

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



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**Estudio de la socavación local en las subestructuras de los puentes
Conache, Cacique, Santa Rosa y Moche - Trujillo 2023**

LINEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA CIVIL

SUB LINEA DE INVESTIGACIÓN: HIDRAULICA

AUTORES:

Cueva Vazallo, Alejandra Lucía
Gutierrez Zapata, Gabriel Alessandro

JURADO EVALUADOR:

Presidente : Cabanillas Quiroz, Guillermo Juan
Secretario : Sagastegui Plasencia, Fidel German
Vocal : Medina Carbajal, Lucio Sigifredo

ASESOR:

García Rivera, Juan Pablo
Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3498-7934>

Trujillo - Perú
2024

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 2024/04/17

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



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**Estudio de la socavación local en las subestructuras de los puentes
Conache, Cacique, Santa Rosa y Moche - Trujillo 2023**

LINEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA CIVIL

SUB LINEA DE INVESTIGACIÓN: HIDRAULICA

AUTORES:

Cueva Vazallo, Alejandra Lucía
Gutierrez Zapata, Gabriel Alessandro

JURADO EVALUADOR:

Presidente : Cabanillas Quiroz, Guillermo Juan
Secretario : Sagastegui Plasencia, Fidel German
Vocal : Medina Carbajal, Lucio Sigifredo

ASESOR:

García Rivera, Juan Pablo
Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3498-7934>

Trujillo - Perú
2024

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 2024/04/17

Estudio de la socavación local en las subestructuras de los puentes Conache, Cacique, Santa Rosa y Moche - Trujillo 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

4%

2

Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego

Trabajo del estudiante

2%

3

repositorio.upao.edu.pe

Fuente de Internet

2%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 2%

Excluir bibliografía

Activo


JUAN PABLO GARCÍA RIVERA
CIP 68614
INGENIERO CIVIL

Declaración de originalidad

Yo, Juan Pablo Rivera García, docente del Programa de Estudio de Ingeniería Civil de la Universidad Privada Antenor Orrego, asesor de la tesis de investigación titulada "**Estudio de la socavación local en las subestructuras de los puentes Conache, Cacique, Santa Rosa y Moche – Trujillo 2023**" autores Cueva Vazallo Alejandra Lucia y Gutiérrez Zapata Gabriel Alessandro, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 8%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software Turnitin el (09, Abril del 2024).
- He revisado con detalle dicho reporte y la tesis, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las normas establecidas por la Universidad.

Lugar y fecha: Trujillo 10/04/2024



GUTIERREZ ZAPATA, GABRIEL ALESSANDRO
DNI: 71502646



CUEVA VAZALLO, ALEJANDRA LUCIA
DNI: 73054461



RIVERA GARCIA JUAN PABLO
DNI: 18216844
ORCID:
<https://orcid.org/0000-0003-3498-7934>

DEDICATORIA

Quiero dedicar este logro a las personas que han sido fundamentales en mi vida y en mi camino hacia la culminación de esta tesis:

A Dios, fuente de sabiduría y fortaleza, quien me ha acompañado en cada paso de este arduo camino académico.

A mi querida madre, Isabel Zapata, quien ha sido mi apoyo incondicional y mi fuente de inspiración. Tu amor, paciencia y constante motivación han sido pilares en mi camino académico.

A mi amado hermano, Mathías Gutierrez, gracias por tu apoyo inquebrantable y por siempre alentarme a superar mis límites. Tu presencia ha sido un gran estímulo para alcanzar mis metas.

A mi preciada abuela Mercedes Santisteban, por ser un ejemplo de fortaleza y sabiduría. Tus palabras de aliento y tu amor incondicional han sido una guía constante en mi vida.

A mi abuelo Vicente Zapata, aunque no estés físicamente presente, sé que tu espíritu me ha acompañado en cada paso de este camino. Tu legado de trabajo arduo y perseverancia sigue siendo mi motivación constante.

