza - Echevarría	0.365	0.784	0.157	4.41	0.33
Lischtvan - Lebediev	0.310	0.758	0.212	4.25	0.17
Laursen	0.210	0.857	0.285	4.75	0.67
Maza - García	0.209	0.870	0.304	5.22	1.14
Neill	0.320	0.798	0.2	4.65	0.57
Blench	0.692	0.667	0.087	4.9	0.82

Nota. Elaboración propia

**Figura 99:** Resumen del cálculo de socavación general en Sección 0+450 en Microsoft Excel

Resumen	
Método	Hs (m)
Socavación General (Lischtvan - Lebediev) - Extraído de: Pérez et al, (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia".	0.07
Maza - Echevarría	0.33
Lischtvan - Lebediev	0.17
Laursen	0.67
Maza - García	1.14
Neill	0.57
Blench	0.82
<b>Promedio:</b>	<b>0.62</b>
<b>Se determina:</b>	<b>0.80</b>

Nota. Elaboración propia

**Figura 100:** Cálculo de profundidad de uña de enrocado de protección en Sección 0+450 en Microsoft Excel

CÁLCULO DE PROFUNDIDAD DE UÑA - SECCIÓN 0+450		
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.	
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva	
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera	
Profundidad de Uña Defensa Ribereña $P_u = FS * H_s$		
Profundidad de socavación $H_s$	Factor de Seguridad FS	Prof. De uña (m)
0.80	1.10	0.9

Nota. Elaboración propia

**Figura 101:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+450 en Microsoft Excel. Parte 01

CÁLCULO DE DIÁMETRO DE ROCA DE ENROCADO PARA PROTECCIÓN RIBEREÑA - SECCIÓN 0+450	
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera
Brown & Clyde - Extraído de: Brown, S. A., & Clyde, E. S. (1989). "Design of Riprap Revetment. Final Report HEC-11".	
$D_{50} = \frac{0.00594 * V^3}{y^{0.5} * K1^{1.5}}$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
1.16	
Maynard - Extraído de: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2012). "Manual de Hidráulica, Hidrología y Drenaje".	
$D_{50} = C1 * (y * Fr^3)$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
2.69	
Maynard et al - Extraído de: Maynard et al (1989). "Riprap Design".	
$D_{30} = y * FS * 0.3 * \left( \left( \frac{\gamma a}{\gamma r - \gamma a} \right)^{0.5} * \frac{V}{\sqrt{g y}} \right)^{2.5}$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
1.27	
USACE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	
$D_{30} = FS * Ce * Cv * Ct * y * \left( \left( \frac{\gamma a}{\gamma r - \gamma a} \right)^{0.5} * \frac{V}{\sqrt{K1 g y}} \right)^{2.5}$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
1.75	

Nota. Elaboración propia

**Figura 102:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+450 en Microsoft Excel. Parte 02

<p>Isbash - Extraído de: USACE (1991),  <i>"Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601"</i>.</p> $D_{50} = \frac{V^2}{2gT^2 * (Gs - 1)}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1.73
<p>USBR - Extraído de: USACE (1991),  <i>"Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601"</i>.</p> $D_{50} = 0.0122 * V^{2.06}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1.99
<p>ASCE - Extraído de: USACE (1991),  <i>"Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601"</i>.</p> $D_{50} = \left( \frac{6W}{\pi * \gamma r} \right)^{1/3} ; W = \frac{0.000041 * Gs * V^6}{(Gs - 1)^3 * \cos^3(\theta)}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.99
<p>Abt &amp; Johnson - Extraído de: USACE (1991),  <i>"Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601"</i>.</p> $D_{50} = 5.23 * S^{0.43} * q^{0.56}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.32

Nota. Elaboración propia

**Figura 103:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+450 en Microsoft Excel. Parte 03

Anderson et al (NCHRP Report 108) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".
$D_{50} = \frac{\gamma * R * S}{4}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.82
Blaisdell (Tillatoba model study) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".
$D_{50} = 0.00116 * \frac{V^3}{\gamma^{0.5}}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.91
CALTRANS (California Department of Transportation) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".
$D_{50} = \left( \frac{6W}{\pi * \gamma r} \right)^{1/3} ; \quad W = \frac{0.00002}{(Gs - 1)^3} * \frac{0.67 * V^6 * Gs}{sen^3(r - a)}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1.94

Nota. Elaboración propia

**Figura 104:** Resumen de cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+450 en Microsoft Excel

Resumen		
	Método	D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1	Brown & Clyde - Extraído de: Brown, S. A., & Clyde, E. S. (1989). "Design of Riprap Revetment. Final Report HEC-11".	1.16
2	Maynord - Extraído de: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2012). "Manual de Hidráulica, Hidrología y Drenaje".	2.69
3	Maynord et al - Extraído de: Maynord et al (1989). "Riprap Design".	1.27
4	USACE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	1.75
5	Isbash - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	1.73
6	USBR - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	1.99
7	ASCE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	0.99
8	Abt & Johnson - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	0.32
9	Anderson et al (NCHRP Report 108) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".	0.82
10	Blaisdell (Tillatoba model study) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".	0.91
11	CALTRANS (California Department of Transportation) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".	1.94
Promedio:		1.50
Media Armónica:		1.04
Se determina:		1.20

Nota. Elaboración propia



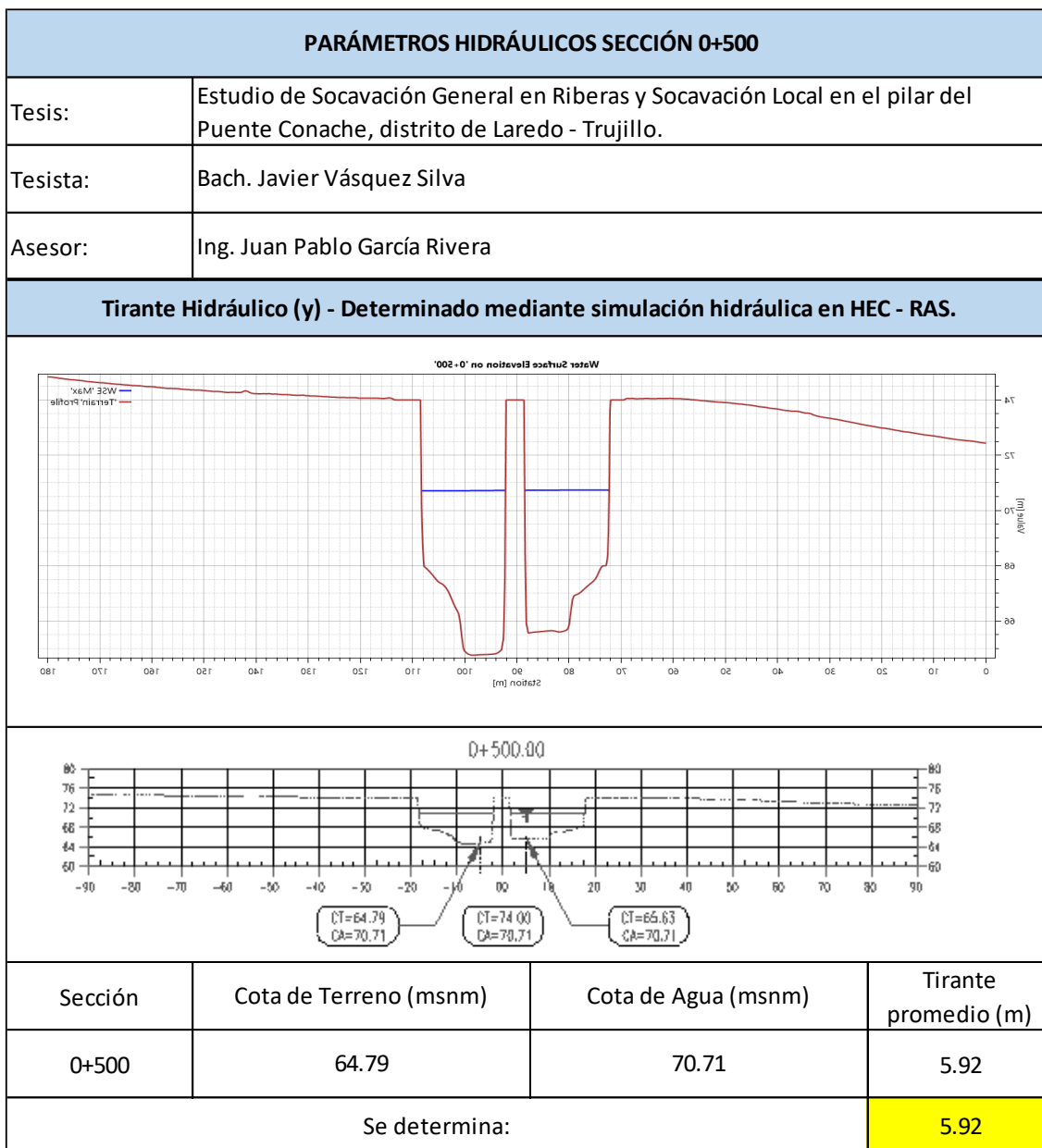
✓ **Sección 0+500:**

**Figura 105:** *Datos Iniciales de los parámetros topográficos y geotécnicos de la Sección 0+500 en Microsoft Excel*

DATOS INICIALES - SECCIÓN 0+500				
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.			
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva			
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera			
Caudal de Diseño	Ancho Natural de Cauce (m)	Pendiente "S" (m/m)	Periodo de Retorno T (años)	Condición de lecho
1253.13	40	0.0114	500	Dunas medianas
Muestreo por Estudio de Suelos				
d50 (mm)	d80 (mm)	d85 (mm)	d95 (mm)	γs (ton/m <sup>3</sup> )
30.57	56.18	59.47	65.56	1.65
Dimensiones de Sección de Pilar de puente				
Ancho "b" (m)	Largo "l" (m)	Forma de la nariz	Ángulo de impacto	Distancia entre pilares (m)
3	4	Triangular	0°	20

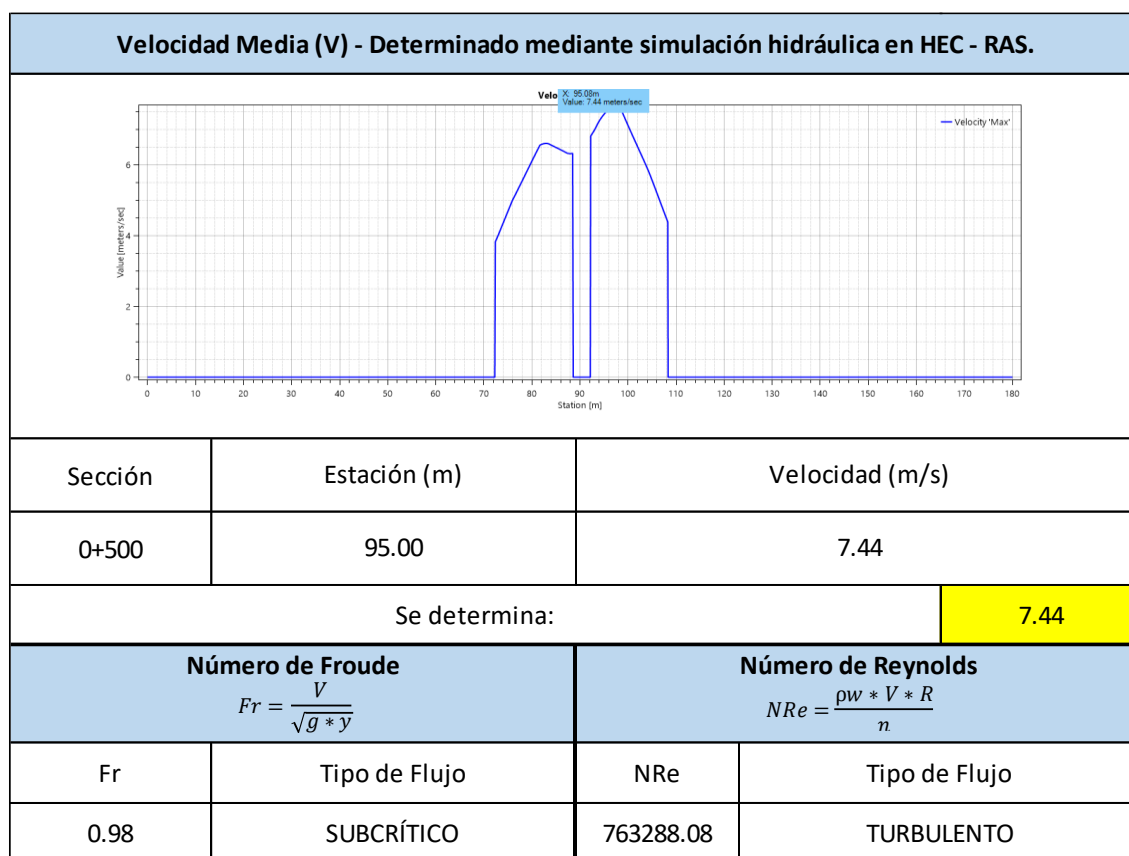
*Nota.* Elaboración propia

**Figura 106:** *Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+500 en Microsoft Excel. Parte 01*



Nota. Elaboración propia

**Figura 107:** *Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+500 en Microsoft Excel. Parte 02*



*Nota.* Elaboración propia

**Figura 108:** *Tablas para cálculo de socavación local de la Sección 0+500 en Microsoft Excel. Parte 01*

TABLAS PARA CÁLCULO DE SOCAVACIÓN GENERAL - SECCIÓN 0+500									
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.								
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva								
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera								
Datos Iniciales									
Caudal (m³/s)	Ancho de cauce	Tirante Hidráulico (m)	Velocidad Media (m/s)	N° de Froude	Tipo de Flujo	Descarga Unitaria (m²/s)	d50 suelo (mm)	PE suelo (ton/m³)	
1253.13	40.00	5.92	7.44	0.98	SUBCRÍTICO	31.33	30.57	1.65	
Dimensiones de Sección de Pilar de puente									
Ancho "b" (m)	Largo "l" (m)	Forma de la nariz	Ángulo de impacto	Distancia entre pilares/estribos (m)		Condición de lecho			
3.00	4.00	Triangular	0°	20		Dunas medianas			
Tablas para cálculo de Socavación Local (Método CSU) - Extraído de: Guevara Álvarez, M. E. (2016). "Socavación en Puentes".									
Factor de corrección por forma de nariz del pilar K1			Factor de corrección por ángulo de ataque del flujo K2			Factor de corrección por condición de lecho K3			
Valores de variables			Valores de variables			Valores de variables			
Forma de nariz del pilar	K1	θ	K2			Condición de lecho	Altura de duna (pie)	K3	
Rectangular	1.10		l/b = 4	l/b = 8	l/b = 12	Erosión en agua limpia	N/A	1.1	
Redondeada	1.00	0°	1.0	1.0	1.0	Lecho plano sin dunas	N/A	1.1	
Circular	1.00	15°	1.5	2.0	2.5	Dunas pequeñas	10 > H > 2	1.1	
Triangular	0.90	30°	2.0	2.5	3.5	Dunas medianas	30 > H > 10	1.15	
Grupo de pilares circulares	1.00	45°	2.3	3.3	4.3	Dunas grandes	H > 30	1.3	
Valor a utilizar en estudio			90°	2.5	3.9	5.0	Valor a utilizar en estudio		
Forma de nariz del pilar	K1	Valor a utilizar en estudio			Condición de lecho	Altura de duna (pie)	K3		
Triangular	0.9	θ			K2	Dunas medianas	30 > H > 10	1.15	
		0°			l/b = 1.3				
					1.00				
Factor de corrección por velocidad erosiva Vr		Factor de corrección por tamaño de material de lecho K4							
V =	7.44	∅ de suelo		Condiciones	K4				
Vcd50 =	1.32	d50	d95	Si d50 < 2mm	-				
Vcd50 =	2.60	31	66	Si d50 ≥ 2mm	0.539				
Vcd95 =	1.77								
Vcd95 =	3.36								
Vr =	7.33								

Nota. Elaboración propia

**Figura 109:** Tablas para cálculo de socavación local de la Sección 0+500 en Microsoft Excel. Parte 02

Tablas para cálculo de Socavación Local (Método de Larras) - Extraído de: Guevara Álvarez, M. E. (2016). "Socavación en Puentes".					
Factor de corrección Kf por forma del pilar					
Forma en planta	l/b	Kf	Forma en planta	l/b	Kf
Circular	1.00	1.00	Elíptica	2.00	0.91
	2.00	0.97		3.00	0.83
Lenticular	3.00	0.76	Ojival	4.00	0.89
	4.00	0.70	Grupo de pilares	4.00	0.95
	7.00	0.41	Rectangular	4.00	1.01
Hidrodinámico	4.00	0.86	Rectangular	0.25	1.30
	4.10	0.76		4.00	1.40
	4.50	0.76		4.50	1.25
Redondeada	1.00	1.00		5.30	1.40
	1.50	1.00		9.30	1.40
	2.00	1.00	Triangular a 60°	-	0.75
	3.00	1.00	Triangular a 90°	-	1.25
	4.00	1.02	Parabólica	-	0.56

Kf = 0.75

Nota. Elaboración propia

**Figura 110:** Tablas para cálculo de socavación local de la Sección 0+500 en Microsoft Excel. Parte 03

Tablas para cálculo de Socavación Local (Método de Froehlich) - Extraído de: Guevara Álvarez, M. E. (2016). "Socavación en Puentes".	
Factor de corrección Kf	
Forma del pilar	Kf
Rectangular	1.3
Circular	1
Triangular	0.7
Para el estudio	
Forma del pilar	Kf
Triangular	0.7

Nota. Elaboración propia

**Figura 111:** Cálculo de socavación local en Sección 0+500 en Microsoft Excel.

## Parte 01

<b>CÁLCULO DE SOCAVACIÓN LOCAL - SECCIÓN 0+500</b>	
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera
Laursen & Toch (Adaptado por Neill) - Extraído de: Guevara Álvarez, M. E., (2016). "Socavación en Puentes".	
$H_s = 1.50 * b^{0.7} * y^{0.3}$	
Profundidad de Socavación Local Hs (m)	
5.52	
Larras - Extraído de: Guevara Álvarez, M. E., (2016). "Socavación en Puentes".	
$H_s = 1.05 * K_f * K_\phi * b^{0.75}$	
Profundidad de Socavación Local Hs (m)	
1.8	
Arunachalam - Extraído de: Guevara Álvarez, M. E., (2016). "Socavación en Puentes".	
$H_s = 1.334 * q^{2/3} * \left[ \left( 1.95 * \left( \frac{1.334 * q^{2/3}}{b} \right)^{-1/6} \right) - 1 \right]$	
Profundidad de Socavación Local Hs (m)	
6.92	

Nota. Elaboración propia

**Figura 112:** Cálculo de socavación local en Sección 0+500 en Microsoft Excel.

## Parte 02

Carsten - Extraído de: Guevara Álvarez, M. E., (2016). "Socavación en Puentes". $Hs = 0.546 * b * \left( \frac{Ns - 1.25}{Ns - 5.02} \right)^{5/6}$	
Número del sedimento	Profundidad de Socavación Local Hs (m)
16.85	2.02
Breusers - Extraído de: Guevara Álvarez, M. E., (2016). "Socavación en Puentes". $Hs = 1.4 * b$	
Profundidad de Socavación Local Hs (m)	
4.2	
Froehlich - Extraído de: Guevara Álvarez, M. E., (2016). "Socavación en Puentes". $Hs = 0.32 * Kf * (b')^{0.62} * y^{0.47} * Fr^{0.22} * d_{50}^{-0.09} + b$	
Profundidad de Socavación Local Hs (m)	
4.39	
Colorado State University - Extraído de: Guevara Álvarez, M. E., (2016). "Socavación en Puentes". $Hs = 2 * y * K1 * K2 * K3 * K4 * \left( \frac{b}{y} \right)^{0.65} * Fr^{0.43}$	
Profundidad de Socavación Local Hs (m)	
5.15	

Nota. Elaboración propia

**Figura 113:** Cálculo de socavación local en Sección 0+500 en Microsoft Excel.

## Parte 03

<p>Inglis - Extraído de: Gómez Cunya, L. A. (2010). "Socavación Alrededor de Pilares de Puentes en Lechos Granulares no Cohesivos".</p> $Hs = 1.70 * b * \left(\frac{q^{2/3}}{b}\right)^{0.78} - y$	
Profundidad de Socavación Local Hs (m)	
7.06	
<p>Hancu - Extraído de: Gómez Cunya, L. A. (2010). "Socavación Alrededor de Pilares de Puentes en Lechos Granulares no Cohesivos".</p> $Hs = 2.42 * b * \left[2\left(\frac{V}{Vc}\right) - 1\right] * \left(\frac{Vc^2}{g * b}\right)$	
Profundidad de Socavación Local Hs (m)	
8.79	
<p>Flores - Extraído de: Gómez Cunya, L. A. (2010). "Socavación Alrededor de Pilares de Puentes en Lechos Granulares no Cohesivos".</p> $Hs = b * \left(1.56 - 14.14 * \frac{d_{80}}{b}\right) * F^{(0.62 + 15.02 * \frac{d_{50}}{b})}$	
Profundidad de Socavación Local Hs (m)	
No Aplicable	
<p>Jain &amp; Fischer - Extraído de: Gómez Cunya, L. A. (2010). "Socavación Alrededor de Pilares de Puentes en Lechos Granulares no Cohesivos".</p>	
<p>Para <math>Fr - Fc &gt; 0.2</math></p> $Hs = 2 * b * (Fr - Fc)^{0.25} * \left(\frac{y}{b}\right)^{0.5}$	<p>Para <math>Fr - Fc &lt; 0</math></p> $Hs = 1.85 * b * (Fc)^{0.25} * \left(\frac{y}{b}\right)^{0.5}$
Para: $0 < (Fr - Fc) < 0.2$ se escoge el valor mayor de ambas fórmulas	
Profundidad de Socavación Local Hs (m)	
7.36	

Nota. Elaboración propia



**Figura 114:** Resumen del cálculo de socavación local en Sección 0+500 en Microsoft Excel

Resumen 01 (Todos los métodos)	
Método	Hs (m)
Laursen & Toch	5.52
Larras	1.80
Arunachalam	6.92
Carsten	2.02
Breusers	4.20
Froehlich	4.39
CSU	5.15
Inglis	7.06
Hancu	8.79
Flores	No Aplicable
Jain & Fischer	7.36
Promedio:	5.32
Resumen (Con disgregación de métodos con valores dispersos a la media)	
Método	Hs (m)
Laursen & Toch	5.52
Larras	1.80
Carsten	2.02
Breusers	4.20
Froehlich	4.39
CSU	5.15
Promedio:	3.85
Media Armónica:	3.17
Se determina:	3.30

Nota. Elaboración propia

**Figura 115:** Cálculo de profundidad de manto de enrocado de protección en Sección 0+500 en Microsoft Excel

CÁLCULO DE PROFUNDIDAD DE MANTO - SECCIÓN 0+500		
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.	
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva	
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera	
Profundidad del Manto de Enrocado de Protección de pilar $Pu = FS * Hs$		
Profundidad de socavación Hs	Factor de Seguridad FS	Prof. Del Manto de Protección (m)
3.30	1.05	3.50

Nota. Elaboración propia

**Figura 116:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+500 en Microsoft Excel. Parte 01

CÁLCULO DE DIÁMETRO DE ROCA DE ENROCADO PARA PROTECCIÓN DE PILARES DE PUENTES - SECCIÓN 0+500	
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera
Maza & García - Extraído de: Pérez et al, (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia". $D_{50} = 1.2 * \left( \frac{V}{4.71 * \Delta\rho^{0.5} * y^{0.15}} \right)^{2.86}$	
D <sub>50</sub> Enrocado de Pilar (m)	
4.63	