A mi familia, por su apoyo incondicional, comprensión y por creer en mí en todo momento. Gracias por estar siempre a mi lado, brindándome el apoyo emocional y logístico que necesitaba para alcanzar este logro.

Bach. Gutierrez Zapata, Gabriel Alessandro

DEDICATORIA

Este logro va dedicado en primer lugar a **mis padres Zoila Vazallo y Jorge Cueva** porque son el pilar fundamental en mi carrera académica. Su gran amor y motivación que me brindaron hizo que nunca me dé por vencida.

A mí Tía Elena Pantoja, por siempre creer en mí y acompañarme incondicionalmente con una sonrisa y orgullo en cada logro personal.

A mi abuelita Juana Jacobo, que, aunque no esté presente, sé que está muy orgullosa de mí y siempre me está guiando en cada paso que doy.

A mí familia y amigos por su apoyo incondicional, porque siempre creyeron en mí y me brindaron una sonrisa y un buen consejo ante cualquier obstáculo.

A mí querida mascota Lola por su amor tan sincero e incondicional, por acompañarme en innumerables noches de ejecución del trabajo de investigación.

Bach. Cueva Vazallo, Alejandra Lucia

AGRADECIMIENTO

Quiero aprovechar este espacio para expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han sido parte fundamental en el desarrollo de mi tesis y en mi formación académica.

A mi compañera de tesis, quien ha compartido conmigo cada etapa de este arduo proceso. Su compromiso, colaboración y valiosa contribución han enriquecido este trabajo y han sido clave para alcanzar nuestros objetivos comunes. Juntos hemos superado desafíos, celebrado logros y hemos creado un lazo de amistad y compañerismo que atesoraré siempre.

A mis mejores amigos, aquellos que han estado a mi lado durante todo este camino académico. Su constante apoyo, ánimo y palabras de aliento han sido un motor fundamental en los momentos de cansancio y desánimo. Agradezco su comprensión, paciencia y disposición para escucharme y brindarme su valiosa opinión en cada paso de este proceso.

A mi asesor, Ing. Juan Pablo quien con su experiencia, conocimientos y guía ha sido una pieza fundamental en el éxito de esta tesis. Agradezco su dedicación, paciencia y disposición para brindarme sus orientaciones y consejos.

A mis docentes, quienes han compartido su conocimiento y experiencia a lo largo de mi trayectoria educativa.

Bach. Gutierrez Zapata, Gabriel Alessandro

AGRADECIMIENTO

A Dios por su amor infinito, protección y brindarme la fuerza necesaria para vencer cada obstáculo y alcanzar mi meta trazada.

A mis padres, que estuvieron a mi lado y sostuvieron mi mano en todo momento, gracias a su amor incondicional y cada enseñanza que me supieron dar, pude lograr trazar mi camino con perseverancia, y amor.

A mi compañero de tesis, que ha permanecido junto a mí en todo el desarrollo de la tesis. Su compañerismo y nobleza han sido parte fundamental para enriquecer el trabajo realizado, finalmente hemos conseguido nuestro objetivo común, ambos sabemos que no fue nada fácil, pero la comprensión y la amistad hizo que pudiéramos superar cada desafío y llegar a celebrar este logro.

A mi familia y amigos, por estar conmigo en todo momento dándome siempre palabras de aliento o un abrazo cuando lo más lo necesitaba.

A mi asesor, el Ing. Juan Pablo García Rivera por el constante apoyo en la realización de la tesis, compartiéndonos sus conocimientos, consejos y orientaciones durante todo el proceso de desarrollo del trabajo.

A mis docentes, quienes me han brindado sus conocimientos y enseñanzas necesarias en todo el camino universitario para lograr así ser un buen profesional sobresaliente en el ámbito laboral.

Bach. Cueva Vazallo, Alejandra Lucia

RESUMEN

La relevancia de los modelos hidráulicos computacionales en la solución de desafíos ingenieriles reside en su capacidad para manejar y representar de manera efectiva entornos complejos de la realidad. En este sentido, consideramos importante realizar un estudio que nos brinde información sobre los parámetros hidrodinámicos del cauce y analizar su interacción con el puente en cuestión. Esto nos permitirá prever posibles inconvenientes futuros en la subestructura.

La presente investigación se realiza para encontrar la estimación de la socavación local en los puentes donde discurre el río Moche, los cuales son: Moche, Santa Rosa, Cacique y Conache. Por lo tanto, es crucial comprender cómo y de qué manera este escenario podría presentarse, utilizando un enfoque virtual mediante modelos numéricos bidimensionales.

Con el plano topográfico del cauce del río Moche, se realizará el estudio de manera independiente a los 4 puentes en mención. La estimación del caudal de máxima avenida para un periodo de retorno de 500 años fue de 1010.02 m³/s. Utilizando un modelo hidráulico bidimensional, se obtuvo el tirante y velocidad crítica máxima para cada puente en estudio y así calcular la socavación local los cuales resulto: el puente moche tiene 1.37 m, el puente Santa Rosa 1.75 m, el puente Cacique 1.94m y el puente Conache 2.71 m; para la socavación general arrojaron los siguientes resultados al puente Moche 1.51 m, el puente Santa Rosa 1.16 m, el puente Cacique 1.98 m y el puente Conache 1.81 m.

Finamente, se realizó el cálculo de la socavación total dándonos como resultado que en el puente Moche se tiene una profundidad de socavación total de 2.88 m; en el puente Santa Rosa con una profundidad de socavación de 2.91 m; en el puente Cacique con una profundidad de socavación de 3.92 m; y por último el puente Conache con una socavación de 4.52 m.

Palabras clave: Socavación local, HEC-RAS, caudal máximo.

ABSTRACT

The relevance of computational hydraulic models in solving engineering challenges lies in their ability to effectively handle and represent complex real-world environments. In this regard, we consider it important to conduct a study that provides us with information on the hydrodynamic parameters of the channel and analyze its interaction with the bridge in question. This will allow us to anticipate possible future issues in the substructure.

The present research is carried out to estimate the local scour in the bridges where the Moche River flows, namely: Moche, Santa Rosa, Cacique, and Conache. Therefore, it is crucial to understand how and in what way this scenario could occur, using a virtual approach through two-dimensional numerical models.

With the topographic plan of the Moche River channel, the study will be conducted independently for the 4 mentioned bridges. The estimation of the maximum flow rate for a return period of 500 years was 1010.02 m³/s. Using a two-dimensional hydraulic model, the maximum critical depth and velocity were obtained for each bridge under study, and thus, calculate the local scour, which resulted in: the Moche bridge has 1.37 m, the Santa Rosa bridge 1.75 m, the Cacique bridge 1.94 m, and the Conache bridge 2.71 m; for the general scour, the following results were obtained: Moche bridge 1.51 m, Santa Rosa bridge 1.16 m, Cacique bridge 1.98 m, and Conache bridge 1.81 m.

Finally, the calculation of the total scour was carried out, resulting in a total scour depth of 2.88 m for the Moche bridge; 2.91 m for the Santa Rosa bridge; 3.92 m for the Cacique bridge; and 4.52 m for the Conache bridge.

Keywords: *Local scour, HEC-RAS, maximum flow rate.*

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

Dando conformidad y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el Reglamento General de Grados y Títulos en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada Antenor Orrego, someto a vuestra consideración el trabajo de tesis, titulado:

“Estudio de la socavación local en las subestructuras de los puentes Conache, Cacique, Santa Rosa y Moche - Trujillo 2023”

Con la finalidad de obtener el título profesional de ingeniero civil, así como también obtener algunas experiencias para el desarrollo de la ingeniería.

El contenido de nuestra presente investigación ha sido desarrollado con el marco de referencia de los lineamientos establecidos por nuestra escuela con el objetivo de desarrollar la tesis con nuestros conocimientos adquiridos durante el proceso de nuestra formación profesional, de igual forma de consultas bibliográficas, entre otros.