Nota. Elaboración propia

**Figura 117:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección

0+500 en Microsoft Excel. Parte 02

<p>Isbash, Modificado por Hoffmans &amp; Verheij - Extraído de: Lagasse et al, (2001). "Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures".</p> $D_{50} = \frac{0.692 * (K * 1.2 * V)^2}{(Gs - 1) * 2g}$
D <sub>50</sub> Enrocado de Pilar (m)
3.45
<p>Bonasoundas - Extraído de: Chiew, Y. M. (1995). "Mechanics of Riprap Failure at Bridge Piers".</p> $D_{50} = 6 - 3.3V + 4V^2$
D <sub>50</sub> Enrocado de Pilar (m)
1.42
<p>Breusers et al - Extraído de: Chiew, Y. M. (1995). "Mechanics of Riprap Failure at Bridge Piers".</p> $D_{50} = \frac{1.38 * V^2}{(Gs - 1) * 2g}$
D <sub>50</sub> Enrocado de Pilar (m)
1.65
<p>Richardson et al - Extraído de: Chiew, Y. M. (1995). "Mechanics of Riprap Failure at Bridge Piers".</p> $D_{50} = \frac{0.692 * (f1 * f2 * V)^2}{(Gs - 1) * 2g}$
D <sub>50</sub> Enrocado de Pilar (m)
1.94
<p>Quazi &amp; Peterson - Extraído de : USACE (1991). "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing (EM 1110 - 2 - 1601)"</p> $D_{50} = \frac{0.85}{(Gs - 1)^{1.25}} * Fr^{2.5} * y$
D <sub>50</sub> Enrocado de Pilar (m)
1.77

Nota. Elaboración propia

**Figura 118:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+500 en Microsoft Excel. Parte 03

<p>Breusers et al - Extraído de : USACE (1991).  <i>"Riprap: Equation Selection and Rock Sizing (EM 1110 - 2 - 1601)"</i></p> $D_{50} = \frac{2.83}{G_s - 1} * Fr^2 * y$
D <sub>50</sub> Enrocado de Pilar (m)
6.78
<p>Farraday &amp; Charlton - Extraído de : USACE (1991).  <i>"Riprap: Equation Selection and Rock Sizing (EM 1110 - 2 - 1601)"</i></p> $D_{50} = 0.547 * Fr^3 * y$
D <sub>50</sub> Enrocado de Pilar (m)
2.11
<p>Parola et al - Extraído de : USACE (1991).  <i>"Riprap: Equation Selection and Rock Sizing (EM 1110 - 2 - 1601)"</i></p> $D_{50} = \frac{C}{G_s - 1} * Fr^2 * y$
D <sub>50</sub> Enrocado de Pilar (m)
4.07
<p>Breusers &amp; Raudkivi - Extraído de : USACE (1991).  <i>"Riprap: Equation Selection and Rock Sizing (EM 1110 - 2 - 1601)"</i></p> $D_{50} = \frac{0.278}{(G_s - 1)^{1.5}} * Fr^3 * y$
D <sub>50</sub> Enrocado de Pilar (m)
0.51
<p>Autroads - Extraído de : USACE (1991).  <i>"Riprap: Equation Selection and Rock Sizing (EM 1110 - 2 - 1601)"</i></p> $D_{50} = \frac{0.58 * K_p * K_v}{G_s - 1} * Fr^2 * y$
D <sub>50</sub> Enrocado de Pilar (m)
1.91

Nota. Elaboración propia

**Figura 119:** Resumen de cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+500 en Microsoft Excel

Resumen		
	Método	D <sub>50</sub> Enrocado Pilar (m)
1	Maza & García - Extraído de: Pérez et al, (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia".	4.63
2	Isbash, Modificado por Hoffmans & Verheij - Extraído de: Lagasse et al, (2001). "Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures".	3.45
3	Bonasoundas - Extraído de: Chiew, Y. M. (1995). "Mechanics of Riprap Failure at Bridge Piers".	1.42
4	Breusers et al - Extraído de: Chiew, Y. M. (1995). "Mechanics of Riprap Failure at Bridge Piers".	1.65
5	Richardson et al - Extraído de: Chiew, Y. M. (1995). "Mechanics of Riprap Failure at Bridge Piers".	1.94
6	Quazi & Peterson - Extraído de : USACE (1991). "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing (EM 1110 - 2 - 1601)"	1.77
7	Breusers et al - Extraído de : USACE (1991). "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing (EM 1110 - 2 - 1601)"	6.78
8	Farraday & Charlton - Extraído de : USACE (1991). "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing (EM 1110 - 2 - 1601)"	2.11
9	Parola et al - Extraído de : USACE (1991). "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing (EM 1110 - 2 - 1601)"	4.07
10	Breusers & Raudkivi - Extraído de : USACE (1991). "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing (EM 1110 - 2 - 1601)"	0.51
11	Autroads - Extraído de : USACE (1991). "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing (EM 1110 - 2 - 1601)"	1.91
Resumen (Disgregando valores diferentes a la media)		
	Método	D <sub>50</sub> Enrocado Pilar (m)
1	Bonasoundas - Extraído de: Chiew, Y. M. (1995). "Mechanics of Riprap Failure at Bridge Piers".	1.42
2	Breusers et al - Extraído de: Chiew, Y. M. (1995). "Mechanics of Riprap Failure at Bridge Piers".	1.65
3	Richardson et al - Extraído de: Chiew, Y. M. (1995). "Mechanics of Riprap Failure at Bridge Piers".	1.94
4	Quazi & Peterson - Extraído de : USACE (1991). "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing (EM 1110 - 2 - 1601)"	1.77
5	Farraday & Charlton - Extraído de : USACE (1991). "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing (EM 1110 - 2 - 1601)"	2.11
6	Autroads - Extraído de : USACE (1991). "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing (EM 1110 - 2 - 1601)"	1.91
<b>Promedio:</b>		<b>1.80</b>
<b>Media Armónica:</b>		<b>1.77</b>
<b>Se determina:</b>		<b>1.80</b>

Nota. Elaboración propia

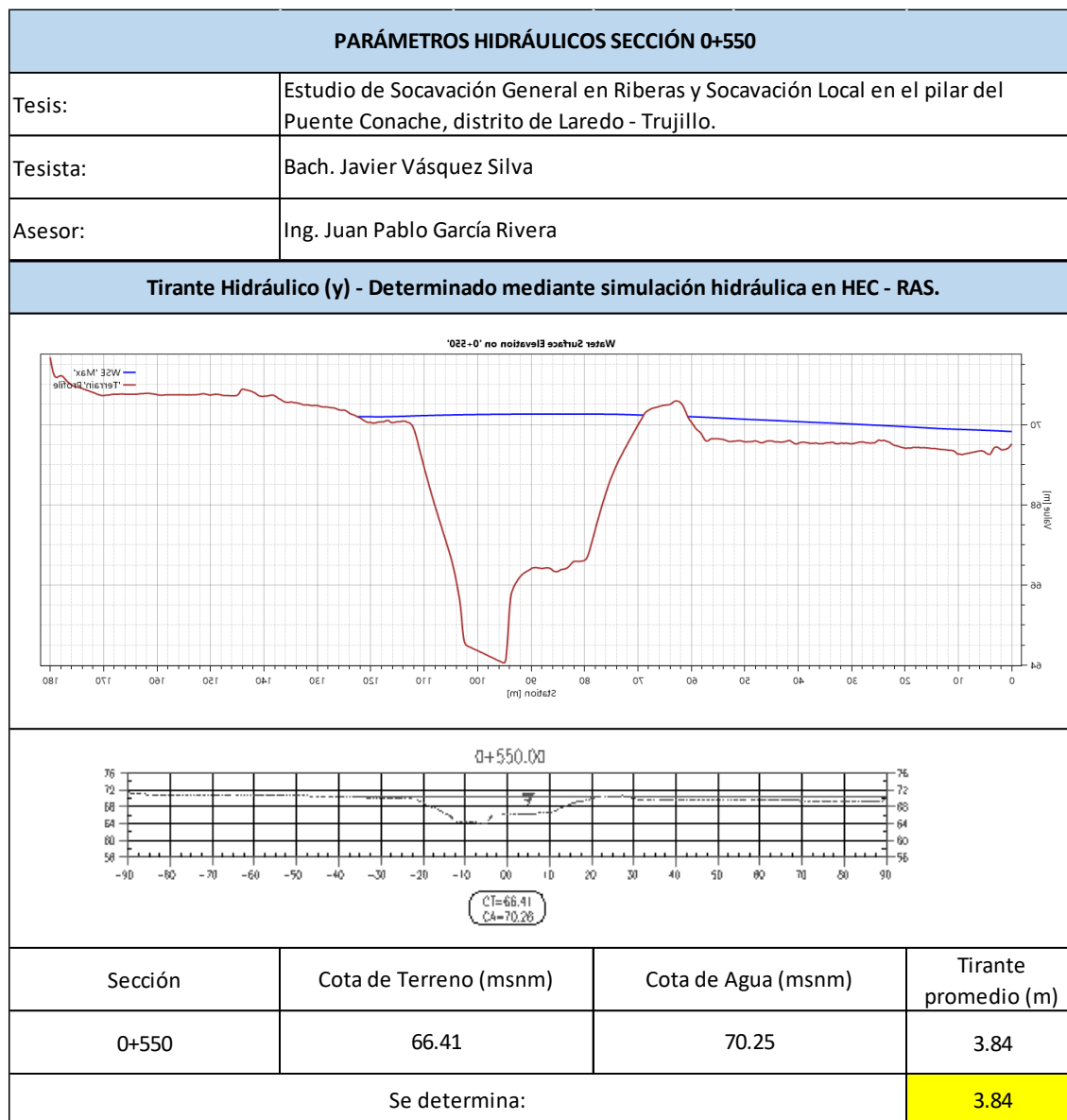
✓ **Sección 0+550:**

**Figura 120:** *Datos Iniciales de los parámetros topográficos y geotécnicos de la Sección 0+550 en Microsoft Excel*

DATOS INICIALES - SECCIÓN 0+550				
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.			
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva			
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera			
Caudal de Diseño	Ancho Natural de Cauce (m)	Pendiente "S" (m/m)	Periodo de Retorno T (años)	Condición de lecho
1253.13	130	0.0072	500	Dunas medianas
Análisis de Sedimentos del lecho				
d50 (mm)	d80 (mm)	d85 (mm)	d95 (mm)	$\gamma_s$ (ton/m <sup>3</sup> )
30.57	56.18	59.47	65.56	1.65

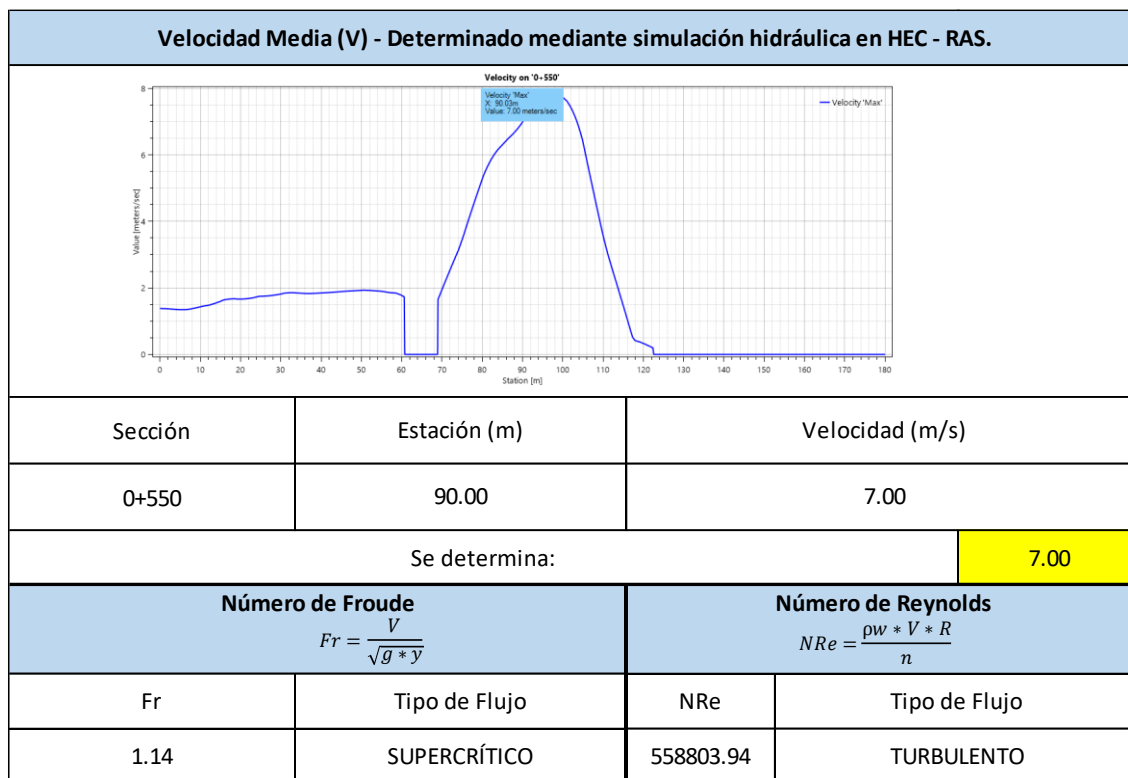
*Nota.* Elaboración propia

**Figura 121:** *Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+450 en Microsoft Excel. Parte 01*



*Nota.* Elaboración propia

**Figura 122:** *Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+550 en Microsoft Excel. Parte 02*



Nota. Elaboración propia



**Figura 123:** Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+550 en Microsoft Excel. Parte 01

TABLAS PARA CÁLCULO DE SOCAVACIÓN GENERAL - SECCIÓN 0+550													
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.												
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva												
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera												
Datos Iniciales													
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Ancho de cauce	Tirante Hidráulico (m)	Velocidad Media (m/s)	N° de Froude	Tipo de Flujo	Descarga Unitaria (m <sup>2</sup> /s)	d50 suelo (mm)	PE suelo (ton/m <sup>3</sup> )					
1253.13	130.00	3.84	7.00	1.14	SUPERCRÍTICO	9.64	30.57	1.65					
Tablas para cálculo de Socavación General (Método Lischtván - Lebediev) - Extraído de: Pérez et al (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia"													
Tabla N° 1 - Coeficiente de contracción "μ". Método de Lischtván - Lebediev													
Velocidad media en la sección	Ancho de cauce en metros												
	10	13	16	18	21	25	30	42	52	63	106	124	200
< 1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.5	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
2	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
2.5	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
3	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.5	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.94	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
> 4.00	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.93	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99
Ancho de cauce (m):	→		130										
Velocidad media (m/s):	→		7.00										
Interpolación de datos:													
		124	130	200									
		#N/D		#N/D									
	7.00	#N/D	#N/D	#N/D									
		#N/D		#N/D									
Entonces:		μ =		0.99									
Por lo que:		α =		1.03									

Nota. Elaboración propia

**Figura 124:** Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+550 en Microsoft Excel. Parte 02

Tabla N°2 - Valores del coeficiente "β"		Tabla N°3 - Valores de "X" y "1/(1+X)" para suelos cohesivos y no cohesivos. Método de Lischtvan - Lebediev							
Periodo de retorno (Tr) en años	(β)	Suelos cohesivos			Suelos no cohesivos			Valores para el estudio	
		γs (ton/m³)	x	$\frac{1}{1+X}$	Dm (mm)	x	$\frac{1}{1+X}$	x	$\frac{1}{1+X}$
1	0.77	0.80	0.52	0.66	0.05	0.43	0.70		
2	0.82	0.82	0.51	0.66	0.15	0.42	0.70		
5	0.86	0.86	0.50	0.67	0.50	0.41	0.71		
10	0.90	0.88	0.49	0.67	1.00	0.40	0.71		
20	0.94	0.90	0.48	0.67	1.50	0.39	0.72		
50	0.97	0.93	0.47	0.68	2.50	0.38	0.72		
100	1.00	0.96	0.46	0.68	4	0.37	0.73		
500	1.05	0.98	0.45	0.69	6	0.36	0.74		
1000	1.07	1.00	0.44	0.69	8	0.35	0.74		
		1.04	0.43	0.70	10	0.34	0.75		
		1.08	0.42	0.70	15	0.33	0.75		
		1.12	0.41	0.71	20	0.32	0.76		
		1.16	0.40	0.71	25	0.31	0.76	0.306	0.76
		1.20	0.39	0.72	40	0.30	0.77		
		1.24	0.38	0.72	60	0.29	0.78		
		1.28	0.37	0.73	90	0.28	0.78		
		1.34	0.36	0.74	140	0.27	0.79		
		1.40	0.35	0.74	190	0.26	0.79		
		1.46	0.34	0.75	250	0.25	0.80		
		1.52	0.33	0.75	310	0.24	0.81		
		1.58	0.32	0.76	370	0.23	0.81		
		1.64	0.31	0.76	450	0.22	0.83		
		1.71	0.30	0.77	570	0.21	0.83		
		1.80	0.29	0.78	750	0.20	0.83		
		1.89	0.28	0.78	1000	0.19	0.84		
		2.00	0.27	0.79					

Tr =	500
β =	1.05

D50 de suelo (mm):	30.57
X	>>> 0.306
1/(1+X)	>>> 0.76

Nota. Elaboración propia

**Figura 125:** Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+550 en Microsoft Excel. Parte 03

Tabla N°4 - Clasificación según tamaño de partículas					
Tamaño (mm)			Tipo de material	Tipo de material del estudio	
4000	-	2000	Canto rodado muy grande		
2000	-	1000	Canto rodado grande		
1000	-	500	Canto rodado medio		
500	-	250	Canto rodado pequeño		
250	-	130	Cascajo grande		
130	-	64	Cascajo pequeño		
64	-	32	Grava muy grueso		
32	-	16	Grava gruesa	←	Grava gruesa
16	-	8	Grava media		
8	-	4	Grava fina		
4	-	2	Grava muy fina		
2	-	1	Arena muy gruesa		
1	-	0.5	Arena gruesa		
0.5	-	0.25	Arena media		
0.25	-	0.125	Arena fina		
0.125	-	0.062	Arena muy fina		
0.062	-	0.031	Limo grueso		
0.031	-	0.016	Limo medio		
0.016	-	0.008	Limo fino		
0.008	-	0.004	Limo muy fino		
0.004	-	0.002	Arcilla gruesa		
0.002	-	0.001	Arcilla media		
0.001	-	0.0005	Arcilla fina		
0.0005	-	0.00024	Arcilla muy fina		
D50 de suelo (mm): <input type="text" value="30.57"/> >>> <input type="text" value="Grava gruesa"/> <input type="text" value="Material:"/> >>> <input type="text" value="Granular (No cohesivo)"/>					

Nota. Elaboración propia

**Figura 126:** Cálculo de socavación general en Sección 0+550 en Microsoft Excel

CÁLCULO DE SOCAVACIÓN GENERAL - SECCIÓN 0+550					
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.				
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva				
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera				
Socavación General (Lischtvan - Lebediev) - Extraído de: Pérez et al, (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia".					
Para Suelos Cohesivos			Para Suelos granulares (no cohesivos)		
$Y_s = \left( \frac{\alpha * \gamma^{5/3}}{0.60 * \gamma^{1.18} * \beta} \right)^{\frac{1}{1+X}}$			$Y_s = \left( \frac{\alpha * \gamma^{5/3}}{0.68 * d_{50}^{0.28} * \beta} \right)^{\frac{1}{1+X}}$		
Tirante de socavación por Contracción Ys (m)					
3.51					
Profundidad de Socavación - Hs (m)					
NO HAY SOCAVACIÓN POR CONTRACCIÓN					
Ecuación Reducida para Socavación General - Extraído de: Barbosa Gil, S. (2013). "Metodología para Calcular la Profundidad de Socavación General en Ríos de Montaña (Lecho de Gravas)".					
$Y_s = k * \left( \frac{q^\omega}{d_{50}^\eta} \right)$					
Método (Adaptado por Barbosa Gil)	k	ω	η	Ys	Prof. de Socavación General Hs (m)
Maza - Echevarría	0.365	0.784	0.157	3.73	NO HAY SOCAVACIÓN
Lischtvan - Lebediev	0.310	0.758	0.212	3.62	NO HAY SOCAVACIÓN
Laursen	0.210	0.857	0.285	3.96	0.12
Maza - García	0.209	0.870	0.304	4.33	0.49
Neill	0.320	0.798	0.2	3.92	0.08
Blench	0.692	0.667	0.087	4.25	0.41

Nota. Elaboración propia

**Figura 127:** Resumen del cálculo de socavación general en Sección 0+550 en Microsoft Excel

Resumen	
Método	Hs (m)
Socavación General (Lischtvan - Lebediev) - Extraído de: Pérez et al, (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia".	NO HAY SOCAVACIÓN
Maza - Echevarría	NO HAY SOCAVACIÓN
Lischtvan - Lebediev	NO HAY SOCAVACIÓN
Laursen	0.12
Maza - García	0.49
Neill	0.08
Blench	0.41
<b>Promedio:</b>	<b>0.27</b>
<b>Se determina:</b>	<b>0.50</b>

Nota. Elaboración propia

**Figura 128:** Cálculo de profundidad de uña de enrocado de protección en Sección 0+550 en Microsoft Excel

CÁLCULO DE PROFUNDIDAD DE UÑA - SECCIÓN 0+550		
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.	
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva	
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera	
Profundidad de Uña Defensa Ribereña $P_u = FS * H_s$		
Profundidad de socavación $H_s$	Factor de Seguridad FS	Prof. De uña (m)
0.50	1.10	0.6

Nota. Elaboración propia

**Figura 129:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+550 en Microsoft Excel. Parte 01

CÁLCULO DE DIÁMETRO DE ROCA DE ENROCADO PARA PROTECCIÓN RIBEREÑA - SECCIÓN 0+550	
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera
Brown & Clyde - Extraído de: Brown, S. A., & Clyde, E. S. (1989). "Design of Riprap Revetment. Final Report HEC-11".	
$D_{50} = \frac{0.00594 * V^3}{y^{0.5} * K1^{1.5}}$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
1.54	
Maynard - Extraído de: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2012). "Manual de Hidráulica, Hidrología y Drenaje".	
$D_{50} = C1 * (y * Fr^3)$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
3.56	
Maynard et al - Extraído de: Maynard et al (1989). "Riprap Design".	
$D_{30} = y * FS * 0.3 * \left( \left( \frac{\gamma a}{\gamma r - \gamma a} \right)^{0.5} * \frac{V}{\sqrt{g y}} \right)^{2.5}$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
1.58	
USACE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	
$D_{30} = FS * Ce * Cv * Ct * y \left( \left( \frac{\gamma a}{\gamma r - \gamma a} \right)^{0.5} * \frac{V}{\sqrt{K1gy}} \right)^{2.5}$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
2.20	

Nota. Elaboración propia

**Figura 130:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+550 en Microsoft Excel. Parte 02

<p>Isbash - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = \frac{V^2}{2gT^2 * (Gs - 1)}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
2.05
<p>USBR - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = 0.0122 * V^{2.06}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
2.37
<p>ASCE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = \left( \frac{6W}{\pi * \gamma r} \right)^{1/3} ; W = \frac{0.000041 * Gs * V^6}{(Gs - 1)^3 * \cos^3(\theta)}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1.18
<p>Abt &amp; Johnson - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = 5.23 * S^{0.43} * q^{0.56}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.21

Nota. Elaboración propia

**Figura 131:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+550 en Microsoft Excel. Parte 03

Anderson et al (NCHRP Report 108) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".
$D_{50} = \frac{\gamma * R * S}{4}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.40
Blaisdell (Tillatoba model study) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".
$D_{50} = 0.00116 * \frac{V^3}{\gamma^{0.5}}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1.21
CALTRANS (California Department of Transportation) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".
$D_{50} = \left( \frac{6W}{\pi * \gamma r} \right)^{1/3} ; \quad W = \frac{0.00002}{(Gs - 1)^3} * \frac{0.67 * V^6 * Gs}{sen^3(r - a)}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
2.29

Nota. Elaboración propia



**Figura 132:** Resumen de cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+550 en Microsoft Excel

Resumen		
Método	D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
1	Brown & Clyde - Extraído de: Brown, S. A., & Clyde, E. S. (1989). "Design of Riprap Revetment. Final Report HEC-11".	1.54
2	Maynord - Extraído de: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2012). "Manual de Hidráulica, Hidrología y Drenaje".	3.56
3	Maynord et al - Extraído de: Maynord et al (1989). "Riprap Design".	1.58
4	USACE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	2.20
5	Isbash - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	2.05
6	USBR - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	2.37
7	ASCE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	1.18
8	Abt & Johnson - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	0.21
9	Anderson et al (NCHRP Report 108) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".	0.40
10	Blaisdell (Tillatoba model study) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".	1.21
11	CALTRANS (California Department of Transportation) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".	2.29
Promedio:		1.70
Media Armónica:		0.90
Se determina:		1.50

Nota. Elaboración propia

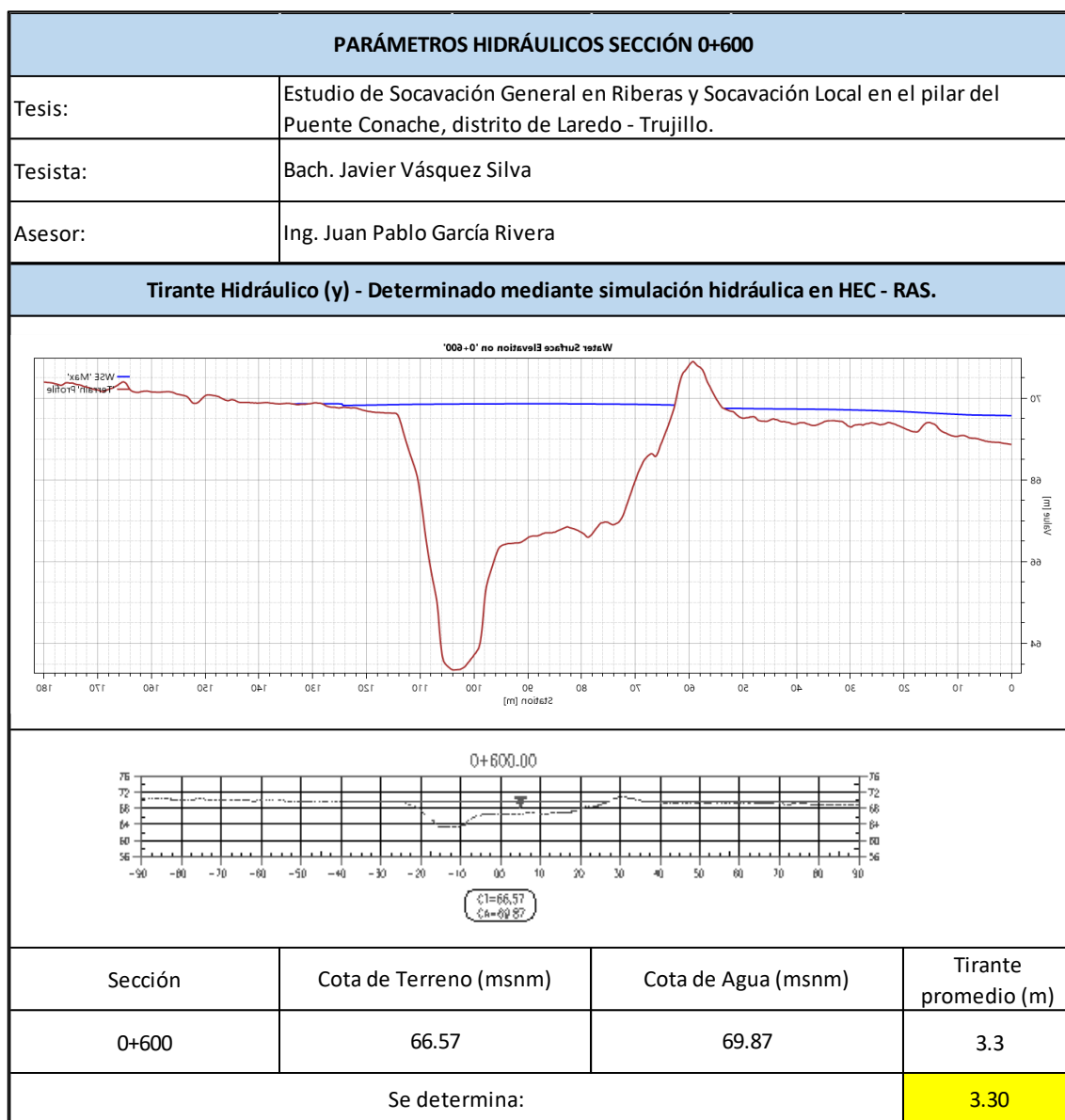
✓ **Sección 0+600:**

**Figura 133:** *Datos Iniciales de los parámetros topográficos y geotécnicos de la Sección 0+600 en Microsoft Excel*

DATOS INICIALES - SECCIÓN 0+600				
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.			
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva			
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera			
Caudal de Diseño	Ancho Natural de Cauce (m)	Pendiente "S" (m/m)	Periodo de Retorno T (años)	Condición de lecho
1253.13	130	0.0072	500	Dunas medianas
Análisis de Sedimentos del lecho				
d50 (mm)	d80 (mm)	d85 (mm)	d95 (mm)	$\gamma_s$ (ton/m <sup>3</sup> )
30.57	56.18	59.47	65.56	1.65

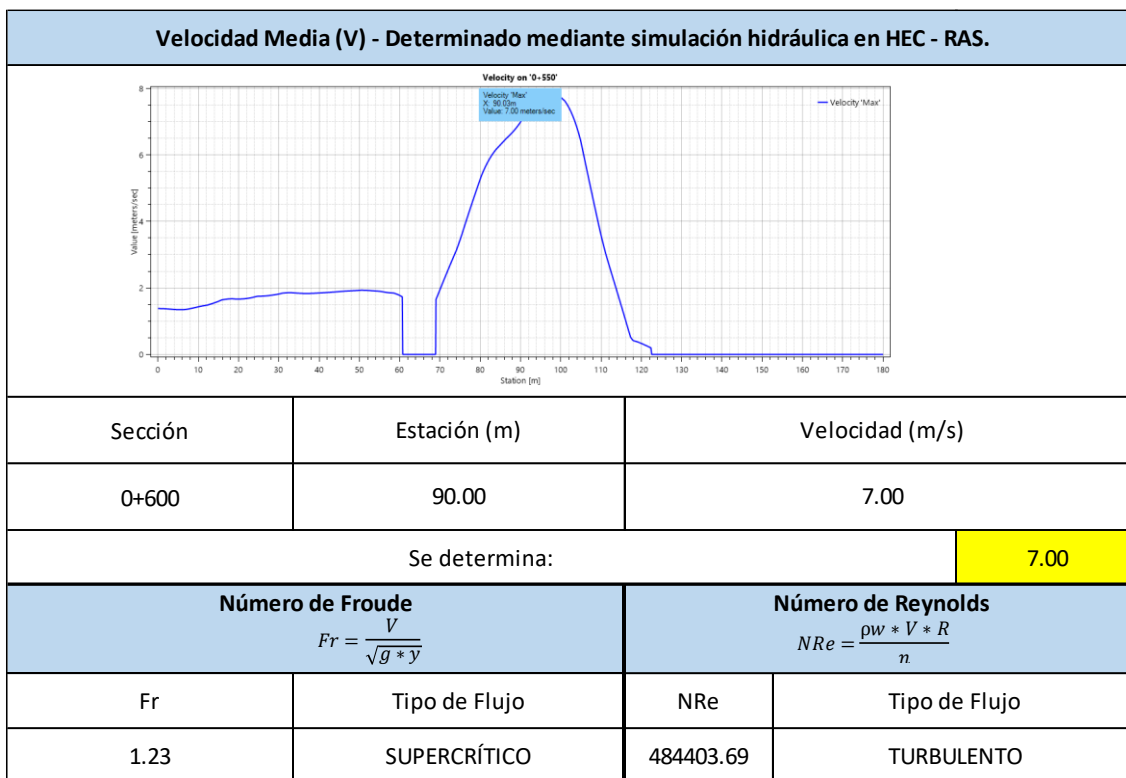
*Nota.* Elaboración propia

**Figura 134:** *Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+600 en Microsoft Excel. Parte 01*



Nota. Elaboración propia

**Figura 135:** *Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+600 en Microsoft Excel. Parte 02*



Nota. Elaboración propia

**Figura 136:** Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+600 en Microsoft Excel. Parte 01

TABLAS PARA CÁLCULO DE SOCAVACIÓN GENERAL - SECCIÓN 0+600													
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.												
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva												
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera												
Datos Iniciales													
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Ancho de cauce	Tirante Hidráulico (m)	Velocidad Media (m/s)	N° de Froude	Tipo de Flujo	Descarga Unitaria (m <sup>2</sup> /s)	d50 suelo (mm)	PE suelo (ton/m <sup>3</sup> )					
1253.13	130.00	3.30	7.00	1.23	SUPERCRÍTICO	9.64	30.57	1.65					
Tablas para cálculo de Socavación General (Método Lischtván - Lebediev) - Extraído de: Pérez et al (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia"													
Tabla N° 1 - Coeficiente de contracción "μ". Método de Lischtván - Lebediev													
Velocidad media en la sección	Ancho de cauce en metros												
	10	13	16	18	21	25	30	42	52	63	106	124	200
< 1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.5	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
2	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
2.5	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
3	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.5	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.94	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
> 4.00	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.93	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99
Ancho de cauce (m):	→		130										
Velocidad media (m/s):	→		7.00										
Interpolación de datos:													
		124	130	200									
		#N/D		#N/D									
	7.00	#N/D	#N/D	#N/D									
		#N/D		#N/D									
Entonces:	μ =		0.99										
Por lo que:	α =		1.33										

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 137:** Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+600 en Microsoft Excel. Parte 02

Tabla N°2 - Valores del coeficiente "β"		Tabla N°3 - Valores de "X" y "1/(1+X)" para suelos cohesivos y no cohesivos. Método de Lischtvan - Lebediev							
Periodo de retorno (Tr) en años	(β)	Suelos cohesivos			Suelos no cohesivos			Valores para el estudio	
		γs (ton/m³)	x	$\frac{1}{1+X}$	Dm (mm)	x	$\frac{1}{1+X}$	x	$\frac{1}{1+X}$
1	0.77	0.80	0.52	0.66	0.05	0.43	0.70		
2	0.82	0.82	0.51	0.66	0.15	0.42	0.70		
5	0.86	0.86	0.50	0.67	0.50	0.41	0.71		
10	0.90	0.88	0.49	0.67	1.00	0.40	0.71		
20	0.94	0.90	0.48	0.67	1.50	0.39	0.72		
50	0.97	0.93	0.47	0.68	2.50	0.38	0.72		
100	1.00	0.96	0.46	0.68	4	0.37	0.73		
500	1.05	0.98	0.45	0.69	6	0.36	0.74		
1000	1.07	1.00	0.44	0.69	8	0.35	0.74		
		1.04	0.43	0.70	10	0.34	0.75		
		1.08	0.42	0.70	15	0.33	0.75		
		1.12	0.41	0.71	20	0.32	0.76		
		1.16	0.40	0.71	25	0.31	0.76	0.306	0.76
		1.20	0.39	0.72	40	0.30	0.77		
		1.24	0.38	0.72	60	0.29	0.78		
		1.28	0.37	0.73	90	0.28	0.78		
		1.34	0.36	0.74	140	0.27	0.79		
		1.40	0.35	0.74	190	0.26	0.79		
		1.46	0.34	0.75	250	0.25	0.80		
		1.52	0.33	0.75	310	0.24	0.81		
		1.58	0.32	0.76	370	0.23	0.81		
		1.64	0.31	0.76	450	0.22	0.83		
		1.71	0.30	0.77	570	0.21	0.83		
		1.80	0.29	0.78	750	0.20	0.83		
		1.89	0.28	0.78	1000	0.19	0.84		
		2.00	0.27	0.79					

Tr = 500  
β = 1.05

D50 de suelo (mm): 30.57

X >>> 0.306

1/(1+X) >>> 0.76

Nota. Elaboración propia

**Figura 138:** Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+600 en Microsoft Excel. Parte 03

Tabla N°4 - Clasificación según tamaño de partículas					
Tamaño (mm)			Tipo de material	Tipo de material del estudio	
4000	-	2000	Canto rodado muy grande		
2000	-	1000	Canto rodado grande		
1000	-	500	Canto rodado medio		
500	-	250	Canto rodado pequeño		
250	-	130	Cascajo grande		
130	-	64	Cascajo pequeño		
64	-	32	Grava muy grueso		
32	-	16	Grava gruesa	←	Grava gruesa
16	-	8	Grava media		
8	-	4	Grava fina		
4	-	2	Grava muy fina		
2	-	1	Arena muy gruesa		
1	-	0.5	Arena gruesa		
0.5	-	0.25	Arena media		
0.25	-	0.125	Arena fina		
0.125	-	0.062	Arena muy fina		
0.062	-	0.031	Limo grueso		
0.031	-	0.016	Limo medio		
0.016	-	0.008	Limo fino		
0.008	-	0.004	Limo muy fino		
0.004	-	0.002	Arcilla gruesa		
0.002	-	0.001	Arcilla media		
0.001	-	0.0005	Arcilla fina		
0.0005	-	0.00024	Arcilla muy fina		
D50 de suelo (mm): <input type="text" value="30.57"/> >>> <input type="text" value="Grava gruesa"/> <input type="text" value="Material:"/> >>> <input type="text" value="Granular (No cohesivo)"/>					

Nota. Elaboración propia

**Figura 139:** Cálculo de socavación general en Sección 0+600 en Microsoft Excel

CÁLCULO DE SOCAVACIÓN GENERAL - SECCIÓN 0+600					
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.				
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva				
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera				
Socavación General (Lischtvan - Lebediev) - Extraído de: Pérez et al, (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia".					
Para Suelos Cohesivos			Para Suelos granulares (no cohesivos)		
$Y_s = \left( \frac{\alpha * \gamma^{5/3}}{0.60 * \gamma^{1.18} * \beta} \right)^{\frac{1}{1+X}}$			$Y_s = \left( \frac{\alpha * \gamma^{5/3}}{0.68 * d_{50}^{0.28} * \beta} \right)^{\frac{1}{1+X}}$		
Tirante de socavación por Contracción Ys (m)					
3.52					
Profundidad de Socavación - Hs (m)					
0.22					
Ecuación Reducida para Socavación General - Extraído de: Barbosa Gil, S. (2013). "Metodología para Calcular la Profundidad de Socavación General en Ríos de Montaña (Lecho de Gravas)".					
$Y_s = k * \left( \frac{q^\omega}{d_{50}^\eta} \right)$					
Método (Adaptado por Barbosa Gil)	k	ω	η	Ys	Prof. de Socavación General Hs (m)
Maza - Echevarría	0.365	0.784	0.157	3.73	0.43
Lischtvan - Lebediev	0.310	0.758	0.212	3.62	0.32
Laursen	0.210	0.857	0.285	3.96	0.66
Maza - García	0.209	0.870	0.304	4.33	1.03
Neill	0.320	0.798	0.2	3.92	0.62
Blench	0.692	0.667	0.087	4.25	0.95

Nota. Elaboración propia



**Figura 140:** Resumen del cálculo de socavación general en Sección 0+600 en Microsoft Excel

Resumen	
Método	Hs (m)
Socavación General (Lischtvan - Lebediev) - Extraído de: Pérez et al, (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia".	0.22
Maza - Echevarría	0.43
Lischtvan - Lebediev	0.32
Laursen	0.66
Maza - García	1.03
Neill	0.62
Blench	0.95
<b>Promedio:</b>	<b>0.67</b>
<b>Se determina:</b>	<b>0.80</b>

Nota. Elaboración propia

**Figura 141:** Cálculo de profundidad de uña de enrocado de protección en Sección 0+600 en Microsoft Excel

CÁLCULO DE PROFUNDIDAD DE UÑA - SECCIÓN 0+500		
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.	
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva	
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera	
Profundidad de Uña Defensa Ribereña $P_u = FS * H_s$		
Profundidad de socavación $H_s$	Factor de Seguridad FS	Prof. De uña (m)
0.80	1.10	0.9

Nota. Elaboración propia

**Figura 142:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+600 en Microsoft Excel. Parte 01

CÁLCULO DE DIÁMETRO DE ROCA DE ENROCADO PARA PROTECCIÓN RIBEREÑA - SECCIÓN 0+600	
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera
Brown & Clyde - Extraído de: Brown, S. A., & Clyde, E. S. (1989). "Design of Riprap Revetment. Final Report HEC-11".	
$D_{50} = \frac{0.00594 * V^3}{y^{0.5} * K1^{1.5}}$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
1.66	
Maynard - Extraído de: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2012). "Manual de Hidráulica, Hidrología y Drenaje".	
$D_{50} = C1 * (y * Fr^3)$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
3.84	
Maynard et al - Extraído de: Maynard et al (1989). "Riprap Design".	
$D_{30} = y * FS * 0.3 * \left( \left( \frac{\gamma a}{\gamma r - \gamma a} \right)^{0.5} * \frac{V}{\sqrt{g y}} \right)^{2.5}$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
1.64	
USACE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	
$D_{30} = FS * Ce * Cv * Ct * y \left( \left( \frac{\gamma a}{\gamma r - \gamma a} \right)^{0.5} * \frac{V}{\sqrt{K1gy}} \right)^{2.5}$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
2.28	

Nota. Elaboración propia

**Figura 143:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+600 en Microsoft Excel. Parte 02

<p>Isbash - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = \frac{V^2}{2gT^2 * (Gs - 1)}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
2.05
<p>USBR - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = 0.0122 * V^{2.06}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
2.37
<p>ASCE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = \left( \frac{6W}{\pi * \gamma r} \right)^{1/3} ; W = \frac{0.000041 * Gs * V^6}{(Gs - 1)^3 * \cos^3(\theta)}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1.18
<p>Abt &amp; Johnson - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = 5.23 * S^{0.43} * q^{0.56}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.21

Nota. Elaboración propia

**Figura 144:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+600 en Microsoft Excel. Parte 03

Anderson et al (NCHRP Report 108) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".
$D_{50} = \frac{\gamma * R * S}{4}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.35
Blaisdell (Tillatoba model study) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".
$D_{50} = 0.00116 * \frac{V^3}{\gamma^{0.5}}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1.30
CALTRANS (California Department of Transportation) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".
$D_{50} = \left( \frac{6W}{\pi * \gamma r} \right)^{1/3} ; \quad W = \frac{0.00002}{(Gs - 1)^3} * \frac{0.67 * V^6 * Gs}{sen^3(r - a)}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
2.29

Nota. Elaboración propia

**Figura 145:** Resumen de cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+600 en Microsoft Excel

Resumen		
	Método	D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1	Brown & Clyde - Extraído de: Brown, S. A., & Clyde, E. S. (1989). "Design of Riprap Revetment. Final Report HEC-11".	1.66
2	Maynord - Extraído de: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2012). "Manual de Hidráulica, Hidrología y Drenaje".	3.84
3	Maynord et al - Extraído de: Maynord et al (1989). "Riprap Design".	1.64
4	USACE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	2.28
5	Isbash - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	2.05
6	USBR - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	2.37
7	ASCE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	1.18
8	Abt & Johnson - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	0.21
9	Anderson et al (NCHRP Report 108) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".	0.35
10	Blaisdell (Tillatoba model study) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".	1.30
11	CALTRANS (California Department of Transportation) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".	2.29
Promedio:		1.80
Media Armónica:		0.89
Se determina:		1.50

Nota. Elaboración propia

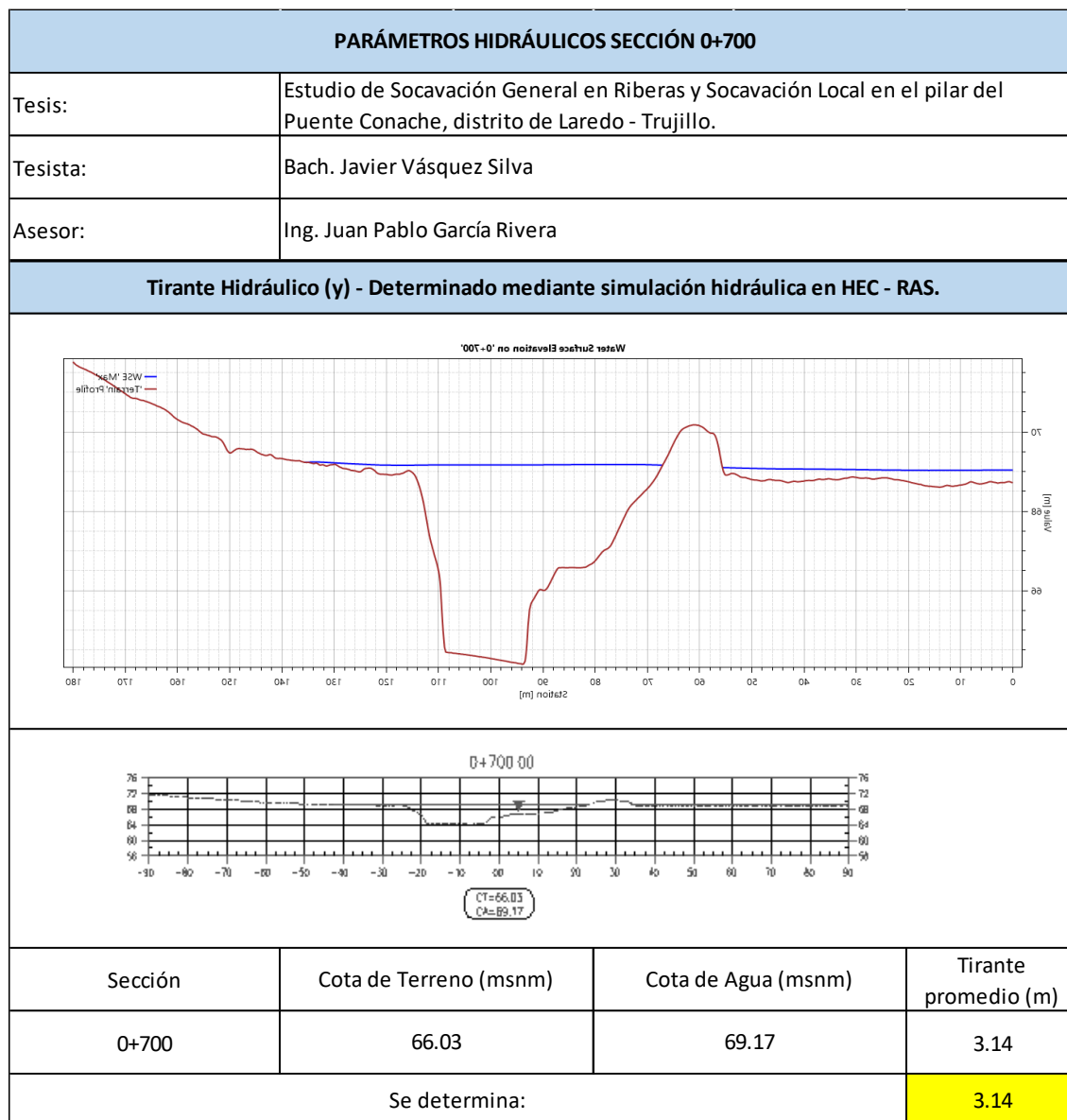
✓ **Sección 0+700:**

**Figura 146:** *Datos Iniciales de los parámetros topográficos y geotécnicos de la Sección 0+700 en Microsoft Excel*

DATOS INICIALES - SECCIÓN 0+700				
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.			
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva			
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera			
Caudal de Diseño	Ancho Natural de Cauce (m)	Pendiente "S" (m/m)	Periodo de Retorno T (años)	Condición de lecho
1253.13	130	0.0072	500	Dunas medianas
Análisis de Sedimentos del lecho				
d50 (mm)	d80 (mm)	d85 (mm)	d95 (mm)	$\gamma_s$ (ton/m <sup>3</sup> )
30.57	56.18	59.47	65.56	1.65