Consideramos señores miembros del jurado que con vuestras sugerencias y recomendaciones este trabajo puedo mejorarse y contribuyo a la difusión de la investigación de la Universidad.



Br. Gutierrez Zapata, Gabriel Alessandro



Br. Cueva Vazallo, Alejandra Lucia

ÍNDICE DE CONENIDO

DEDICATORIA	VI
DEDICATORIA	VII
AGRADECIMIENTO	VIII
AGRADECIMIENTO	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT.....	XI
PRESENTACIÓN.....	XII
ÍNDICE DE CONENIDO.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVI
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	XVIII
ÍNDICE DE GRAFICOS	XXI
ÍNDICE DE ANEXOS	XXII
I. INTRODUCCIÓN	26
1.1. Problema de Investigación.....	26
1.1.1. Realidad Problemática.....	26
1.1.2. Enunciado del problema	28
1.2. Objetivos	28
1.2.1. Objetivo General.....	28
1.2.2. Objetivos Específicos	29
1.3. Justificación del estudio	29
II. MARCO DE REFERENCIA	30
2.1. Antecedentes del estudio.....	30
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	30
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	31
2.1.3. Antecedentes locales.....	32
2.2. Marco Teórico	33

2.2.1.	Modelo digital.....	33
2.2.2.	Caracterización del suelo de fundación	33
2.2.3.	Estudio Hidrológico.....	35
2.2.4.	Simulación Hidráulica mediante el software HEC-RAS	38
2.2.5.	Socavación en puentes	42
2.2.5.1.	Socavación Local	42
2.2.5.2.	Socavación General	43
2.2.6.	Métodos de socavación local en pilares	44
2.2.7.	Metodo de socavación en estribos	60
2.3.	Marco Conceptual.....	62
2.4.	Sistema de Hipótesis	63
2.4.1.	Hipótesis General	63
2.5.	Variables: Operacionalización de la variable	63
III.	METODOLOGIA EMPLEADA	64
3.1.	Tipo y Nivel de Investigación.....	64
3.1.1.	Tipo de Investigación.....	64
3.1.2.	Nivel de Investigación.....	64
3.2.	Población y Muestra de Estudio.....	64
3.2.1.	Población.....	64
3.2.2.	Muestra.....	64
3.3.	Diseño de Investigación	65
3.4.	Técnicas e instrumentos de Recolección de Datos.....	65
3.4.1.	Técnicas	65
3.4.2.	Instrumentos.....	65
3.5.	Procesamiento y Análisis de datos	66
3.5.1.	Estudio de Mecánica de suelos	66
3.5.2.	Estudio Topográfico.....	66

3.5.3. Estudio Hidrológico.....	66
3.5.4. Simulación Hidrológica	66
IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	67
4.1. Propuesta de investigación	67
4.1.1. Modelo digital.....	67
4.1.2. Caracterización del suelo de fundación	68
4.1.3. Estudio Hidrológico.....	69
4.1.4. Simulación Hidráulica mediante el software HEC-RAS	75
4.2. Análisis de interpretación de resultados.....	86
4.2.1. Modelo digital.....	86
4.2.2. Granulometría.....	93
4.2.3. Estudió Hidrológico.....	97
4.2.4. Simulación Hidráulica mediante el software HEC-RAS	99
4.3. Docimasia de hipótesis	119
4.3.1. Interpretación de la Hipótesis nula (H0).....	119
4.3.2. Interpretación de la Hipótesis Alternativa (H1)	120
4.3.3. Interpretación de hipótesis propuestos	121
V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	122
CONCLUSIONES	123
RECOMENDACIONES	124
BIBLIOGRAFÍA	125
ANEXOS	128