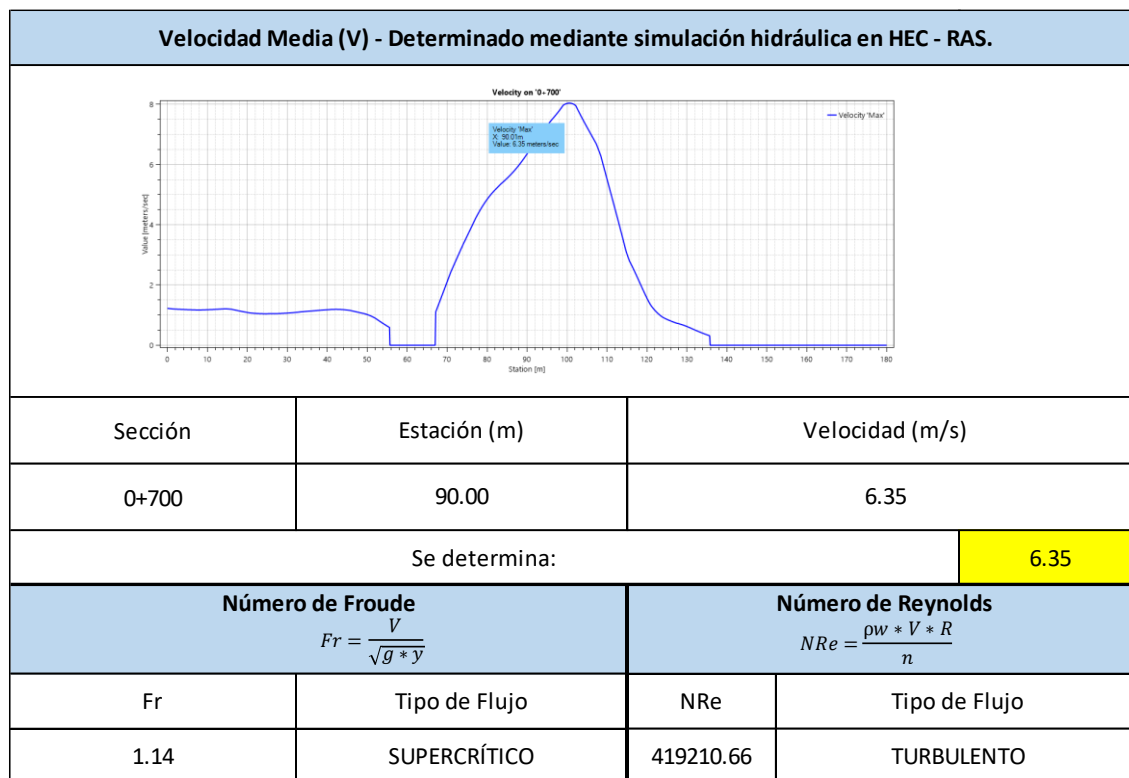
*Nota.* Elaboración propia

**Figura 147:** *Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+700 en Microsoft Excel. Parte 01*



*Nota.* Elaboración propia

**Figura 148:** *Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+700 en Microsoft Excel. Parte 02*



*Nota.* Elaboración propia



**Figura 149:** Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+700 en Microsoft Excel. Parte 01

TABLAS PARA CÁLCULO DE SOCAVACIÓN GENERAL - SECCIÓN 0+700													
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.												
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva												
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera												
Datos Iniciales													
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Ancho de cauce	Tirante Hidráulico (m)	Velocidad Media (m/s)	N° de Froude	Tipo de Flujo	Descarga Unitaria (m <sup>2</sup> /s)	d50 suelo (mm)	PE suelo (ton/m <sup>3</sup> )					
1253.13	130.00	3.14	6.35	1.14	SUPERCRÍTICO	9.64	30.57	1.65					
Tablas para cálculo de Socavación General (Método Lischtvan - Lebediev) - Extraído de: Pérez et al (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia"													
Tabla N° 1 - Coeficiente de contracción "μ". Método de Lischtvan - Lebediev													
Velocidad media en la sección	Ancho de cauce en metros												
	10	13	16	18	21	25	30	42	52	63	106	124	200
< 1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.5	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
2	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
2.5	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
3	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.5	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.94	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
> 4.00	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.93	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99
Ancho de cauce (m):	→		130										
Velocidad media (m/s):	→		6.35										
Interpolación de datos:													
		124	130	200									
		#N/D		#N/D									
	6.35	#N/D	#N/D	#N/D									
		#N/D		#N/D									
Entonces:		μ =		0.99									
Por lo que:		α =		1.45									

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 150:** Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+700 en Microsoft Excel. Parte 02

Tabla N°2 - Valores del coeficiente "β"		Tabla N°3 - Valores de "X" y "1/(1+X)" para suelos cohesivos y no cohesivos. Método de Lischtvan - Lebediev							
Periodo de retorno (Tr) en años	(β)	Suelos cohesivos			Suelos no cohesivos			Valores para el estudio	
		γs (ton/m³)	x	$\frac{1}{1+X}$	Dm (mm)	x	$\frac{1}{1+X}$	x	$\frac{1}{1+X}$
1	0.77	0.80	0.52	0.66	0.05	0.43	0.70		
2	0.82	0.82	0.51	0.66	0.15	0.42	0.70		
5	0.86	0.86	0.50	0.67	0.50	0.41	0.71		
10	0.90	0.88	0.49	0.67	1.00	0.40	0.71		
20	0.94	0.90	0.48	0.67	1.50	0.39	0.72		
50	0.97	0.93	0.47	0.68	2.50	0.38	0.72		
100	1.00	0.96	0.46	0.68	4	0.37	0.73		
500	1.05	0.98	0.45	0.69	6	0.36	0.74		
1000	1.07	1.00	0.44	0.69	8	0.35	0.74		
		1.04	0.43	0.70	10	0.34	0.75		
		1.08	0.42	0.70	15	0.33	0.75		
		1.12	0.41	0.71	20	0.32	0.76		
		1.16	0.40	0.71	25	0.31	0.76	0.306	0.76
		1.20	0.39	0.72	40	0.30	0.77		
		1.24	0.38	0.72	60	0.29	0.78		
		1.28	0.37	0.73	90	0.28	0.78		
		1.34	0.36	0.74	140	0.27	0.79		
		1.40	0.35	0.74	190	0.26	0.79		
		1.46	0.34	0.75	250	0.25	0.80		
		1.52	0.33	0.75	310	0.24	0.81		
		1.58	0.32	0.76	370	0.23	0.81		
		1.64	0.31	0.76	450	0.22	0.83		
		1.71	0.30	0.77	570	0.21	0.83		
		1.80	0.29	0.78	750	0.20	0.83		
		1.89	0.28	0.78	1000	0.19	0.84		
		2.00	0.27	0.79					

Tr = 500  
β = 1.05

D50 de suelo (mm): 30.57

X >>> 0.306

1/(1+X) >>> 0.76

Nota. Elaboración propia

**Figura 151:** Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+700 en Microsoft Excel. Parte 03

Tabla N°4 - Clasificación según tamaño de partículas					
Tamaño (mm)			Tipo de material	Tipo de material del estudio	
4000	-	2000	Canto rodado muy grande		
2000	-	1000	Canto rodado grande		
1000	-	500	Canto rodado medio		
500	-	250	Canto rodado pequeño		
250	-	130	Cascajo grande		
130	-	64	Cascajo pequeño		
64	-	32	Grava muy grueso		
32	-	16	Grava gruesa	←	Grava gruesa
16	-	8	Grava media		
8	-	4	Grava fina		
4	-	2	Grava muy fina		
2	-	1	Arena muy gruesa		
1	-	0.5	Arena gruesa		
0.5	-	0.25	Arena media		
0.25	-	0.125	Arena fina		
0.125	-	0.062	Arena muy fina		
0.062	-	0.031	Limo grueso		
0.031	-	0.016	Limo medio		
0.016	-	0.008	Limo fino		
0.008	-	0.004	Limo muy fino		
0.004	-	0.002	Arcilla gruesa		
0.002	-	0.001	Arcilla media		
0.001	-	0.0005	Arcilla fina		
0.0005	-	0.00024	Arcilla muy fina		
D50 de suelo (mm): <input type="text" value="30.57"/> >>> <input type="text" value="Grava gruesa"/> <input type="text" value="Material:"/> >>> <input type="text" value="Granular (No cohesivo)"/>					

Nota. Elaboración propia

Figura 152: Cálculo de socavación general en Sección 0+700 en Microsoft Excel

CÁLCULO DE SOCAVACIÓN GENERAL - SECCIÓN 0+700					
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.				
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva				
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera				
Socavación General (Lischtvan - Lebediev) - Extraído de: Pérez et al, (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia".					
Para Suelos Cohesivos			Para Suelos granulares (no cohesivos)		
$Y_s = \left( \frac{\alpha * \gamma^{5/3}}{0.60 * \gamma^{1.18} * \beta} \right)^{\frac{1}{1+X}}$			$Y_s = \left( \frac{\alpha * \gamma^{5/3}}{0.68 * d_{50}^{0.28} * \beta} \right)^{\frac{1}{1+X}}$		
Tirante de socavación por Contracción Ys (m)					
3.53					
Profundidad de Socavación - Hs (m)					
0.38					
Ecuación Reducida para Socavación General - Extraído de: Barbosa Gil, S. (2013). "Metodología para Calcular la Profundidad de Socavación General en Ríos de Montaña (Lecho de Gravas)".					
$Y_s = k * \left( \frac{q^\omega}{d_{50}^\eta} \right)$					
Método (Adaptado por Barbosa Gil)	k	$\omega$	$\eta$	Ys	Prof. de Socavación General Hs (m)
Maza - Echevarría	0.365	0.784	0.157	3.73	0.59
Lischtvan - Lebediev	0.310	0.758	0.212	3.62	0.48
Laursen	0.210	0.857	0.285	3.96	0.82
Maza - García	0.209	0.870	0.304	4.33	1.19
Neill	0.320	0.798	0.2	3.92	0.78
Blench	0.692	0.667	0.087	4.25	1.11

Nota. Elaboración propia

**Figura 153:** Resumen del cálculo de socavación general en Sección 0+700 en Microsoft Excel

Resumen	
Método	Hs (m)
Socavación General (Lischtvan - Lebediev) - Extraído de: Pérez et al, (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia".	0.38
Maza - Echevarría	0.59
Lischtvan - Lebediev	0.48
Laursen	0.82
Maza - García	1.19
Neill	0.78
Blench	1.11
<b>Promedio:</b>	<b>0.83</b>
<b>Se determina:</b>	<b>1.00</b>

Nota. Elaboración propia

**Figura 154:** Cálculo de profundidad de uña de enrocado de protección en Sección 0+700 en Microsoft Excel

CÁLCULO DE PROFUNDIDAD DE UÑA - SECCIÓN 0+700		
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.	
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva	
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera	
Profundidad de Uña Defensa Ribereña $P_u = FS * H_s$		
Profundidad de socavación $H_s$	Factor de Seguridad FS	Prof. De uña (m)
1.00	1.10	1.1

Nota. Elaboración propia

**Figura 155:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+700 en Microsoft Excel. Parte 01

CÁLCULO DE DIÁMETRO DE ROCA DE ENROCADO PARA PROTECCIÓN RIBEREÑA - SECCIÓN 0+700	
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera
Brown & Clyde - Extraído de: Brown, S. A., & Clyde, E. S. (1989). "Design of Riprap Revetment. Final Report HEC-11".	
$D_{50} = \frac{0.00594 * V^3}{y^{0.5} * K1^{1.5}}$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
1.27	
Maynard - Extraído de: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2012). "Manual de Hidráulica, Hidrología y Drenaje".	
$D_{50} = C1 * (y * Fr^3)$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
2.94	
Maynard et al - Extraído de: Maynard et al (1989). "Riprap Design".	
$D_{30} = y * FS * 0.3 * \left( \left( \frac{\gamma a}{\gamma r - \gamma a} \right)^{0.5} * \frac{V}{\sqrt{gy}} \right)^{2.5}$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
1.29	
USACE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	
$D_{30} = FS * Ce * Cv * Ct * y \left( \left( \frac{\gamma a}{\gamma r - \gamma a} \right)^{0.5} * \frac{V}{\sqrt{K1gy}} \right)^{2.5}$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
1.80	

Nota. Elaboración propia

**Figura 156:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+700 en Microsoft Excel. Parte 02

<p>Isbash - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = \frac{V^2}{2gT^2 * (Gs - 1)}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1.68
<p>USBR - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = 0.0122 * V^{2.06}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1.94
<p>ASCE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = \left( \frac{6W}{\pi * \gamma r} \right)^{1/3} ; W = \frac{0.000041 * Gs * V^6}{(Gs - 1)^3 * \cos^3(\theta)}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.97
<p>Abt &amp; Johnson - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = 5.23 * S^{0.43} * q^{0.56}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.21

Nota. Elaboración propia

**Figura 157:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+700 en Microsoft Excel. Parte 03

Anderson et al (NCHRP Report 108) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".
$D_{50} = \frac{\gamma * R * S}{4}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.33
Blaisdell (Tillatoba model study) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".
$D_{50} = 0.00116 * \frac{V^3}{\gamma^{0.5}}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1.00
CALTRANS (California Department of Transportation) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".
$D_{50} = \left( \frac{6W}{\pi * \gamma r} \right)^{1/3} ; \quad W = \frac{0.00002}{(Gs - 1)^3} * \frac{0.67 * V^6 * Gs}{sen^3(r - a)}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1.89

Nota. Elaboración propia



**Figura 158:** Resumen de cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+700 en Microsoft Excel

Resumen		
Método	D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
1	Brown & Clyde - Extraído de: Brown, S. A., & Clyde, E. S. (1989). "Design of Riprap Revetment. Final Report HEC-11".	1.27
2	Maynord - Extraído de: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2012). "Manual de Hidráulica, Hidrología y Drenaje".	2.94
3	Maynord et al - Extraído de: Maynord et al (1989). "Riprap Design".	1.29
4	USACE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	1.80
5	Isbash - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	1.68
6	USBR - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	1.94
7	ASCE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	0.97
8	Abt & Johnson - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	0.21
9	Anderson et al (NCHRP Report 108) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".	0.33
10	Blaisdell (Tillatoba model study) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".	1.00
11	CALTRANS (California Department of Transportation) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".	1.89
Promedio:		1.40
Media Armónica:		0.80
Se determina:		1.20

Nota. Elaboración propia

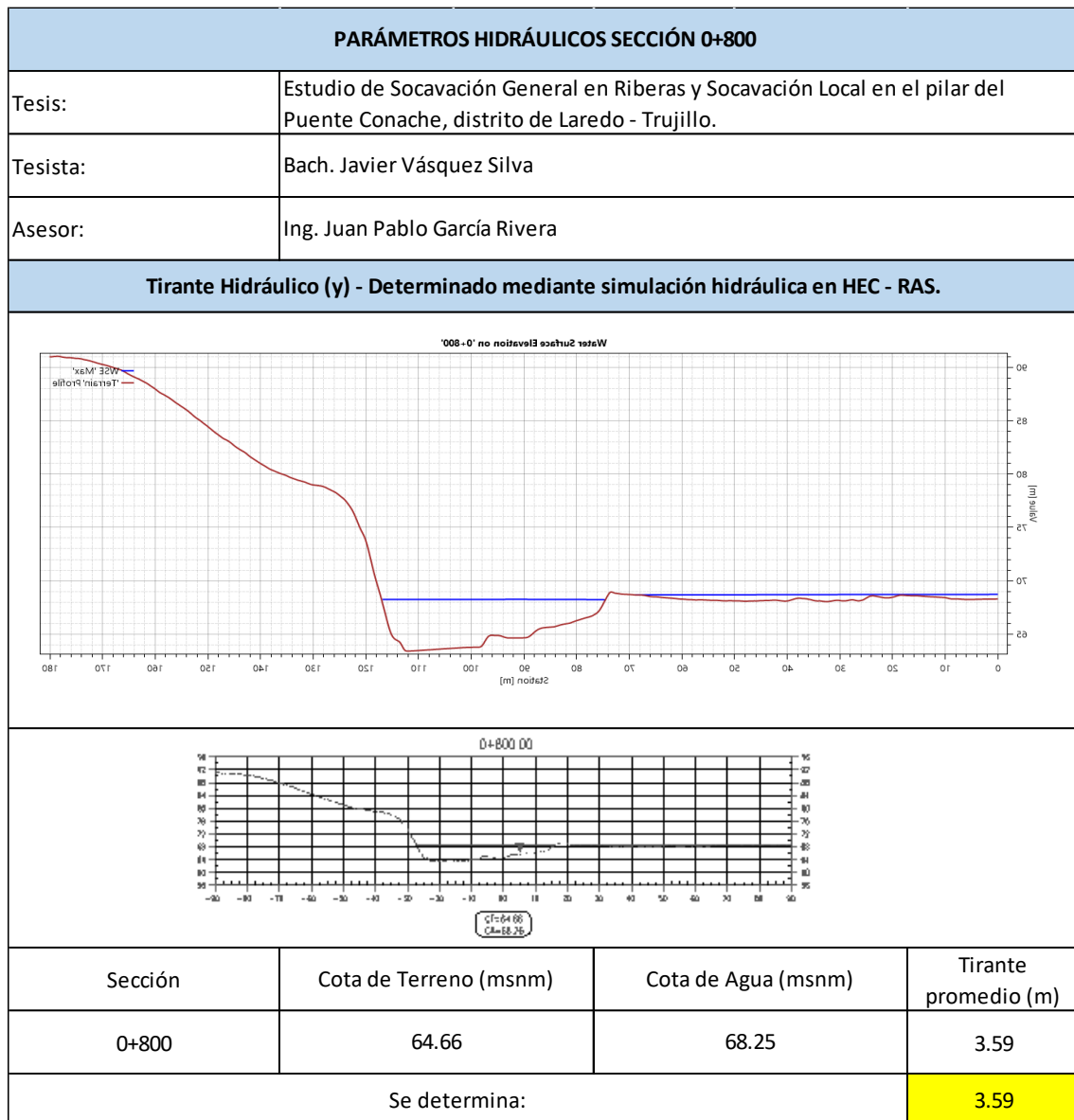
✓ **Sección 0+800:**

**Figura 159:** *Datos Iniciales de los parámetros topográficos y geotécnicos de la Sección 0+800 en Microsoft Excel*

DATOS INICIALES - SECCIÓN 0+800				
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.			
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva			
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera			
Caudal de Diseño	Ancho Natural de Cauce (m)	Pendiente "S" (m/m)	Periodo de Retorno T (años)	Condición de lecho
1253.13	120	0.0072	500	Dunas medianas
Análisis de Sedimentos del lecho				
d50 (mm)	d80 (mm)	d85 (mm)	d95 (mm)	$\gamma_s$ (ton/m <sup>3</sup> )
30.57	56.18	59.47	65.56	1.65

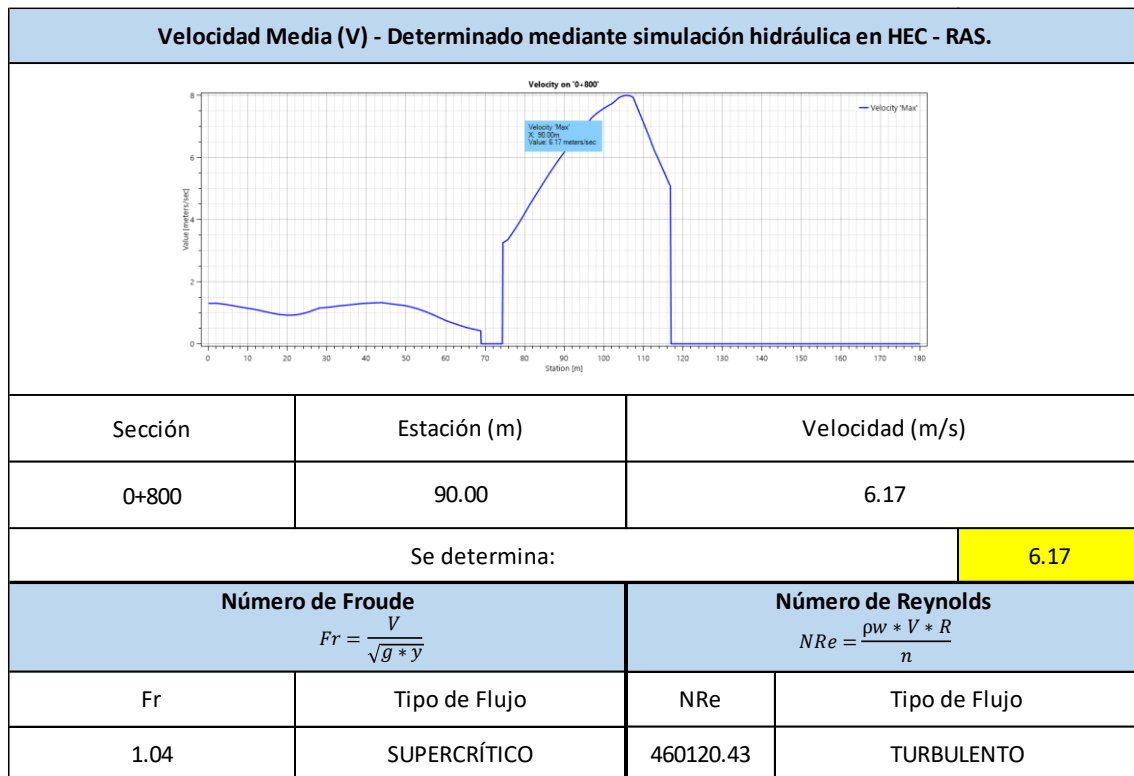
*Nota.* Elaboración propia

**Figura 160:** *Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+800 en Microsoft Excel. Parte 01*



*Nota.* Elaboración propia

**Figura 161:** *Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+800 en Microsoft Excel. Parte 02*



*Nota.* Elaboración propia

**Figura 162:** Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+800 en Microsoft Excel. Parte 01

TABLAS PARA CÁLCULO DE SOCAVACIÓN GENERAL - SECCIÓN 0+800													
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.												
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva												
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera												
Datos Iniciales													
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Ancho de cauce	Tirante Hidráulico (m)	Velocidad Media (m/s)	N° de Froude	Tipo de Flujo	Descarga Unitaria (m <sup>2</sup> /s)	d50 suelo (mm)	PE suelo (ton/m <sup>3</sup> )					
1253.13	120.00	3.59	6.17	1.04	SUPERCRÍTICO	10.45	30.57	1.65					
Tablas para cálculo de Socavación General (Método Lischtvan - Lebediev) - Extraído de: Pérez et al (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia"													
Tabla N° 1 - Coeficiente de contracción "μ". Método de Lischtvan - Lebediev													
Velocidad media en la sección	Ancho de cauce en metros												
	10	13	16	18	21	25	30	42	52	63	106	124	200
< 1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.5	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
2	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
2.5	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
3	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.5	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.94	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
> 4.00	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.93	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99
Ancho de cauce (m):	→		120										
Velocidad media (m/s):	→		6.17										
Interpolación de datos:													
		106	120	124									
		#N/D		#N/D									
	6.17	#N/D	#N/D	#N/D									
		#N/D		#N/D									
Entonces:		μ =	0.99										
Por lo que:		α =	1.25										

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 163:** Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+800 en Microsoft Excel. Parte 02

Tabla N°2 - Valores del coeficiente "β"		Tabla N°3 - Valores de "X" y "1/(1+X)" para suelos cohesivos y no cohesivos. Método de Lischtvan - Lebediev							
Periodo de retorno (Tr) en años	(β)	Suelos cohesivos			Suelos no cohesivos			Valores para el estudio	
		γs (ton/m³)	x	$\frac{1}{1+X}$	Dm (mm)	x	$\frac{1}{1+X}$	x	$\frac{1}{1+X}$
1	0.77	0.80	0.52	0.66	0.05	0.43	0.70		
2	0.82	0.82	0.51	0.66	0.15	0.42	0.70		
5	0.86	0.86	0.50	0.67	0.50	0.41	0.71		
10	0.90	0.88	0.49	0.67	1.00	0.40	0.71		
20	0.94	0.90	0.48	0.67	1.50	0.39	0.72		
50	0.97	0.93	0.47	0.68	2.50	0.38	0.72		
100	1.00	0.96	0.46	0.68	4	0.37	0.73		
500	1.05	0.98	0.45	0.69	6	0.36	0.74		
1000	1.07	1.00	0.44	0.69	8	0.35	0.74		
		1.04	0.43	0.70	10	0.34	0.75		
		1.08	0.42	0.70	15	0.33	0.75		
		1.12	0.41	0.71	20	0.32	0.76		
		1.16	0.40	0.71	25	0.31	0.76	0.306	0.76
		1.20	0.39	0.72	40	0.30	0.77		
		1.24	0.38	0.72	60	0.29	0.78		
		1.28	0.37	0.73	90	0.28	0.78		
		1.34	0.36	0.74	140	0.27	0.79		
		1.40	0.35	0.74	190	0.26	0.79		
		1.46	0.34	0.75	250	0.25	0.80		
		1.52	0.33	0.75	310	0.24	0.81		
		1.58	0.32	0.76	370	0.23	0.81		
		1.64	0.31	0.76	450	0.22	0.83		
		1.71	0.30	0.77	570	0.21	0.83		
		1.80	0.29	0.78	750	0.20	0.83		
		1.89	0.28	0.78	1000	0.19	0.84		
		2.00	0.27	0.79					

Tr = 500  
β = 1.05

D50 de suelo (mm): 30.57

X >>> 0.306

1/(1+X) >>> 0.76

Nota. Elaboración propia

**Figura 164:** Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+800 en Microsoft Excel. Parte 03

Tabla N°4 - Clasificación según tamaño de partículas					
Tamaño (mm)			Tipo de material	Tipo de material del estudio	
4000	-	2000	Canto rodado muy grande		
2000	-	1000	Canto rodado grande		
1000	-	500	Canto rodado medio		
500	-	250	Canto rodado pequeño		
250	-	130	Cascajo grande		
130	-	64	Cascajo pequeño		
64	-	32	Grava muy grueso		
32	-	16	Grava gruesa	←	Grava gruesa
16	-	8	Grava media		
8	-	4	Grava fina		
4	-	2	Grava muy fina		
2	-	1	Arena muy gruesa		
1	-	0.5	Arena gruesa		
0.5	-	0.25	Arena media		
0.25	-	0.125	Arena fina		
0.125	-	0.062	Arena muy fina		
0.062	-	0.031	Limo grueso		
0.031	-	0.016	Limo medio		
0.016	-	0.008	Limo fino		
0.008	-	0.004	Limo muy fino		
0.004	-	0.002	Arcilla gruesa		
0.002	-	0.001	Arcilla media		
0.001	-	0.0005	Arcilla fina		
0.0005	-	0.00024	Arcilla muy fina		
D50 de suelo (mm): <input type="text" value="30.57"/> >>> <input type="text" value="Grava gruesa"/> <input type="text" value="Material:"/> >>> <input type="text" value="Granular (No cohesivo)"/>					

Nota. Elaboración propia

**Figura 165:** Cálculo de socavación general en Sección 0+800 en Microsoft Excel

CÁLCULO DE SOCAVACIÓN GENERAL - SECCIÓN 0+800					
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.				
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva				
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera				
Socavación General (Lischtvan - Lebediev) - Extraído de: Pérez et al, (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia".					
Para Suelos Cohesivos			Para Suelos granulares (no cohesivos)		
$Y_s = \left( \frac{\alpha * \gamma^{5/3}}{0.60 * \gamma^{1.18} * \beta} \right)^{\frac{1}{1+X}}$			$Y_s = \left( \frac{\alpha * \gamma^{5/3}}{0.68 * d_{50}^{0.28} * \beta} \right)^{\frac{1}{1+X}}$		
Tirante de socavación por Contracción Ys (m)					
3.73					
Profundidad de Socavación - Hs (m)					
0.14					
Ecuación Reducida para Socavación General - Extraído de: Barbosa Gil, S. (2013). "Metodología para Calcular la Profundidad de Socavación General en Ríos de Montaña (Lecho de Gravas)".					
$Y_s = k * \left( \frac{q^\omega}{d_{50}^\eta} \right)$					
Método (Adaptado por Barbosa Gil)	k	ω	η	Ys	Prof. de Socavación General Hs (m)
Maza - Echevarría	0.365	0.784	0.157	3.97	0.38
Lischtvan - Lebediev	0.310	0.758	0.212	3.84	0.25
Laursen	0.210	0.857	0.285	4.24	0.65
Maza - García	0.209	0.870	0.304	4.64	1.05
Neill	0.320	0.798	0.2	4.18	0.59
Blench	0.692	0.667	0.087	4.48	0.89

Nota. Elaboración propia



**Figura 166:** Resumen del cálculo de socavación general en Sección 0+800 en Microsoft Excel

Resumen	
Método	Hs (m)
Socavación General (Lischtvan - Lebediev) - Extraído de: Pérez et al, (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia".	0.14
Maza - Echevarría	0.38
Lischtvan - Lebediev	0.25
Laursen	0.65
Maza - García	1.05
Neill	0.59
Blench	0.89
<b>Promedio:</b>	<b>0.63</b>
<b>Se determina:</b>	<b>0.80</b>

Nota. Elaboración propia

**Figura 167:** Cálculo de profundidad de uña de enrocado de protección en Sección 0+800 en Microsoft Excel

CÁLCULO DE PROFUNDIDAD DE UÑA - SECCIÓN 0+800		
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.	
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva	
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera	
Profundidad de Uña Defensa Ribereña $P_u = FS * H_s$		
Profundidad de socavación $H_s$	Factor de Seguridad FS	Prof. De uña (m)
0.80	1.10	0.9

Nota. Elaboración propia

**Figura 168:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+800 en Microsoft Excel. Parte 01

CÁLCULO DE DIÁMETRO DE ROCA DE ENROCADO PARA PROTECCIÓN RIBEREÑA - SECCIÓN 0+800	
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera
Brown & Clyde - Extraído de: Brown, S. A., & Clyde, E. S. (1989). "Design of Riprap Revetment. Final Report HEC-11".	
$D_{50} = \frac{0.00594 * V^3}{y^{0.5} * K1^{1.5}}$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
1.09	
Maynard - Extraído de: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2012). "Manual de Hidráulica, Hidrología y Drenaje".	
$D_{50} = C1 * (y * Fr^3)$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
2.52	
Maynard et al - Extraído de: Maynard et al (1989). "Riprap Design".	
$D_{30} = y * FS * 0.3 * \left( \left( \frac{\gamma a}{\gamma r - \gamma a} \right)^{0.5} * \frac{V}{\sqrt{gy}} \right)^{2.5}$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
1.17	
USACE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	
$D_{30} = FS * Ce * Cv * Ct * y \left( \left( \frac{\gamma a}{\gamma r - \gamma a} \right)^{0.5} * \frac{V}{\sqrt{K1gy}} \right)^{2.5}$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
1.63	

Nota. Elaboración propia

**Figura 169:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+800 en Microsoft Excel. Parte 02

<p>Isbash - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = \frac{V^2}{2gT^2 * (Gs - 1)}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1.59
<p>USBR - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = 0.0122 * V^{2.06}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1.82
<p>ASCE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = \left( \frac{6W}{\pi * \gamma r} \right)^{1/3} ; W = \frac{0.000041 * Gs * V^6}{(Gs - 1)^3 * \cos^3(\theta)}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.91
<p>Abt &amp; Johnson - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = 5.23 * S^{0.43} * q^{0.56}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.22

Nota. Elaboración propia

**Figura 170:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+800 en Microsoft Excel. Parte 03

Anderson et al (NCHRP Report 108) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".
$D_{50} = \frac{\gamma * R * S}{4}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.38
Blaisdell (Tillatoba model study) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".
$D_{50} = 0.00116 * \frac{V^3}{\gamma^{0.5}}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.85
CALTRANS (California Department of Transportation) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".
$D_{50} = \left( \frac{6W}{\pi * \gamma r} \right)^{1/3} ; \quad W = \frac{0.00002}{(Gs - 1)^3} * \frac{0.67 * V^6 * Gs}{sen^3(r - a)}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1.78

Nota. Elaboración propia

**Figura 171:** Resumen de cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+800 en Microsoft Excel

Resumen		
	Método	D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1	Brown & Clyde - Extraído de: Brown, S. A., & Clyde, E. S. (1989). "Design of Riprap Revetment. Final Report HEC-11".	1.09
2	Maynord - Extraído de: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2012). "Manual de Hidráulica, Hidrología y Drenaje".	2.52
3	Maynord et al - Extraído de: Maynord et al (1989). "Riprap Design".	1.17
4	USACE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	1.63
5	Isbash - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	1.59
6	USBR - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	1.82
7	ASCE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	0.91
8	Abt & Johnson - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	0.22
9	Anderson et al (NCHRP Report 108) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".	0.38
10	Blaisdell (Tillatoba model study) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".	0.85
11	CALTRANS (California Department of Transportation) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".	1.78
Promedio:		1.30
Media Armónica:		0.79
Se determina:		1.00

Nota. Elaboración propia

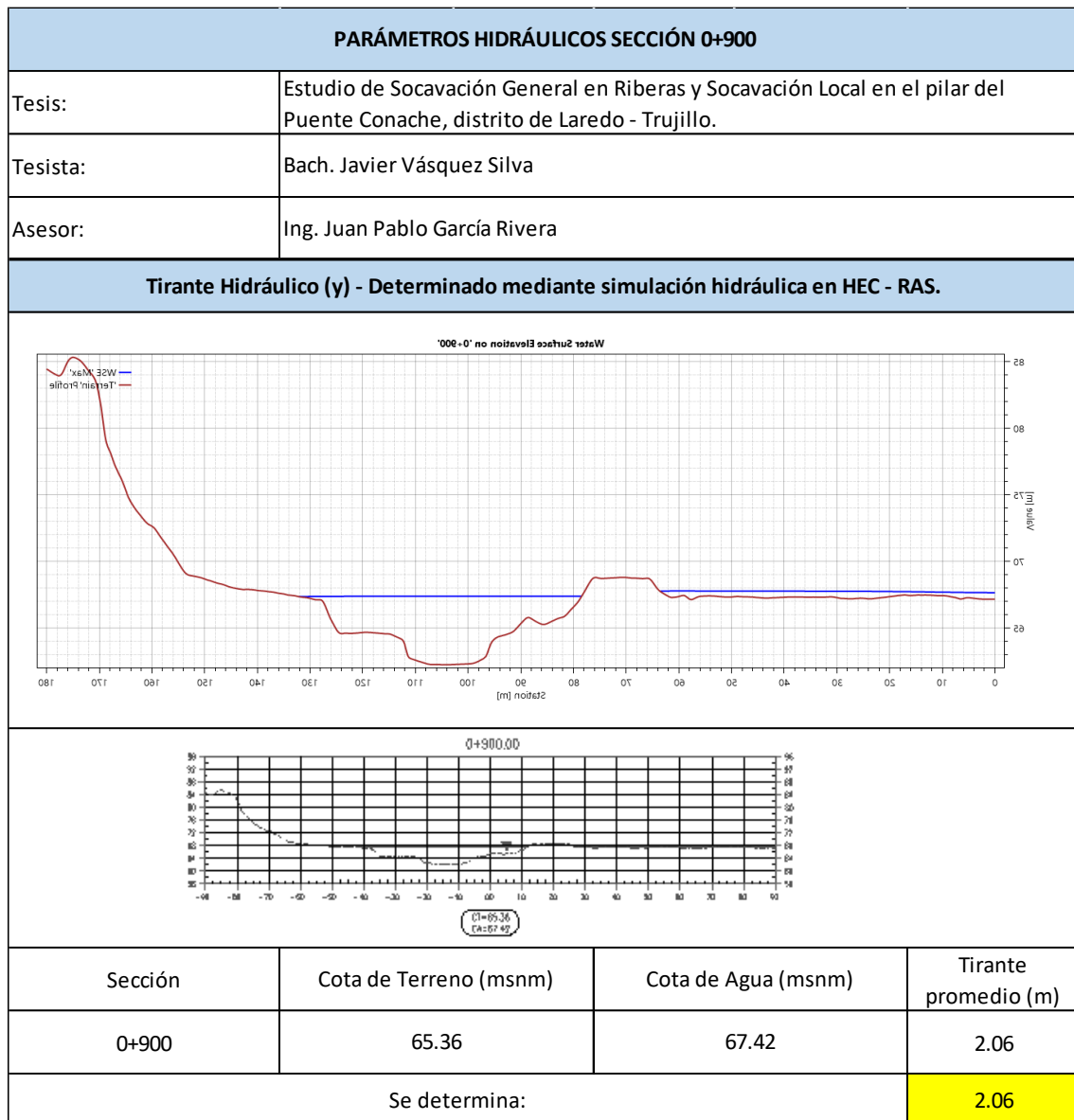
✓ **Sección 0+900:**

**Figura 172:** *Datos Iniciales de los parámetros topográficos y geotécnicos de la Sección 0+900 en Microsoft Excel*

DATOS INICIALES - SECCIÓN 0+900				
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.			
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva			
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera			
Caudal de Diseño	Ancho Natural de Cauce (m)	Pendiente "S" (m/m)	Periodo de Retorno T (años)	Condición de lecho
1253.13	135	0.0072	500	Dunas medianas
Análisis de Sedimentos del lecho				
d50 (mm)	d80 (mm)	d85 (mm)	d95 (mm)	$\gamma_s$ (ton/m <sup>3</sup> )
30.57	56.18	59.47	65.56	1.65

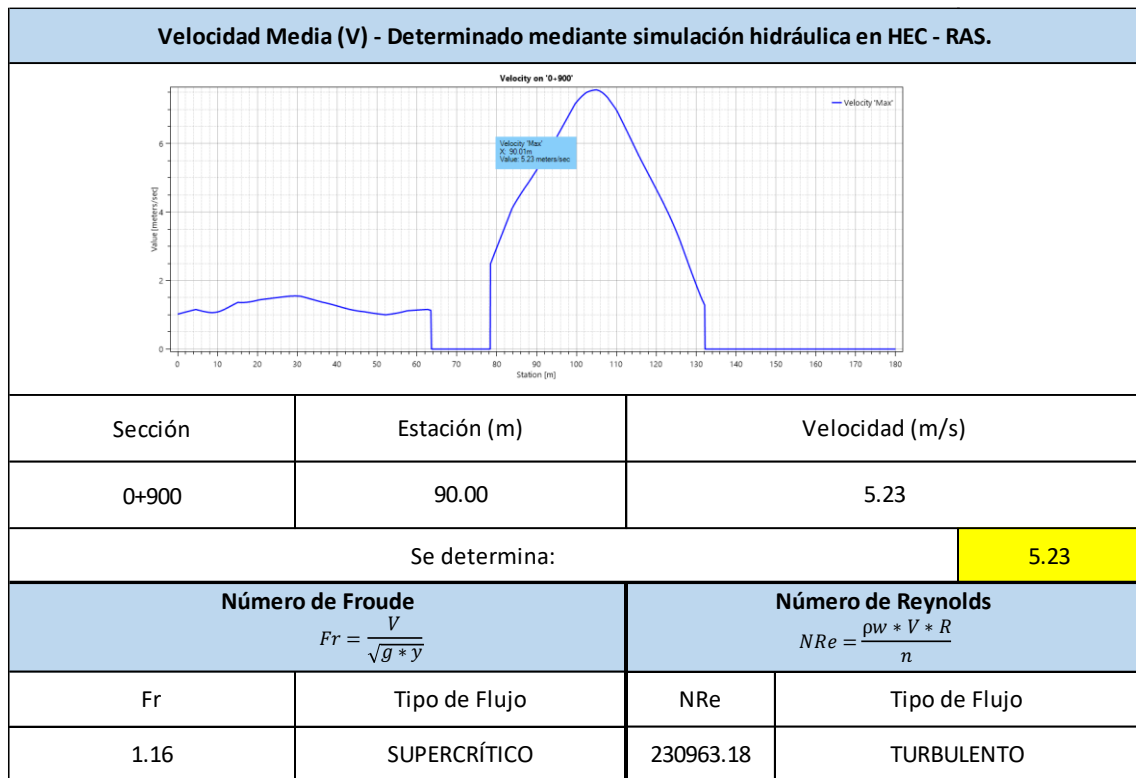
*Nota.* Elaboración propia

**Figura 173:** *Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+900 en Microsoft Excel. Parte 01*



*Nota.* Elaboración propia

**Figura 174:** *Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 0+900 en Microsoft Excel. Parte 02*



Nota. Elaboración propia



**Figura 175:** Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+900 en Microsoft Excel. Parte 01

TABLAS PARA CÁLCULO DE SOCAVACIÓN GENERAL - SECCIÓN 0+900													
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.												
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva												
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera												
Datos Iniciales													
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Ancho de cauce	Tirante Hidráulico (m)	Velocidad Media (m/s)	N° de Froude	Tipo de Flujo	Descarga Unitaria (m <sup>2</sup> /s)	d50 suelo (mm)	PE suelo (ton/m <sup>3</sup> )					
1253.13	135.00	2.06	5.23	1.16	SUPERCRÍTICO	9.29	30.57	1.65					
Tablas para cálculo de Socavación General (Método Lischtván - Lebediev) - Extraído de: Pérez et al (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia"													
Tabla N° 1 - Coeficiente de contracción "μ". Método de Lischtván - Lebediev													
Velocidad media en la sección	Ancho de cauce en metros												
	10	13	16	18	21	25	30	42	52	63	106	124	200
< 1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.5	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
2	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
2.5	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
3	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.5	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.94	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
> 4.00	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.93	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99
Ancho de cauce (m):	→		135										
Velocidad media (m/s):	→		5.23										
Interpolación de datos:													
		124	135	200									
		#N/D		#N/D									
	5.23	#N/D	#N/D	#N/D									
		#N/D		#N/D									
Entonces:	μ =		0.99										
Por lo que:	α =		2.81										

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 176:** Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+900 en Microsoft Excel. Parte 02

Tabla N°2 - Valores del coeficiente "β"		Tabla N°3 - Valores de "X" y "1/(1+X)" para suelos cohesivos y no cohesivos. Método de Lischtvan - Lebediev							
Periodo de retorno (Tr) en años	(β)	Suelos cohesivos			Suelos no cohesivos			Valores para el estudio	
		γs (ton/m³)	x	$\frac{1}{1+X}$	Dm (mm)	x	$\frac{1}{1+X}$	x	$\frac{1}{1+X}$
1	0.77	0.80	0.52	0.66	0.05	0.43	0.70		
2	0.82	0.82	0.51	0.66	0.15	0.42	0.70		
5	0.86	0.86	0.50	0.67	0.50	0.41	0.71		
10	0.90	0.88	0.49	0.67	1.00	0.40	0.71		
20	0.94	0.90	0.48	0.67	1.50	0.39	0.72		
50	0.97	0.93	0.47	0.68	2.50	0.38	0.72		
100	1.00	0.96	0.46	0.68	4	0.37	0.73		
500	1.05	0.98	0.45	0.69	6	0.36	0.74		
1000	1.07	1.00	0.44	0.69	8	0.35	0.74		
		1.04	0.43	0.70	10	0.34	0.75		
		1.08	0.42	0.70	15	0.33	0.75		
		1.12	0.41	0.71	20	0.32	0.76		
		1.16	0.40	0.71	25	0.31	0.76	0.306	0.76
		1.20	0.39	0.72	40	0.30	0.77		
		1.24	0.38	0.72	60	0.29	0.78		
		1.28	0.37	0.73	90	0.28	0.78		
		1.34	0.36	0.74	140	0.27	0.79		
		1.40	0.35	0.74	190	0.26	0.79		
		1.46	0.34	0.75	250	0.25	0.80		
		1.52	0.33	0.75	310	0.24	0.81		
		1.58	0.32	0.76	370	0.23	0.81		
		1.64	0.31	0.76	450	0.22	0.83		
		1.71	0.30	0.77	570	0.21	0.83		
		1.80	0.29	0.78	750	0.20	0.83		
		1.89	0.28	0.78	1000	0.19	0.84		
		2.00	0.27	0.79					

Tr = 500  
β = 1.05

D50 de suelo (mm): 30.57

X >>> 0.306

1/(1+X) >>> 0.76

Nota. Elaboración propia

**Figura 177:** Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 0+900 en Microsoft Excel. Parte 03

Tabla N°4 - Clasificación según tamaño de partículas					
Tamaño (mm)			Tipo de material	Tipo de material del estudio	
4000	-	2000	Canto rodado muy grande		
2000	-	1000	Canto rodado grande		
1000	-	500	Canto rodado medio		
500	-	250	Canto rodado pequeño		
250	-	130	Cascajo grande		
130	-	64	Cascajo pequeño		
64	-	32	Grava muy grueso		
32	-	16	Grava gruesa	←	Grava gruesa
16	-	8	Grava media		
8	-	4	Grava fina		
4	-	2	Grava muy fina		
2	-	1	Arena muy gruesa		
1	-	0.5	Arena gruesa		
0.5	-	0.25	Arena media		
0.25	-	0.125	Arena fina		
0.125	-	0.062	Arena muy fina		
0.062	-	0.031	Limo grueso		
0.031	-	0.016	Limo medio		
0.016	-	0.008	Limo fino		
0.008	-	0.004	Limo muy fino		
0.004	-	0.002	Arcilla gruesa		
0.002	-	0.001	Arcilla media		
0.001	-	0.0005	Arcilla fina		
0.0005	-	0.00024	Arcilla muy fina		
D50 de suelo (mm): <input type="text" value="30.57"/> >>> <input type="text" value="Grava gruesa"/> <input type="text" value="Material:"/> >>> <input type="text" value="Granular (No cohesivo)"/>					

Nota. Elaboración propia

**Figura 178:** Cálculo de socavación general en Sección 0+900 en Microsoft Excel

CÁLCULO DE SOCAVACIÓN GENERAL - SECCIÓN 0+900					
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.				
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva				
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera				
Socavación General (Lischtvan - Lebediev) - Extraído de: Pérez et al, (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia".					
Para Suelos Cohesivos			Para Suelos granulares (no cohesivos)		
$Y_s = \left( \frac{\alpha * \gamma^{5/3}}{0.60 * \gamma^{1.18} * \beta} \right)^{\frac{1}{1+X}}$			$Y_s = \left( \frac{\alpha * \gamma^{5/3}}{0.68 * d_{50}^{0.28} * \beta} \right)^{\frac{1}{1+X}}$		
Tirante de socavación por Contracción Ys (m)					
3.42					
Profundidad de Socavación - Hs (m)					
1.36					
Ecuación Reducida para Socavación General - Extraído de: Barbosa Gil, S. (2013). "Metodología para Calcular la Profundidad de Socavación General en Ríos de Montaña (Lecho de Gravas)".					
$Y_s = k * \left( \frac{q^\omega}{d_{50}^\eta} \right)$					
Método (Adaptado por Barbosa Gil)	k	ω	η	Ys	Prof. de Socavación General Hs (m)
Maza - Echevarría	0.365	0.784	0.157	3.62	1.56
Lischtvan - Lebediev	0.310	0.758	0.212	3.52	1.46
Laursen	0.210	0.857	0.285	3.83	1.77
Maza - García	0.209	0.870	0.304	4.19	2.13
Neill	0.320	0.798	0.2	3.8	1.74
Blench	0.692	0.667	0.087	4.14	2.08