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N°01: Criterio de Cowan para determinar la influencia de diversos factores sobre el coeficiente n	41
TABLA N°02: Factor de corrección por la forma del pilar K_f método de CSU	45
TABLA N°03: Factor de corrección por el ángulo de ataque del flujo K_θ método de CSU.....	46
TABLA N°04: Factor de corrección por la forma del lecho K_c Método de CSU ...	46
TABLA N°05: Criterios para adoptar K_a	47
TABLA N°06: Coeficiente K_f método de Lauser y Toch.	50
TABLA N°07: Factor de corrección K_f por forma de la pila.....	53
TABLA N°08: Factor de corrección K por ángulo de ataque de flujo.....	54
TABLA N°09: Factor de corrección F_c	56
TABLA N°10: Coeficiente K_f a partir de la forma de estribo	61
TABLA N°11: Operacionalización de la variable	63
TABLA N°12: Distribución de calicatas	68
TABLA N°13: Registro de Caudales máximos anuales.....	69
TABLA N°14: Distribución de calicatas	86
TABLA N°15: Coordenadas geográficas puente Conache.....	87
TABLA N°16: Coordenadas geográficas puente Cacique	87
TABLA N°17: Coordenadas geográficas puente Santa Rosa	88
TABLA N°18: Coordenadas geográficas puente Moche	88
TABLA N°19: Análisis Granulométrico	93
TABLA N°20: Análisis Granulométrico	96
TABLA N°21: Análisis Granulométrico	96
TABLA N°22: Análisis Granulométrico	96
TABLA N°23: Resumen de caudales de diseño	97
TABLA N°24: Prueba bondad de ajuste	98

TABLA N°25: Valores picos para diversos periodos de retorno	99
TABLA N°26: Valores críticos de velocidad y tirante.....	104
TABLA N°27: Socavación general en el Puente Conache	112
TABLA N°28: Resultados de socavación en el puente Conache	113
TABLA N°28: Resumen de socavación Local en el Puente Cacique	113
TABLA N°30: Resultados de socavación general en el puente Cacique.....	114
TABLA N°31: Resultados de socavación en el puente Cacique.....	115
TABLA N°32: Socavación local en el Puente Santa Rosa	115
TABLA N°33: Resultados de socavación general en el puente Santa Rosa	116
TABLA N°34: Resultados de socavación en el puente Santa Rosa	117
TABLA N°35: Socavación local en el Puente Moche	117
TABLA N°36: Resultados de socavación general en el puente Moche	118
TABLA N°37: Resultados de socavación en el puente Moche	119
TABLA N°38: Resumen de resultados de socavación local	120
TABLA N°39: Resumen de resultados de socavación local	120
TABLA N°40: Cuadro estadísticos de prueba	121

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURA N°01: Imagen real tomada del puente Conache donde discurre el Rio Moche 2023.....	28
FIGURA N°02: Formas típicas de pila. HEC – 18. 1993	45
FIGURA N°03: Estribos que se prolongan hasta el cauce principal y no existe flujo en la zona de inundación	60
FIGURA N°04: Los cuatro puentes de estudio.....	64
FIGURA N°05: Procesamiento en Qgis.....	67
FIGURA N°06: Análisis de Frecuencia.....	72
FIGURA N°07: Ingreso de la información de precipitación máxima de 24 horas máxima anual.....	72
FIGURA N°08: Distribuciones probabilística de la plataforma Hydrognomon	73
FIGURA N°09: Prueba Bondad de Ajuste (Kolmogorov Smirnov y Chi-Cuadrado)	73
FIGURA N°10: Distribuciones probabilística de la plataforma Hydrognomon	74
FIGURA N°11: Distribuciones probabilística – caudal de diseño de la plataforma Hydrognomon.....	74
FIGURA N°12: Creación del nuevo proyecto.	76
FIGURA N°13: Importación del Modelo digital de elevación.	76
FIGURA N°14: malla creada para cada uno de los puentes a evaluar.....	77
FIGURA N°15: Datos para la malla.	77
FIGURA N°16: ingreso de datos de las precipitaciones en HEC.RAS	78
FIGURA N°17: Selección de la condición de contorno.....	78
FIGURA N°18: Programación para la corrida del periodo de retorno de 500 años	
79	
FIGURA N°19: Resultado de la simulación para el periodo de retorno de 500 años – perímetro moche	79
FIGURA N°20: Conexión 2D como Línea de quiebre.....	80
FIGURA N°21: Sección del terreno	80