Nota. Elaboración propia

**Figura 179:** Resumen del cálculo de socavación general en Sección 0+900 en Microsoft Excel

Resumen	
Método	Hs (m)
Socavación General (Lischtvan - Lebediev) - Extraído de: Pérez et al, (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia".	1.36
Maza - Echevarría	1.56
Lischtvan - Lebediev	1.46
Laursen	1.77
Maza - García	2.13
Neill	1.74
Blench	2.08
<b>Promedio:</b>	<b>1.79</b>
<b>Se determina:</b>	<b>1.80</b>

Nota. Elaboración propia

**Figura 180:** Cálculo de profundidad de uña de enrocado de protección en Sección 0+900 en Microsoft Excel

CÁLCULO DE PROFUNDIDAD DE UÑA - SECCIÓN 0+900		
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.	
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva	
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera	
Profundidad de Uña Defensa Ribereña $P_u = FS * H_s$		
Profundidad de socavación $H_s$	Factor de Seguridad FS	Prof. De uña (m)
1.80	1.10	2

Nota. Elaboración propia

**Figura 181:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+900 en Microsoft Excel. Parte 01

CÁLCULO DE DIÁMETRO DE ROCA DE ENROCADO PARA PROTECCIÓN RIBEREÑA - SECCIÓN 0+900	
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera
Brown & Clyde - Extraído de: Brown, S. A., & Clyde, E. S. (1989). "Design of Riprap Revetment. Final Report HEC-11".	
$D_{50} = \frac{0.00594 * V^3}{y^{0.5} * K1^{1.5}}$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
0.88	
Maynord - Extraído de: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2012). "Manual de Hidráulica, Hidrología y Drenaje".	
$D_{50} = C1 * (y * Fr^3)$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
2.03	
Maynord et al - Extraído de: Maynord et al (1989). "Riprap Design".	
$D_{30} = y * FS * 0.3 * \left( \left( \frac{\gamma a}{\gamma r - \gamma a} \right)^{0.5} * \frac{V}{\sqrt{gy}} \right)^{2.5}$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
0.89	
USACE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	
$D_{30} = FS * Ce * Cv * Ct * y \left( \left( \frac{\gamma a}{\gamma r - \gamma a} \right)^{0.5} * \frac{V}{\sqrt{K1gy}} \right)^{2.5}$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
1.23	

Nota. Elaboración propia

**Figura 182:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+900 en Microsoft Excel. Parte 02

<p>Isbash - Extraído de: USACE (1991),  <i>"Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601"</i>.</p> $D_{50} = \frac{V^2}{2gT^2 * (Gs - 1)}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1.14
<p>USBR - Extraído de: USACE (1991),  <i>"Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601"</i>.</p> $D_{50} = 0.0122 * V^{2.06}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1.30
<p>ASCE - Extraído de: USACE (1991),  <i>"Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601"</i>.</p> $D_{50} = \left( \frac{6W}{\pi * \gamma r} \right)^{1/3} ; W = \frac{0.000041 * Gs * V^6}{(Gs - 1)^3 * \cos^3(\theta)}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.66
<p>Abt &amp; Johnson - Extraído de: USACE (1991),  <i>"Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601"</i>.</p> $D_{50} = 5.23 * S^{0.43} * q^{0.56}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.21

Nota. Elaboración propia

**Figura 183:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+900 en Microsoft Excel. Parte 03

Anderson et al (NCHRP Report 108) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".
$D_{50} = \frac{\gamma * R * S}{4}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.22
Blaisdell (Tillatoba model study) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".
$D_{50} = 0.00116 * \frac{V^3}{\gamma^{0.5}}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.69
CALTRANS (California Department of Transportation) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".
$D_{50} = \left( \frac{6W}{\pi * \gamma r} \right)^{1/3} ; \quad W = \frac{0.00002}{(Gs - 1)^3} * \frac{0.67 * V^6 * Gs}{sen^3(r - a)}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1.28

Nota. Elaboración propia



**Figura 184:** Resumen de cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 0+900 en Microsoft Excel

Resumen		
	Método	D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1	Brown & Clyde - Extraído de: Brown, S. A., & Clyde, E. S. (1989). "Design of Riprap Revetment. Final Report HEC-11".	0.88
2	Maynord - Extraído de: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2012). "Manual de Hidráulica, Hidrología y Drenaje".	2.03
3	Maynord et al - Extraído de: Maynord et al (1989). "Riprap Design".	0.89
4	USACE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	1.23
5	Isbash - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	1.14
6	USBR - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	1.30
7	ASCE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	0.66
8	Abt & Johnson - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	0.21
9	Anderson et al (NCHRP Report 108) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".	0.22
10	Blaisdell (Tillatoba model study) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".	0.69
11	CALTRANS (California Department of Transportation) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".	1.28
Promedio:		1.00
Media Armónica:		0.60
Se determina:		1.00

Nota. Elaboración propia

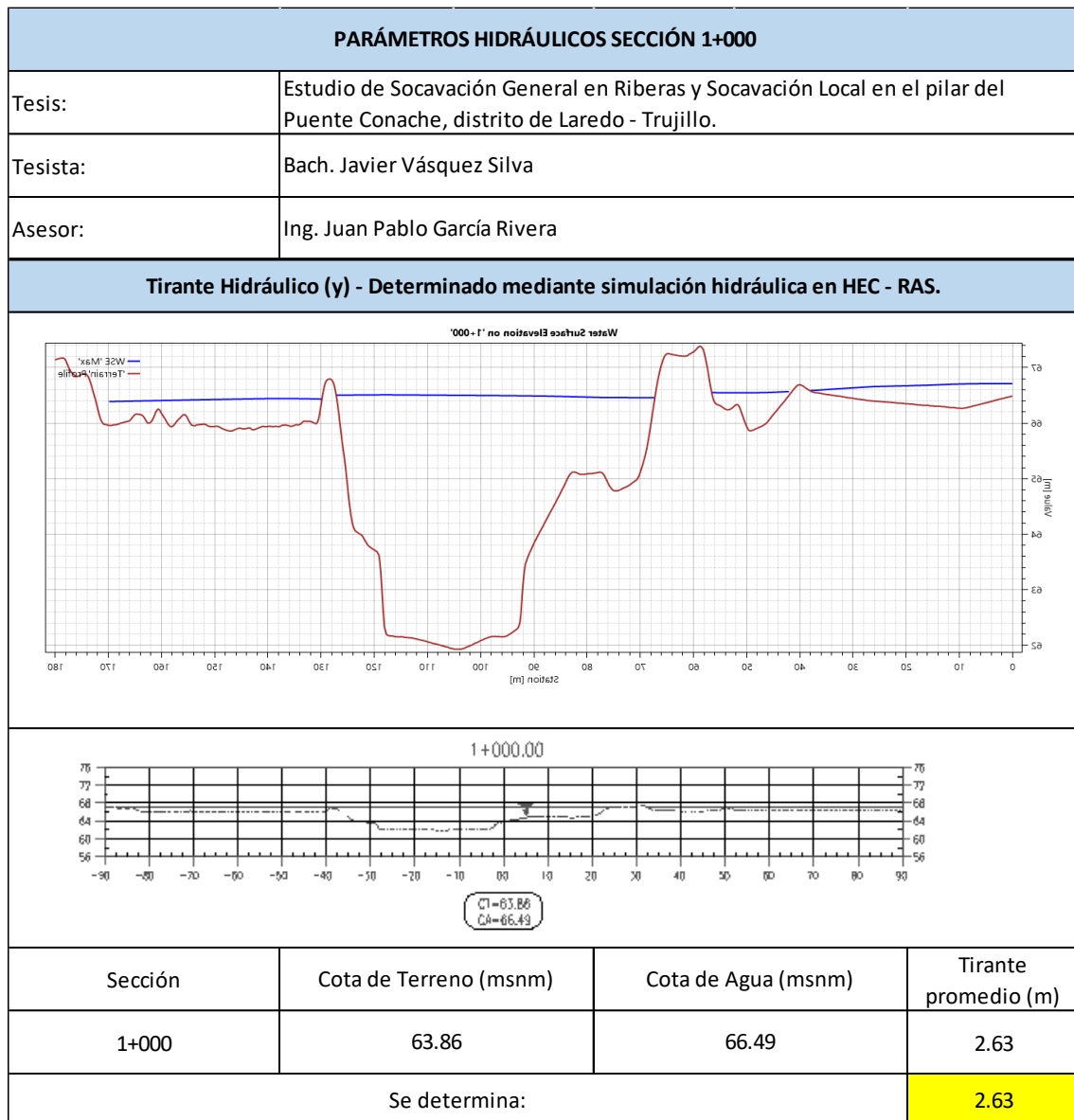
✓ **Sección 1+000:**

**Figura 185:** *Datos Iniciales de los parámetros topográficos y geotécnicos de la Sección 1+000 en Microsoft Excel*

DATOS INICIALES - SECCIÓN 1+000				
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.			
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva			
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera			
Caudal de Diseño	Ancho Natural de Cauce (m)	Pendiente "S" (m/m)	Periodo de Retorno T (años)	Condición de lecho
1253.13	180	0.0072	500	Dunas medianas
Análisis de Sedimentos del lecho				
d50 (mm)	d80 (mm)	d85 (mm)	d95 (mm)	$\gamma_s$ (ton/m <sup>3</sup> )
30.57	56.18	59.47	65.56	1.65

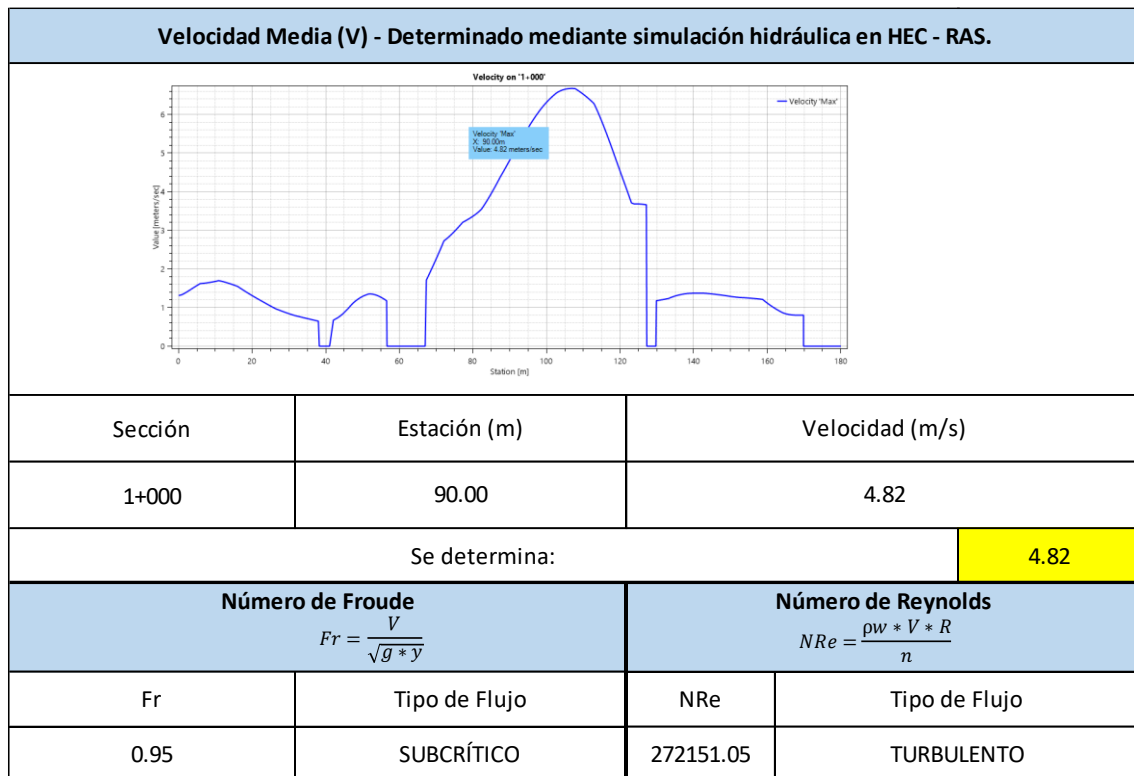
*Nota.* Elaboración propia

**Figura 186:** *Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 1+000 en Microsoft Excel. Parte 01*



*Nota.* Elaboración propia

**Figura 187:** Parámetros hidráulicos determinados mediante simulación hidráulica de la Sección 1+000 en Microsoft Excel. Parte 02



Nota. Elaboración propia

**Figura 188:** Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 1+000 en Microsoft Excel. Parte 01

TABLAS PARA CÁLCULO DE SOCAVACIÓN GENERAL - SECCIÓN 1+000													
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.												
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva												
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera												
Datos Iniciales													
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Ancho de cauce	Tirante Hidráulico (m)	Velocidad Media (m/s)	N° de Froude	Tipo de Flujo	Descarga Unitaria (m <sup>2</sup> /s)	d50 suelo (mm)	PE suelo (ton/m <sup>3</sup> )					
1253.13	180.00	2.63	4.82	0.95	SUBCRÍTICO	6.97	30.57	1.65					
Tablas para cálculo de Socavación General (Método Lischtván - Lebediev) - Extraído de: Pérez et al (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia"													
Tabla N° 1 - Coeficiente de contracción "μ". Método de Lischtván - Lebediev													
Velocidad media en la sección	Ancho de cauce en metros												
	10	13	16	18	21	25	30	42	52	63	106	124	200
< 1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.5	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
2	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
2.5	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
3	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.5	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.94	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
> 4.00	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.93	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99
Ancho de cauce (m):	→		180										
Velocidad media (m/s):	→		4.82										
Interpolación de datos:													
		124	180	200									
		#N/D		#N/D									
	4.82	#N/D	#N/D	#N/D									
		#N/D		#N/D									
Entonces:	μ =		0.99										
Por lo que:	α =		1.4										

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 189:** Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 1+000 en Microsoft Excel. Parte 02

Tabla N°2 - Valores del coeficiente "β"		Tabla N°3 - Valores de "X" y "1/(1+X)" para suelos cohesivos y no cohesivos. Método de Lischtvan - Lebediev							
Periodo de retorno (Tr) en años	(β)	Suelos cohesivos			Suelos no cohesivos			Valores para el estudio	
		γs (ton/m³)	x	$\frac{1}{1+X}$	Dm (mm)	x	$\frac{1}{1+X}$	x	$\frac{1}{1+X}$
1	0.77	0.80	0.52	0.66	0.05	0.43	0.70		
2	0.82	0.82	0.51	0.66	0.15	0.42	0.70		
5	0.86	0.86	0.50	0.67	0.50	0.41	0.71		
10	0.90	0.88	0.49	0.67	1.00	0.40	0.71		
20	0.94	0.90	0.48	0.67	1.50	0.39	0.72		
50	0.97	0.93	0.47	0.68	2.50	0.38	0.72		
100	1.00	0.96	0.46	0.68	4	0.37	0.73		
500	1.05	0.98	0.45	0.69	6	0.36	0.74		
1000	1.07	1.00	0.44	0.69	8	0.35	0.74		
		1.04	0.43	0.70	10	0.34	0.75		
		1.08	0.42	0.70	15	0.33	0.75		
		1.12	0.41	0.71	20	0.32	0.76		
		1.16	0.40	0.71	25	0.31	0.76	0.306	0.76
		1.20	0.39	0.72	40	0.30	0.77		
		1.24	0.38	0.72	60	0.29	0.78		
		1.28	0.37	0.73	90	0.28	0.78		
		1.34	0.36	0.74	140	0.27	0.79		
		1.40	0.35	0.74	190	0.26	0.79		
		1.46	0.34	0.75	250	0.25	0.80		
		1.52	0.33	0.75	310	0.24	0.81		
		1.58	0.32	0.76	370	0.23	0.81		
		1.64	0.31	0.76	450	0.22	0.83		
		1.71	0.30	0.77	570	0.21	0.83		
		1.80	0.29	0.78	750	0.20	0.83		
		1.89	0.28	0.78	1000	0.19	0.84		
		2.00	0.27	0.79					

Tr = 500  
β = 1.05

D50 de suelo (mm): 30.57

X >>> 0.306

1/(1+X) >>> 0.76

Nota. Elaboración propia

**Figura 190:** Tablas para cálculo de socavación general de la Sección 1+000 en Microsoft Excel. Parte 03

Tabla N°4 - Clasificación según tamaño de partículas					
Tamaño (mm)			Tipo de material	Tipo de material del estudio	
4000	-	2000	Canto rodado muy grande		
2000	-	1000	Canto rodado grande		
1000	-	500	Canto rodado medio		
500	-	250	Canto rodado pequeño		
250	-	130	Cascajo grande		
130	-	64	Cascajo pequeño		
64	-	32	Grava muy grueso		
32	-	16	Grava gruesa	←	Grava gruesa
16	-	8	Grava media		
8	-	4	Grava fina		
4	-	2	Grava muy fina		
2	-	1	Arena muy gruesa		
1	-	0.5	Arena gruesa		
0.5	-	0.25	Arena media		
0.25	-	0.125	Arena fina		
0.125	-	0.062	Arena muy fina		
0.062	-	0.031	Limo grueso		
0.031	-	0.016	Limo medio		
0.016	-	0.008	Limo fino		
0.008	-	0.004	Limo muy fino		
0.004	-	0.002	Arcilla gruesa		
0.002	-	0.001	Arcilla media		
0.001	-	0.0005	Arcilla fina		
0.0005	-	0.00024	Arcilla muy fina		
D50 de suelo (mm): <input type="text" value="30.57"/> >>> <input type="text" value="Grava gruesa"/> <input type="text" value="Material:"/> >>> <input type="text" value="Granular (No cohesivo)"/>					

Nota. Elaboración propia

**Figura 191:** Cálculo de socavación general en Sección 1+000 en Microsoft Excel

CÁLCULO DE SOCAVACIÓN GENERAL - SECCIÓN 1+000					
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.				
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva				
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera				
Socavación General (Lischtvan - Lebediev) - Extraído de: Pérez et al, (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia".					
Para Suelos Cohesivos			Para Suelos granulares (no cohesivos)		
$Y_s = \left( \frac{\alpha * \gamma^{5/3}}{0.60 * \gamma^{1.18} * \beta} \right)^{\frac{1}{1+X}}$			$Y_s = \left( \frac{\alpha * \gamma^{5/3}}{0.68 * d_{50}^{0.28} * \beta} \right)^{\frac{1}{1+X}}$		
Tirante de socavación por Contracción Ys (m)					
2.74					
Profundidad de Socavación - Hs (m)					
0.11					
Ecuación Reducida para Socavación General - Extraído de: Barbosa Gil, S. (2013). "Metodología para Calcular la Profundidad de Socavación General en Ríos de Montaña (Lecho de Gravas)".					
$Y_s = k * \left( \frac{q^\omega}{d_{50}^\eta} \right)$					
Método (Adaptado por Barbosa Gil)	k	ω	η	Ys	Prof. de Socavación General Hs (m)
Maza - Echevarría	0.365	0.784	0.157	2.89	0.26
Lischtvan - Lebediev	0.310	0.758	0.212	2.83	0.20
Laursen	0.210	0.857	0.285	2.99	0.36
Maza - García	0.209	0.870	0.304	3.26	0.63
Neill	0.320	0.798	0.2	3.02	0.39
Blench	0.692	0.667	0.087	3.42	0.79

Nota. Elaboración propia



**Figura 192:** Resumen del cálculo de socavación general en Sección 1+000 en Microsoft Excel

Resumen	
Método	Hs (m)
Socavación General (Lischtvan - Lebediev) - Extraído de: Pérez et al, (2018). "Ingeniería de Ríos: Apuntes de la materia".	0.11
Maza - Echevarría	0.26
Lischtvan - Lebediev	0.20
Laursen	0.36
Maza - García	0.63
Neill	0.39
Blench	0.79
<b>Promedio:</b>	<b>0.44</b>
<b>Se determina:</b>	<b>0.50</b>

Nota. Elaboración propia

**Figura 193:** Cálculo de profundidad de uña de enrocado de protección en Sección 1+000 en Microsoft Excel

CÁLCULO DE PROFUNDIDAD DE UÑA - SECCIÓN 1+000		
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.	
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva	
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera	
Profundidad de Uña Defensa Ribereña		
$P_u = FS * H_s$		
Profundidad de socavación $H_s$	Factor de Seguridad FS	Prof. De uña (m)
0.50	1.10	0.6

Nota. Elaboración propia

**Figura 194:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 1+000 en Microsoft Excel. Parte 01

CÁLCULO DE DIÁMETRO DE ROCA DE ENROCADO PARA PROTECCIÓN RIBEREÑA - SECCIÓN 1+000	
Tesis:	Estudio de Socavación General en Riberas y Socavación Local en el pilar del Puente Conache, distrito de Laredo - Trujillo.
Tesista:	Bach. Javier Vásquez Silva
Asesor:	Ing. Juan Pablo García Rivera
Brown & Clyde - Extraído de: Brown, S. A., & Clyde, E. S. (1989). "Design of Riprap Revetment. Final Report HEC-11".	
$D_{50} = \frac{0.00594 * V^3}{y^{0.5} * K1^{1.5}}$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
0.61	
Maynard - Extraído de: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2012). "Manual de Hidráulica, Hidrología y Drenaje".	
$D_{50} = C1 * (y * Fr^3)$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
1.40	
Maynard et al - Extraído de: Maynard et al (1989). "Riprap Design".	
$D_{30} = y * FS * 0.3 * \left( \left( \frac{\gamma a}{\gamma r - \gamma a} \right)^{0.5} * \frac{V}{\sqrt{gy}} \right)^{2.5}$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
0.69	
USACE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	
$D_{30} = FS * Ce * Cv * Ct * y \left( \left( \frac{\gamma a}{\gamma r - \gamma a} \right)^{0.5} * \frac{V}{\sqrt{K1gy}} \right)^{2.5}$	
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)	
0.95	

Nota. Elaboración propia

**Figura 195:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 1+000 en Microsoft Excel. Parte 02

<p>Isbash - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = \frac{V^2}{2gT^2 * (Gs - 1)}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.97
<p>USBR - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = 0.0122 * V^{2.06}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1.10
<p>ASCE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = \left( \frac{6W}{\pi * \gamma r} \right)^{1/3} ; W = \frac{0.000041 * Gs * V^6}{(Gs - 1)^3 * \cos^3(\theta)}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.56
<p>Abt &amp; Johnson - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".</p> $D_{50} = 5.23 * S^{0.43} * q^{0.56}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.18

Nota. Elaboración propia

**Figura 196:** Cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 1+000 en Microsoft Excel. Parte 03

Anderson et al (NCHRP Report 108) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".
$D_{50} = \frac{\gamma * R * S}{4}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.29
Blaisdell (Tillatoba model study) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".
$D_{50} = 0.00116 * \frac{V^3}{\gamma^{0.5}}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
0.48
CALTRANS (California Department of Transportation) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".
$D_{50} = \left( \frac{6W}{\pi * \gamma r} \right)^{1/3} ; \quad W = \frac{0.00002}{(Gs - 1)^3} * \frac{0.67 * V^6 * Gs}{sen^3(r - a)}$
D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1.09

Nota. Elaboración propia

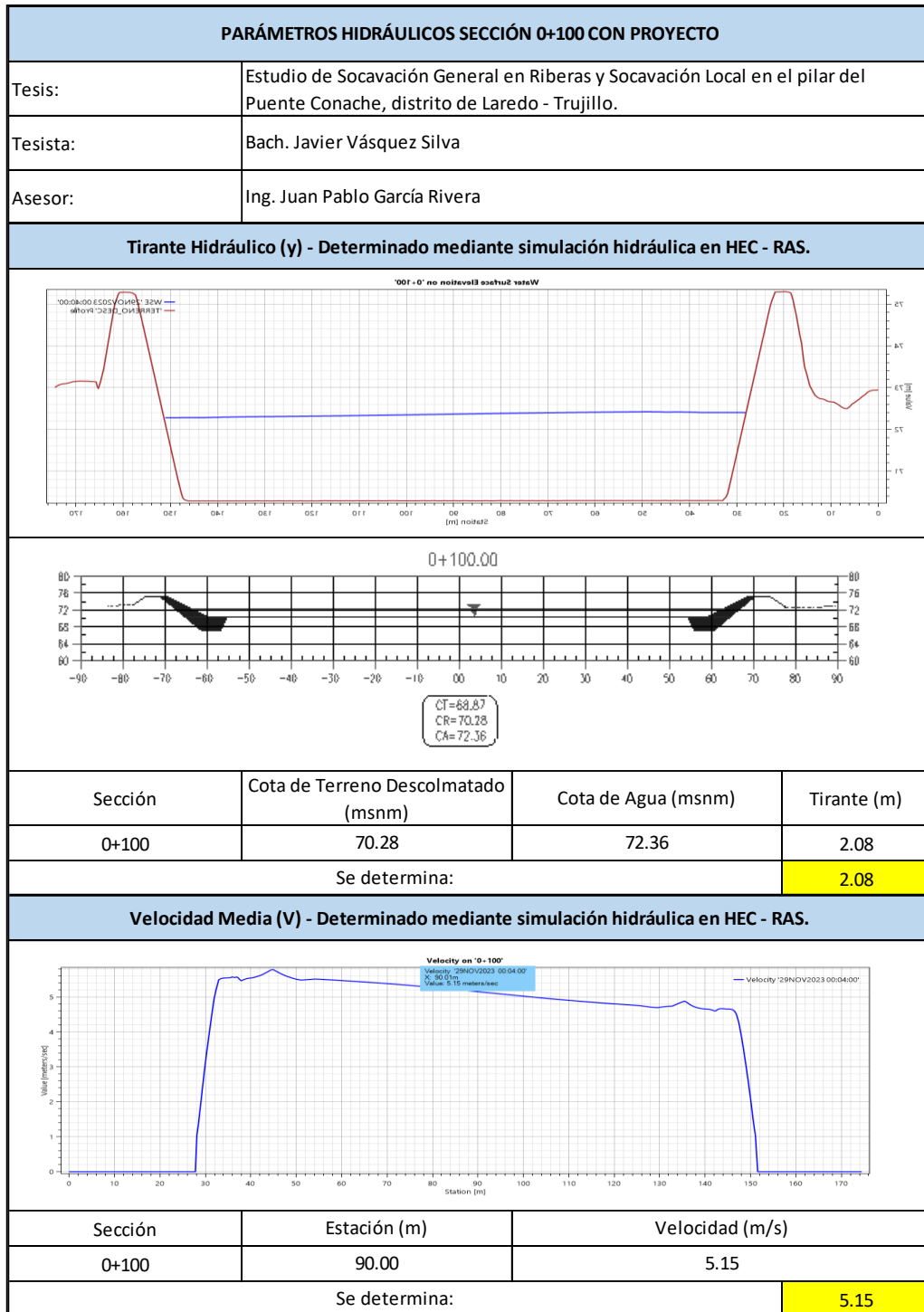
**Figura 197:** Resumen de cálculo de diámetro de roca para enrocado de protección en Sección 1+000 en Microsoft Excel

Resumen		
	Método	D <sub>50</sub> Enrocado Riberas (m)
1	Brown & Clyde - Extraído de: Brown, S. A., & Clyde, E. S. (1989). "Design of Riprap Revetment. Final Report HEC-11".	0.61
2	Maynord - Extraído de: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2012). "Manual de Hidráulica, Hidrología y Drenaje".	1.40
3	Maynord et al - Extraído de: Maynord et al (1989). "Riprap Design".	0.69
4	USACE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	0.95
5	Isbash - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	0.97
6	USBR - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	1.10
7	ASCE - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	0.56
8	Abt & Johnson - Extraído de: USACE (1991), "Riprap: Equation Selection and Rock Sizing. EM 1110-2-1601".	0.18
9	Anderson et al (NCHRP Report 108) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".	0.29
10	Blaisdell (Tillatoba model study) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".	0.48
11	CALTRANS (California Department of Transportation) - Extraído de: US Department of Agriculture (2007), "Stream Restoration Design: TS14C Stone Sizing Criteria".	1.09
Promedio:		0.80
Media Armónica:		0.53
Se determina:		0.70

Nota. Elaboración propia

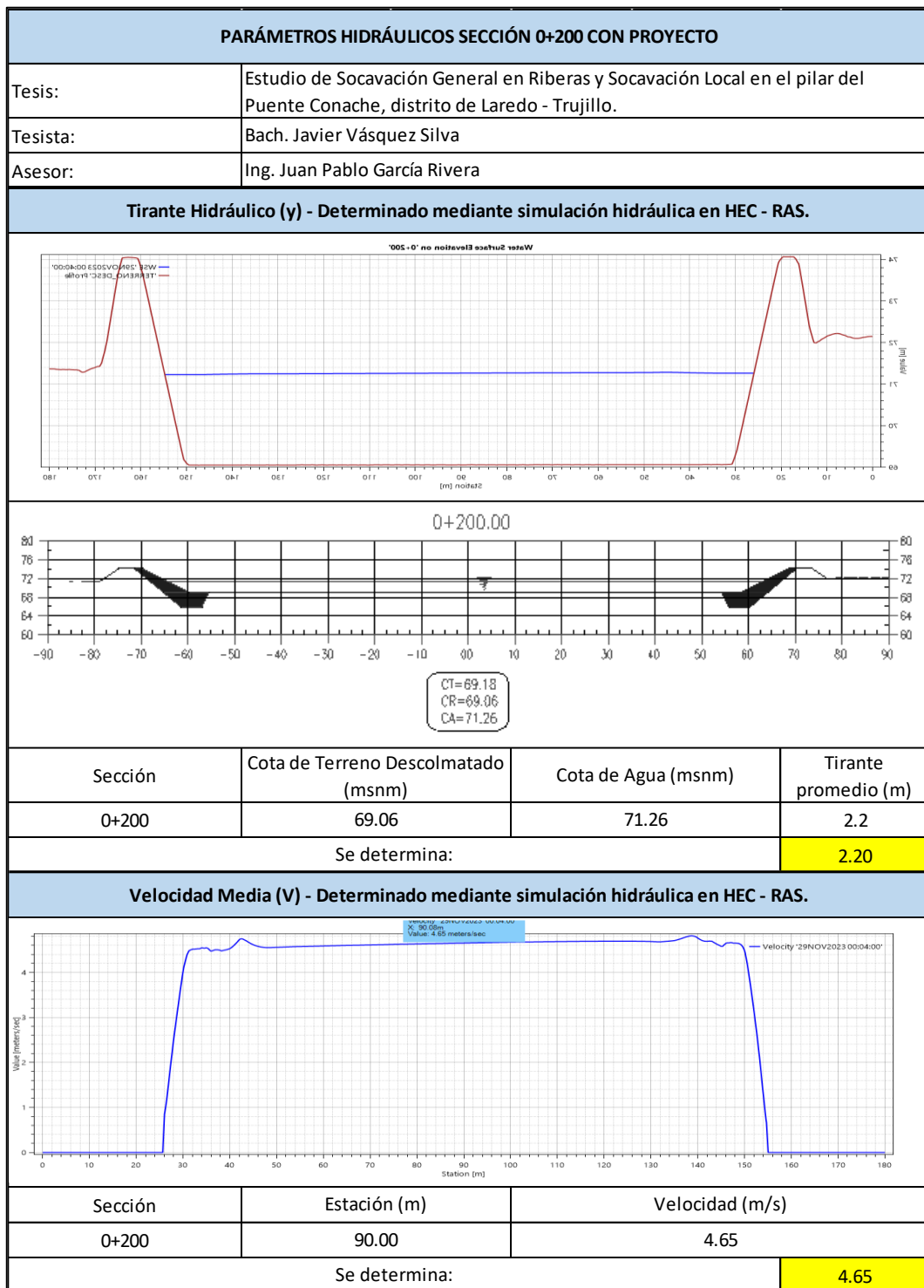
### D. HIDRÁULICA CON PROYECTO

Figura 198: Parámetros hidráulicos de la Sección 0+100 con proyecto



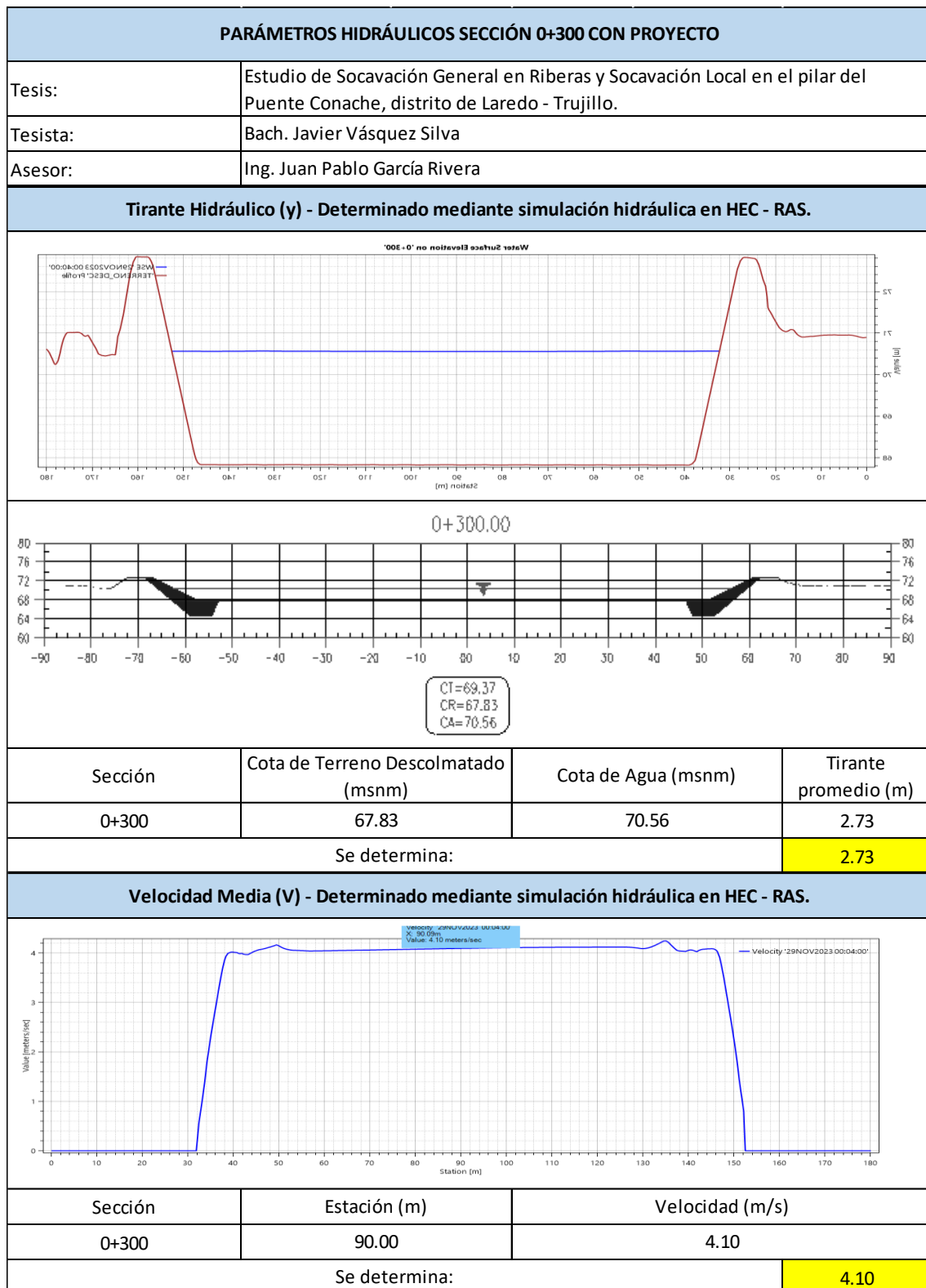
Nota. Elaboración propia

Figura 199: Parámetros hidráulicos de la Sección 0+200 con proyecto



Nota. Elaboración propia

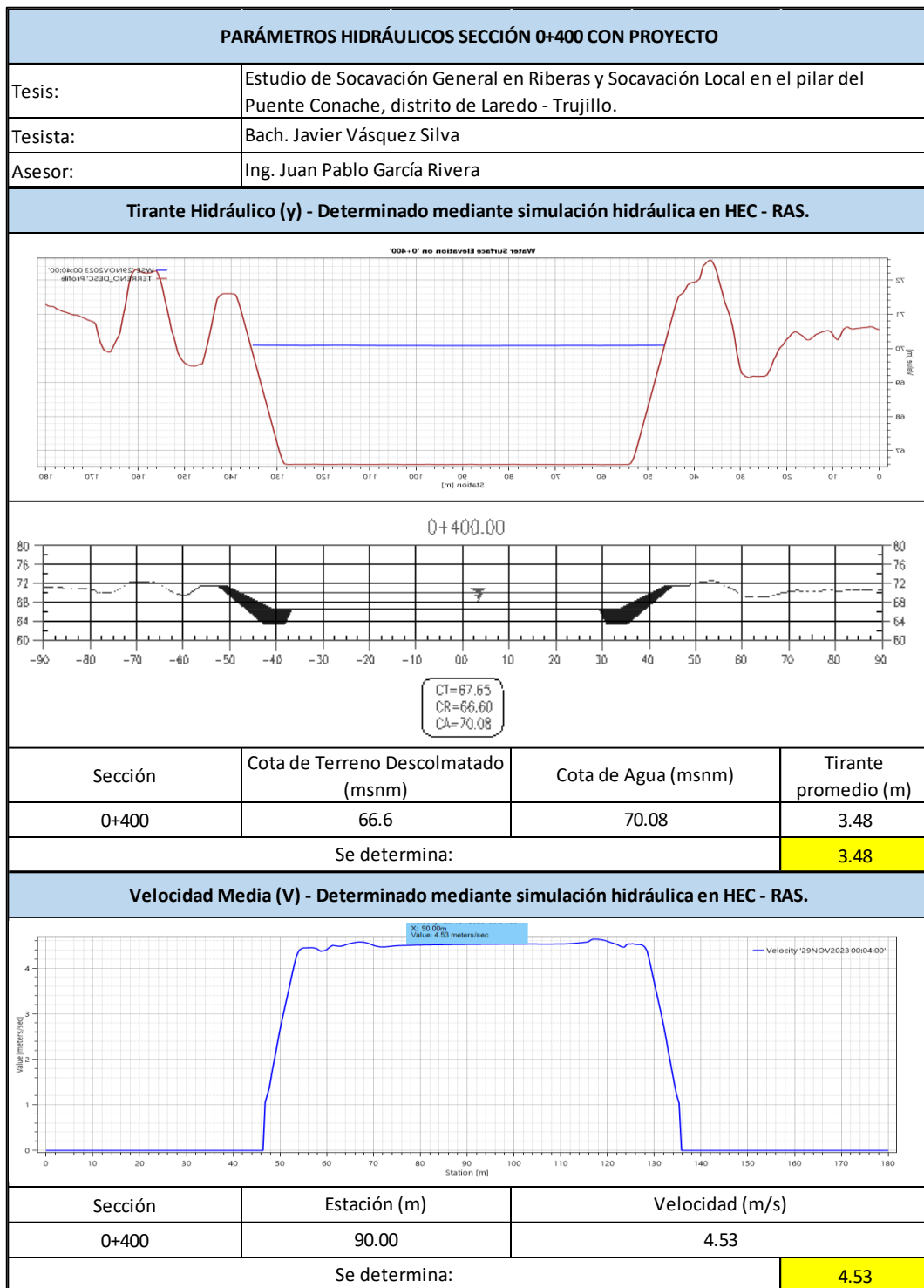
**Figura 200:** *Parámetros hidráulicos de la Sección 0+300 con proyecto*