FIGURA N°22: Tipo de estructura	81
FIGURA N°23: Ingreso de las dimensiones del tablero del puente.	81
FIGURA N°24: Secciones transversales automatizadas	82
FIGURA N°25: Ingreso de las dimensiones de los pilares del puente.....	82
FIGURA N°26: Ingreso de las dimensiones de los estribos.	83
FIGURA N°27: Configuración de la simulación con Puentes.	83
FIGURA N°28: Sección a detalle del puente.....	84
FIGURA N°29: Numero de Manning	84
FIGURA N°30: Corrida de la simulación con puente.....	85
FIGURA N°31: Tirante del tramo de estudio	85
FIGURA N°32: Velocidad del tramo de estudio.....	85
FIGURA N°33: Ubicación de puente Conache	86
FIGURA N°34: Ubicación de puente Cacique	87
FIGURA N°35: Ubicación de puente Santa Rosa.....	88
FIGURA N°36: Ubicación de puente Moche	88
FIGURA N°37: Se carga la superficie de la zona de estudio.	89
FIGURA N°38: Se da formato para crear el alineamiento	89
FIGURA N°39: Se crea el alineamiento con ayuda de base topográfica e imagen satelital.	90
FIGURA N°40: Se crea el alineamiento con ayuda de base topográfica e imagen satelital.	90
FIGURA N°41: Longitud total del alineamiento de rio.	91
FIGURA N°42: Recorte de la zona de estudio	91
FIGURA N°43: Perfil Longitudinal	92
FIGURA N°44: Perfil Longitudinal	92
FIGURA N°45: Curva granulometría, C-1 punto Puente Conache.....	94
FIGURA N°46: Curva granulometría, C-2 punto Puente Cacique	94
FIGURA N°47: Curva granulometría, C-3 punto Puente Santa Rosa.....	95

FIGURA N°48: Curva granulometría, C-4 punto Puente Moche	95
FIGURA N°49: Distribuciones probabilísticas según el manual del MTC	97
FIGURA N°50: Modelado puente moche	100
FIGURA N°51: Resultado de la simulación puente moche	100
FIGURA N°52: Modelado puente Santa Rosa	101
FIGURA N°53: Resultado de la simulación puente santa rosa	101
FIGURA N°54: Modelado puente Cacique	102
FIGURA N°55: Resultado de la simulación puente Cacique	102
FIGURA N°56: Modelado puente Conache	103
FIGURA N°57: Resultado de la simulación puente Conache	103
FIGURA N°58: Tirante critico	104
FIGURA N°59: Velocidad critica.....	104
FIGURA N°60: Curva granulométrica del Puente Conache	105
FIGURA N°61: Curva granulométrica del Puente Cacique	105
FIGURA N°62: Curva granulométrica del Puente Santa Rosa	106
FIGURA N°63: Curva granulométrica del Puente Moche	106
FIGURA N°64: Socavación local en el Puente Conache.....	107
FIGURA N°65: Socavación local en el Puente Conache.....	108
FIGURA N°66: Socavación local en el Puente Conache.....	109
FIGURA N°67: Socavación local en el Puente Conache.....	110
FIGURA N°68: Socavación local en el Puente Conache.....	111

ÍNDICE DE GRAFICOS

GRAFICA N°01: Coeficiente K_g del método de Lausen y Toch.	51
GRAFICA N°02: Coeficiente K_θ teniendo en cuenta el ángulo de ataque.....	52
GRAFICA N°03: Factor correctivo K_θ	58
GRAFICA N°04: Diagrama de docimasia de hipótesis.....	121