*Nota.* Elaboración propia

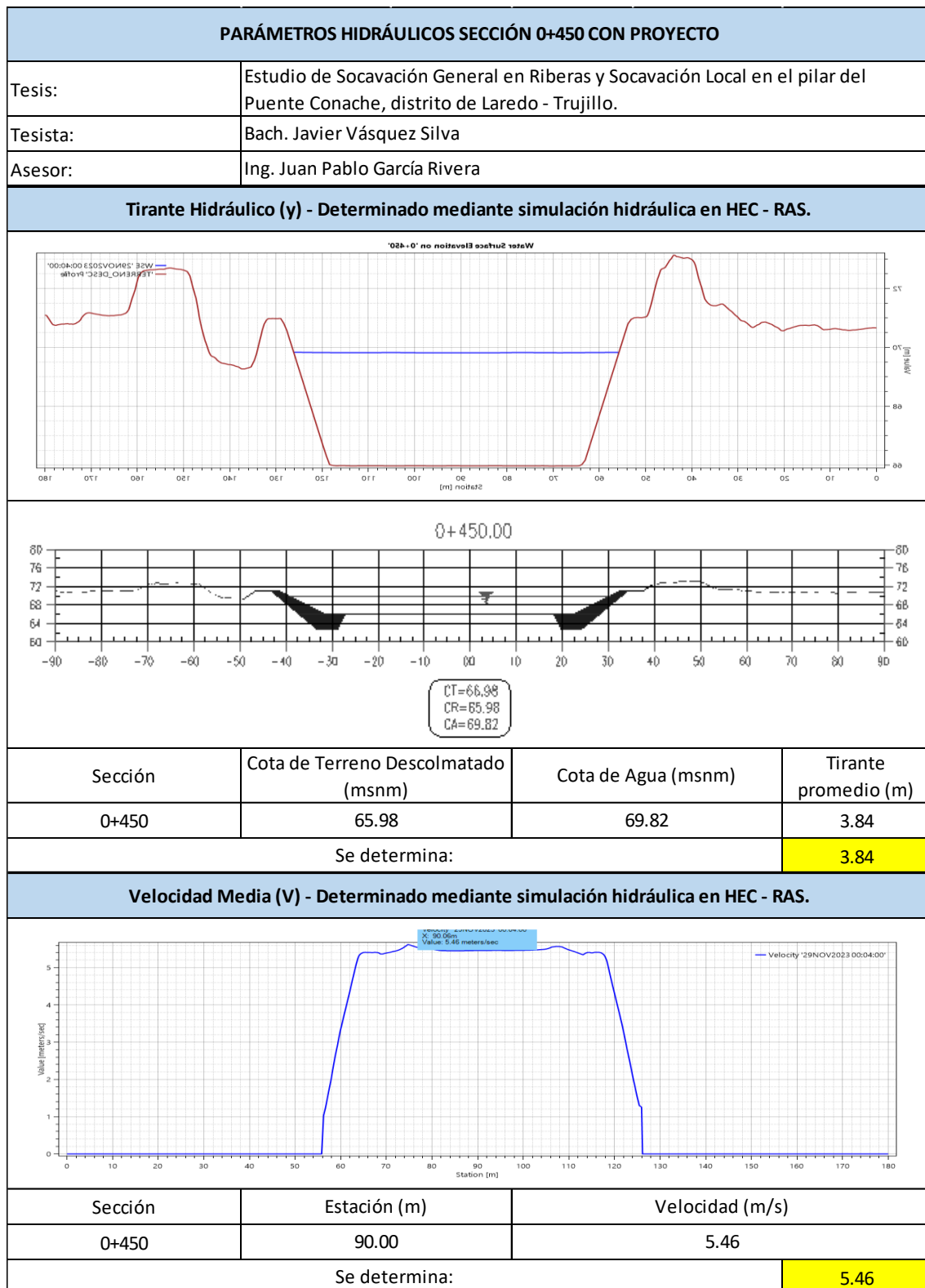


Figura 201: Parámetros hidráulicos de la Sección 0+400 con proyecto



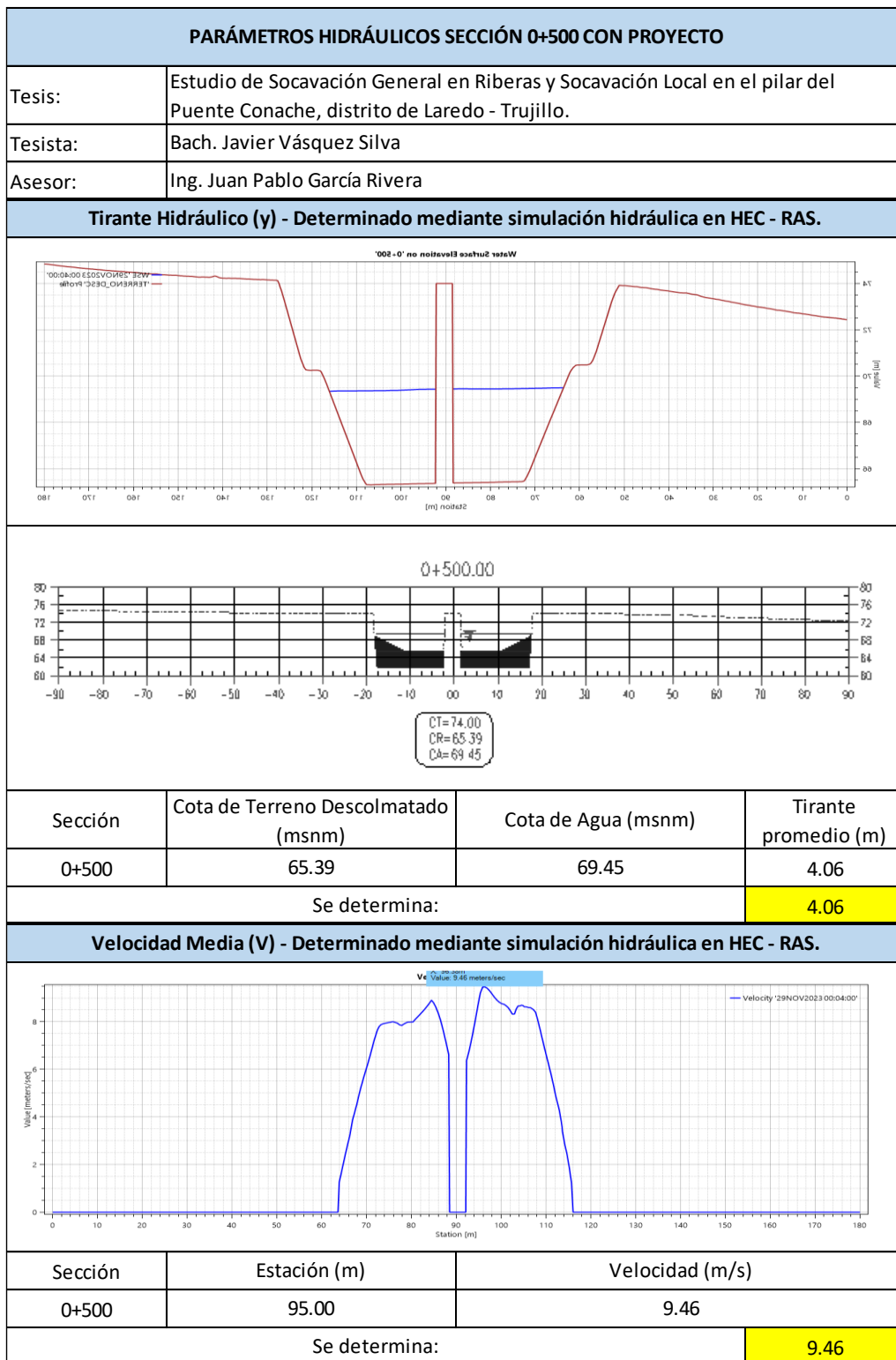
Nota. Elaboración propia

**Figura 202: Parámetros hidráulicos de la Sección 0+450 con proyecto**



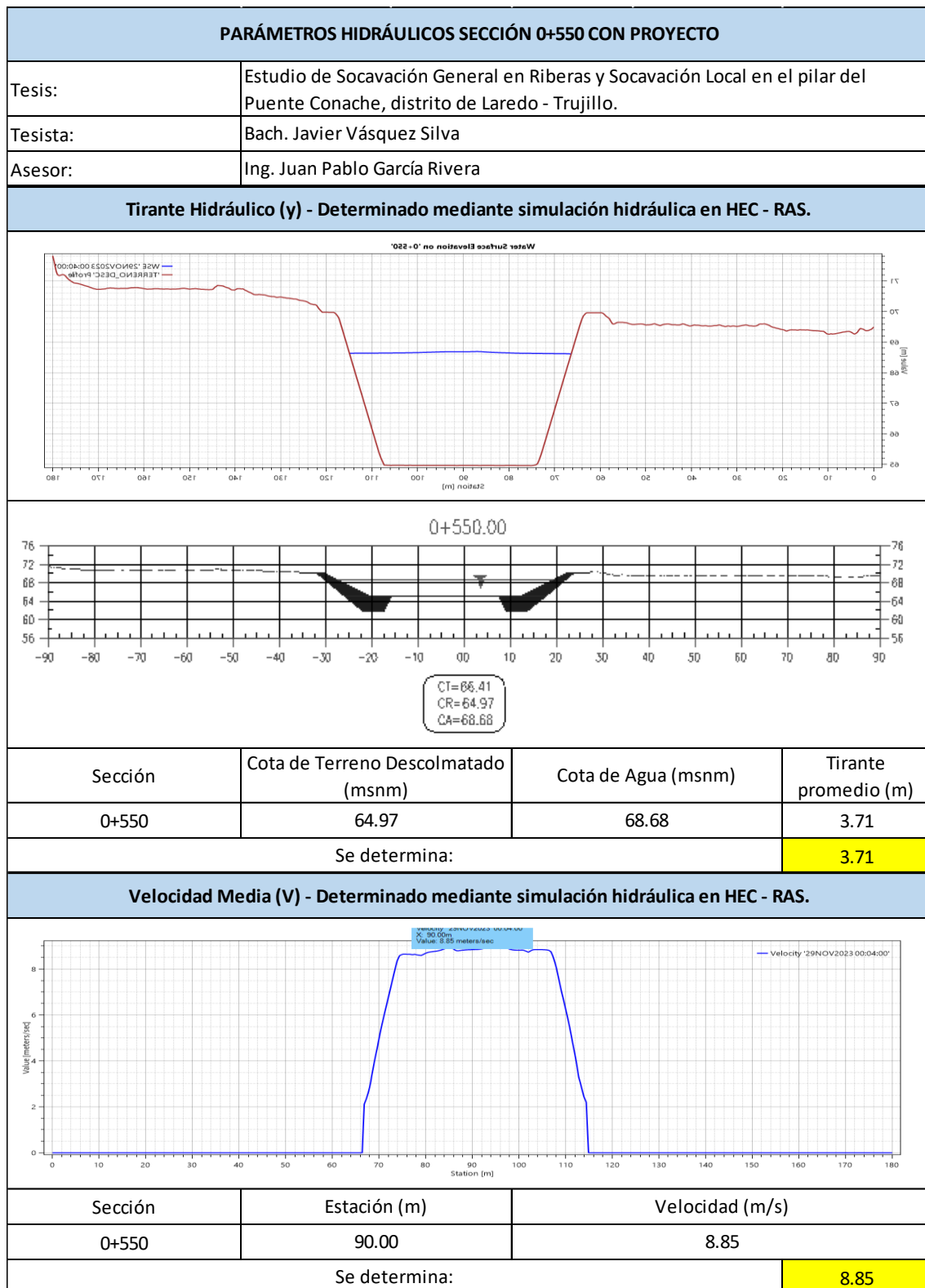
*Nota.* Elaboración propia

**Figura 203: Parámetros hidráulicos de la Sección 0+500 con proyecto**



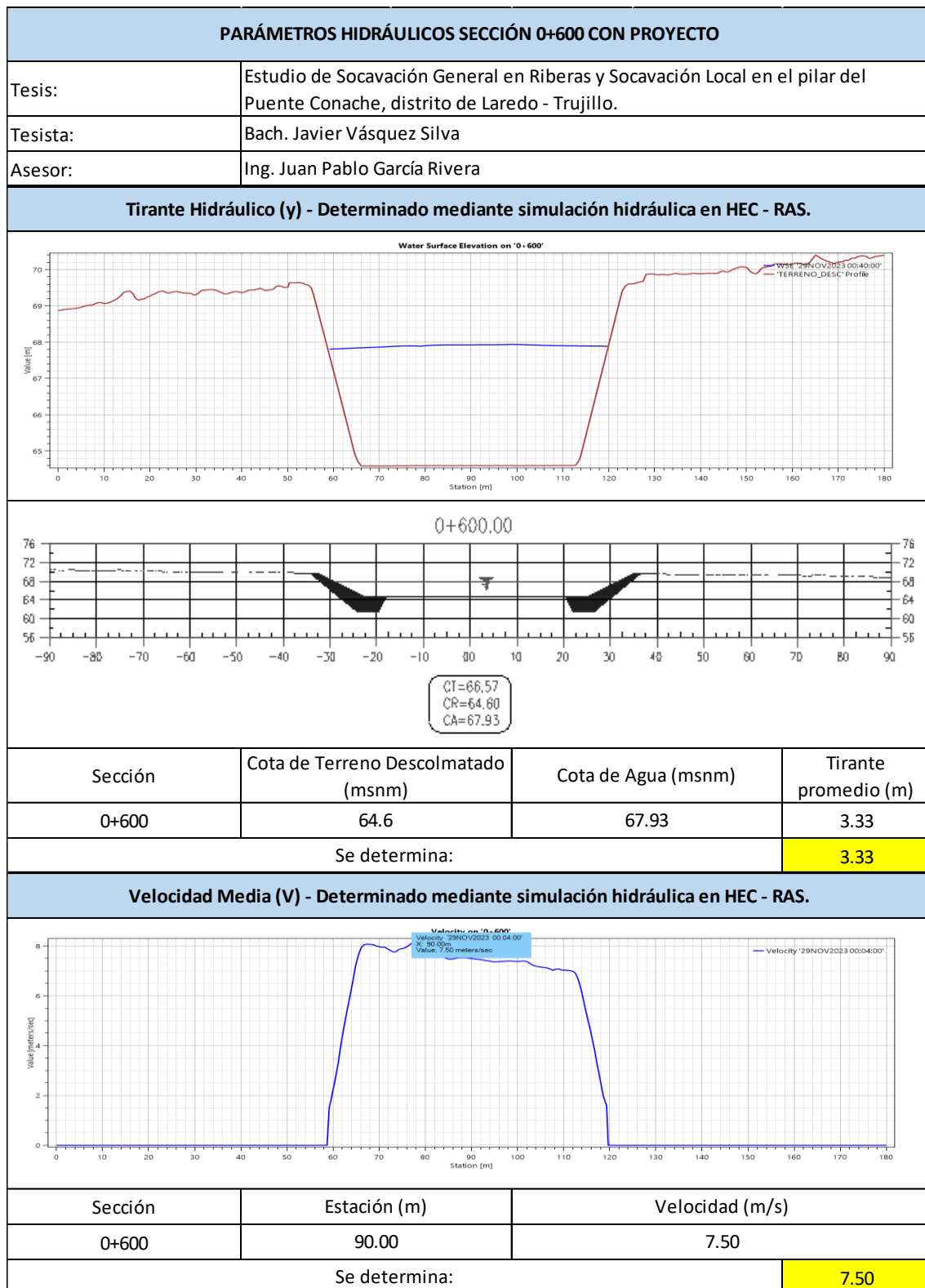
Nota. Elaboración propia

**Figura 204:** *Parámetros hidráulicos de la Sección 0+550 con proyecto*



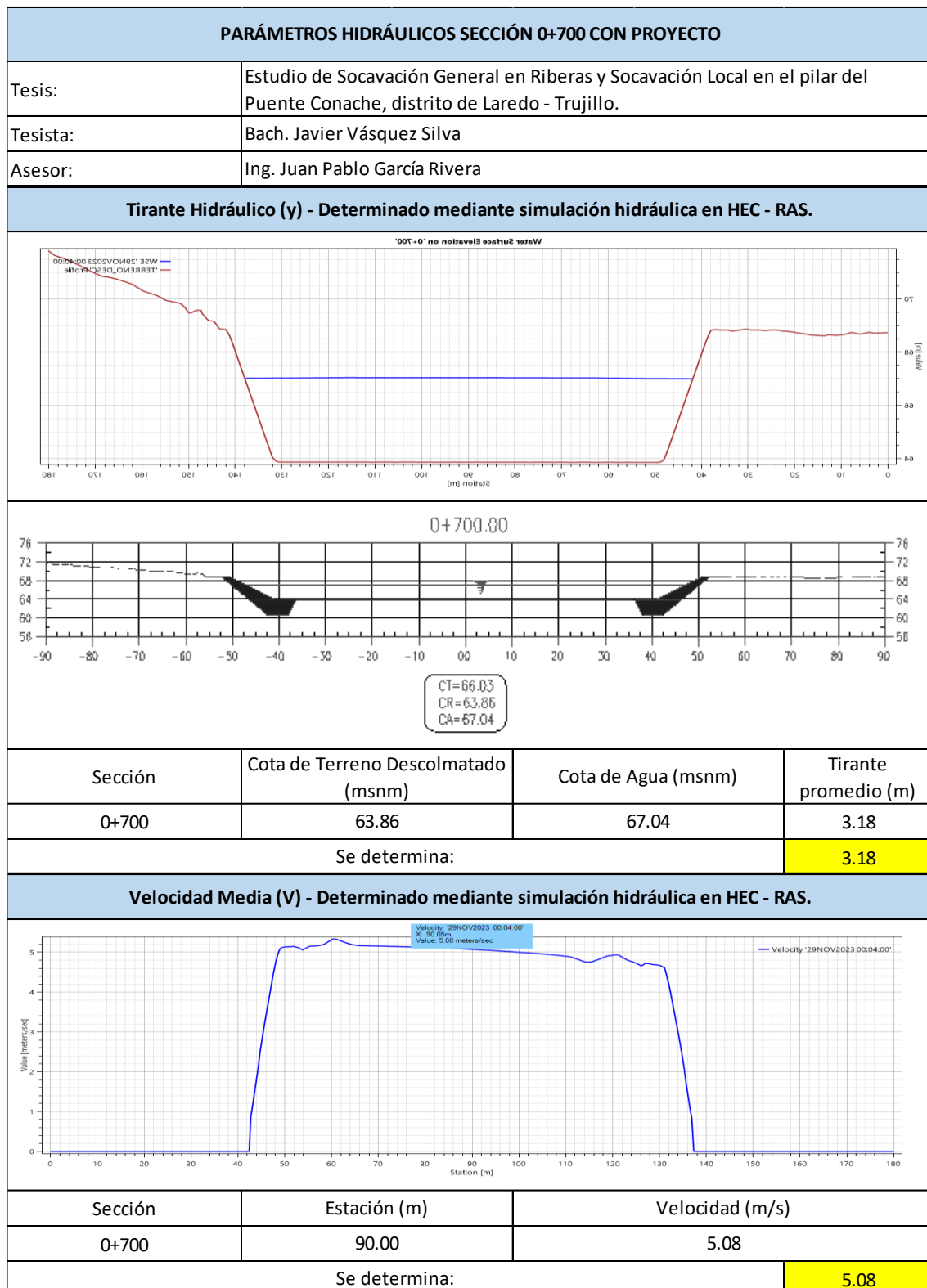
*Nota.* Elaboración propia

**Figura 205: Parámetros hidráulicos de la Sección 0+600 con proyecto**



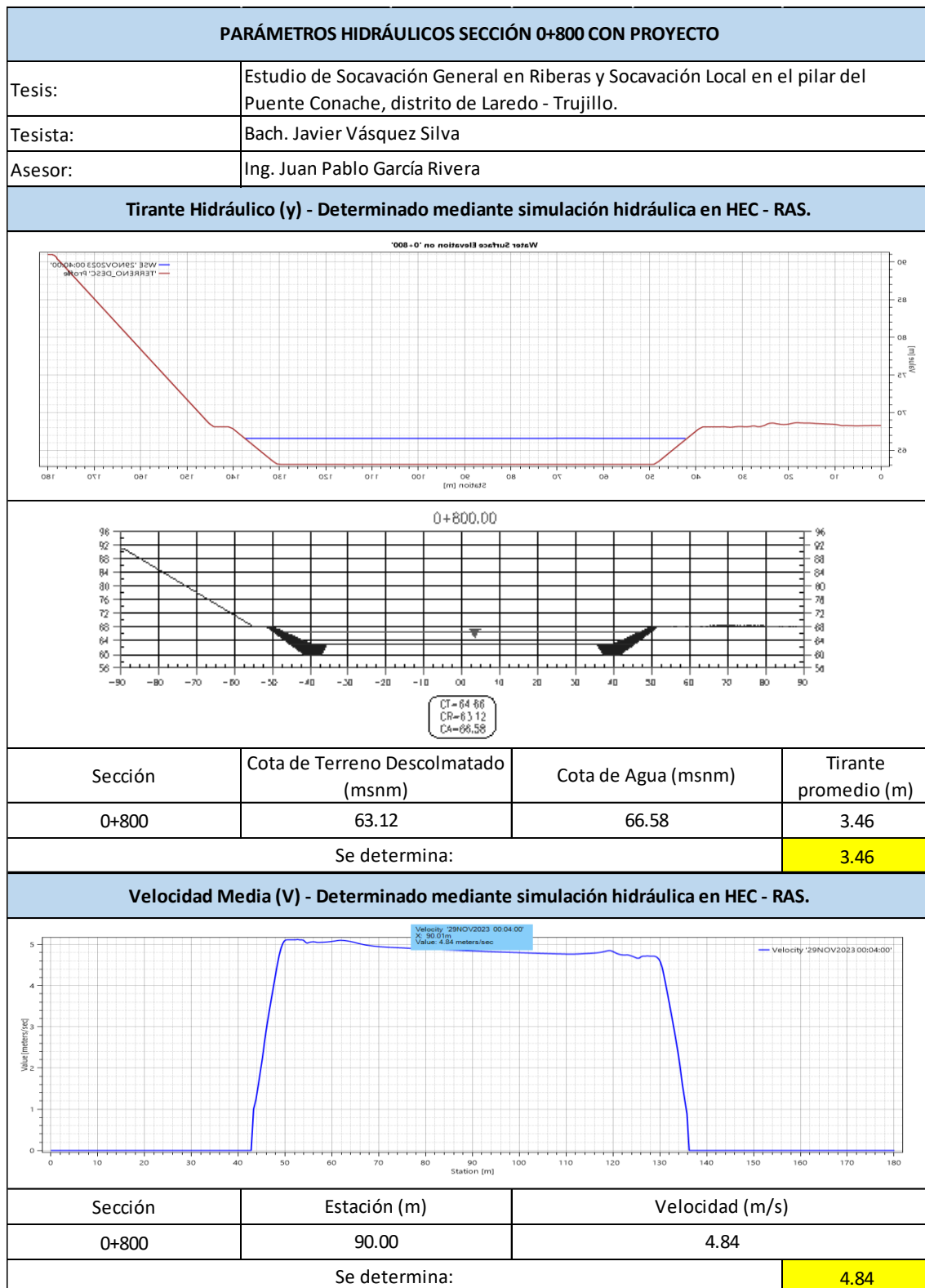
Nota. Elaboración propia

**Figura 206: Parámetros hidráulicos de la Sección 0+700 con proyecto**



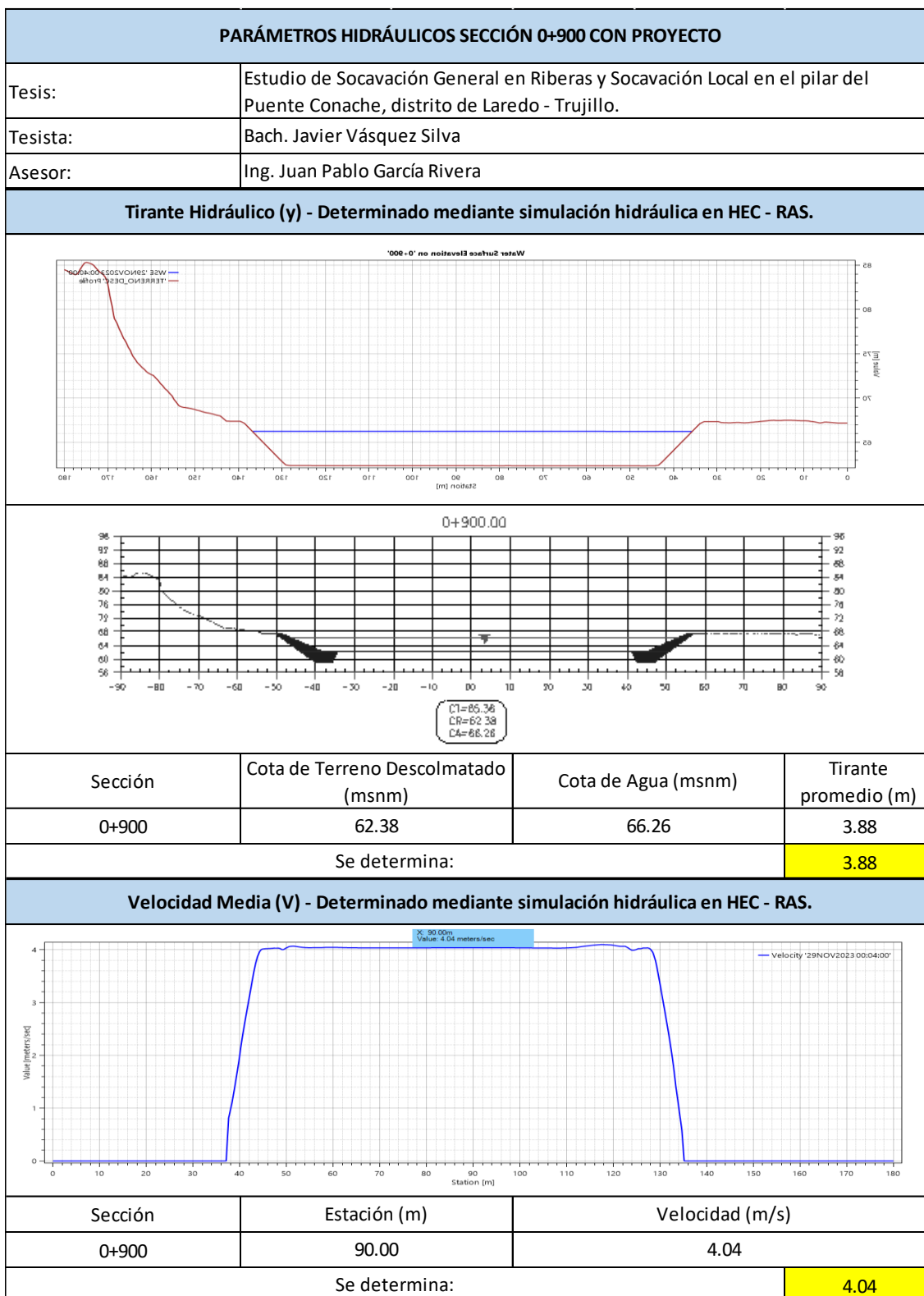
Nota. Elaboración propia

**Figura 207: Parámetros hidráulicos de la Sección 0+800 con proyecto**



Nota. Elaboración propia

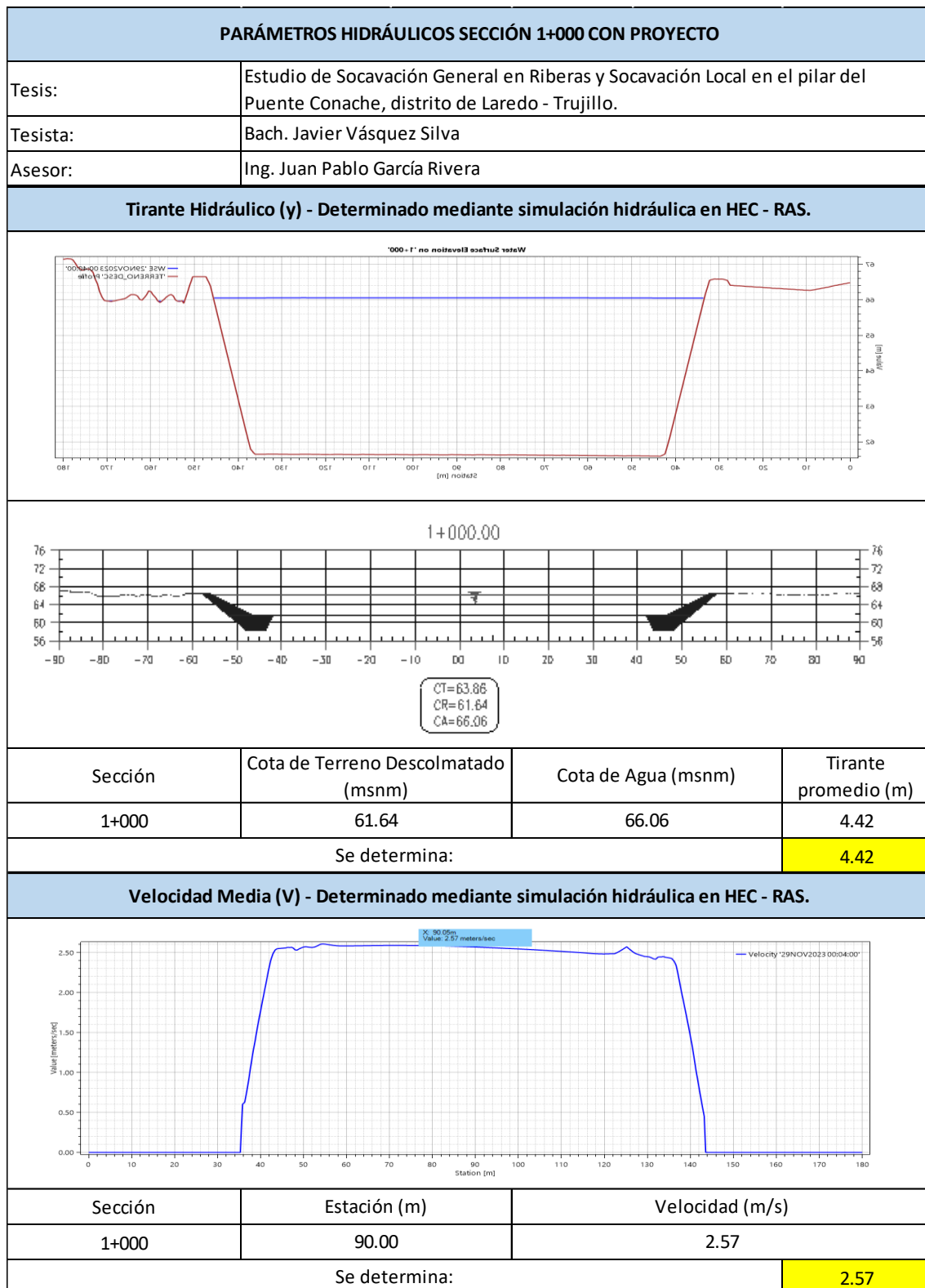
**Figura 208: Parámetros hidráulicos de la Sección 0+900 con proyecto**



Nota. Elaboración propia



**Figura 209: Parámetros hidráulicos de la Sección 1+000 con proyecto**



Nota. Elaboración propia

**E. PANEL FOTOGRÁFICO:**

**Fotografía 02:** *Vista general del puente Conache desde aguas arriba (Noviembre 2023).*



Nota: Fuente propia.

**Fotografía 03:** *Identificación de defensas ribereñas existentes (Noviembre 2023).*



Nota: Fuente propia.

**Fotografía 04:** *Medición de rocas de enrocado existente (Noviembre 2023).*



Nota: Fuente propia.

**Fotografía 05:** *Medición de rocas de enrocado existente (Noviembre 2023).*



Nota: Fuente propia.



**Fotografía 06:** *Medición de calzada de puente (Noviembre 2023).*



Nota: Fuente propia.

**Fotografía 07:** *Medición de la subestructura del puente (Noviembre 2023).*



Nota: Fuente propia.