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Resolución y permisos	128
ANEXO 1.1: Solicitud de revisión de proyecto de tesis.....	128
ANEXO 1.2: Declaración jurada de compromiso de asesor.....	129
ANEXO 1.3: Oficio para designación de propuesta de jurado.....	130
ANEXO 1.4: Oficio para designación de jurado.	131
ANEXO 1.5: Aprobación e inscripción de proyecto de tesis.....	132
ANEXO 1.6: Resolución emitida por facultad para comenzar el trámite del Informe de tesis.....	133
ANEXO 2: Resultados y ensayos	134
ANEXO 2.1: Estudio de granulometría de la C-1	134
ANEXO 2.2: Estudio de granulometría de la C-2	135
ANEXO 2.3: Estudio de granulometría de la C-3	136
ANEXO 2.4: Estudio de granulometría de la C-4	137
ANEXO 3: Resultados del cálculo de socavación de forma empírica.	138
ANEXO 3.1: Calculo de socavación local en el puente Conache mediante el método CSU.....	138
ANEXO 3.2: Calculo de socavación local en el puente Conache mediante el método CSU.....	139
ANEXO 3.3: Calculo de socavación local en el puente Conache mediante el método CSU.....	140
ANEXO 3.4: Calculo de socavación local en el puente Conache mediante el método CSU.....	141
ANEXO 3.5: Calculo de socavación local en el puente Conache mediante el método CSU.....	142
ANEXO 3.6: Calculo de socavación local en el puente Santa Rosa mediante el método CSU.....	143

ANEXO 3.7: Calculo de socavación local en el puente Santa Rosa mediante el método CSU.....	144
ANEXO 3.8: Calculo de socavación local en el puente Santa Rosa mediante el método CSU.....	145
ANEXO 3.9: Calculo de socavación local en el puente Santa Rosa mediante el método CSU.....	146
ANEXO 3.10: Calculo de socavación local en el puente Santa Rosa mediante el método CSU.....	147
ANEXO 3.11: Calculo de socavación local en el puente Moche mediante el método CSU.....	148
ANEXO 3.12: Calculo de socavación local en el puente Moche mediante el método CSU.....	149
ANEXO 3.13: Calculo de socavación local en el puente Moche mediante el método CSU.....	150
ANEXO 3.14: Calculo de socavación local en el puente Moche mediante el método CSU.....	151
ANEXO 3.15: Calculo de socavación local en el puente Moche mediante el método CSU.....	152
ANEXO 4: Resultados del cálculo de socavación local en estribos de forma empírica.....	153
ANEXO 4.1: Calculo de socavación local en estribos del puente Conache mediante el método de Liu, Chang y Skinner.....	153
ANEXO 4.2: Calculo de socavación local en estribos del puente Conache mediante el método e Liu, Chang y Skinner.....	154
ANEXO 4.3: Calculo de socavación local en estribos del puente Cacique mediante el método e Liu, Chang y Skinner.....	155
ANEXO 4.4: Calculo de socavación local en estribos del puente Cacique mediante el método e Liu, Chang y Skinner.....	156
ANEXO 4.5: Calculo de socavación local en estribos del puente Santa Rosa mediante el método e Liu, Chang y Skinner.....	157

ANEXO 4.6: Calculo de socavación local en estribos del puente Santa Rosa mediante el método e Liu, Chang y Skinner.....	158
ANEXO 4.7: Calculo de socavación local en estribos del puente Moche mediante el método e Liu, Chang y Skinner.....	159
ANEXO 4.8: Calculo de socavación local en estribos del puente Moche mediante el método e Liu, Chang y Skinner.....	160
ANEXO 5: Panel fotográfico	161
ANEXO 5.1: Fotografía tomada en el puente - Rio Moche.....	161
ANEXO 5.2: Fotografía tomada en el puente - Rio Moche.....	161
ANEXO 5.3: Fotografía tomada en el puente - Rio Moche.....	162
ANEXO 5.4: Fotografía tomada en el puente - Rio Moche.....	162
ANEXO 5.5: Fotografía tomada en el puente - Rio Moche.....	163
ANEXO 5.6: Fotografía tomada en el puente - Rio Moche.....	163
ANEXO 5.7: Fotografía tomada en el puente - Rio Santa Rosa.....	164
ANEXO 5.8: Fotografía tomada en el puente - Rio Santa Rosa.....	164
ANEXO 5.9: Fotografía tomada en el puente - Rio Santa Rosa.....	165
ANEXO 5.10: Fotografía tomada en el puente - Rio Santa Rosa.....	165
ANEXO 5.11: Fotografía tomada en el puente - Rio Santa Rosa.....	166
ANEXO 5.12: Fotografía tomada en el puente - Rio Santa Rosa.....	166
ANEXO 5.13: Fotografía tomada en el puente - Rio Cacique	167
ANEXO 5.14: Fotografía tomada en el puente - Rio Cacique	167
ANEXO 5.15: Fotografía tomada en el puente - Rio Cacique	168
ANEXO 5.16: Fotografía tomada en el puente - Rio Cacique	168
ANEXO 5.17: Fotografía tomada en el puente - Rio Cacique	169
ANEXO 5.18: Fotografía tomada en el puente - Rio Cacique	169
ANEXO 5.19: Fotografía tomada en el puente - Rio Conache	170
ANEXO 5.20: Fotografía tomada en el puente - Rio Conache	170
ANEXO 5.21: Fotografía tomada en el puente - Rio Conache	171

ANEXO 6: Otros	172
ANEXO 6.1: Ubicación de C-01	172
ANEXO 6.2: Ubicación de C-02.....	172
ANEXO 6.3: Ubicación de C-03.....	173
ANEXO 6.4: Ubicación de C-04.....	173
ANEXO 6.5: Descargas máximas anuales.	174
ANEXO 6.6: Resultados de la prueba de bondad.....	175
ANEXO 7: Planos	176

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de Investigación

1.1.1. Realidad Problemática

Durante décadas los puentes se han considerado una de las infraestructuras fundamentales para el progreso y bienestar de la sociedad, ya que nos permite realizar el cruce de desniveles. Por otro lado, los ríos se presentan como una combinación de caudales tanto sólidos como líquidos, los caudales sólidos son representados como la carga de los sedimentos y los líquidos como caudales líquidos, siendo estos los determinantes de la forma del río. Entonces se deduce que cuando el río y el puente tienen interacción, ambos tienden a influir uno del otro.

Con lo mencionado anteriormente hay causas a considerar, ya que esta descontrolada forma en la que discurre hace que el río traiga consigo efectos negativos en las estructuras hidráulicas, como es el caso de los puentes, ya que en tiempos de crecida se estaría enfrentado a la socavación local.

Con el estudio realizado por (Muñoz, 2002) El 35% de los puentes que se han estudiado han fallado por socavación en la cimentación en los estribos y pilas, esto pasa mayormente en los puentes que han sido construidos ya hace un buen tiempo, aproximadamente 20 años, dónde el criterio más importante de diseño de dicha cimentación se inclinaba más a la capacidad portante que a los fenómenos producto de la socavación.

Se puede interpretar que los puentes pueden colapsar debido a la socavación local, donde este abarca un proceso en el que el agua erosiona al suelo alrededor de los cimientos del puente debido al tiempo o a los malos cálculos donde esto debilita la estructura, provocando su caída. La prevención implica técnicas para controlar el flujo del agua y fortalecer los cimientos.

Según el autor peruano (Martinez, 2007) en toda construcción de ingeniería civil donde abarque la ocupación de dicho cauce de río, tiene que considerar que se está generando una alteración y modificación en el comportamiento natural en del cauce, es por ello que el autor propone que se debe ejecutar estudios como son la hidrología, geomorfología fluvial, así como también los procesos que se tiene de la sedimentación, erosivos fluvial y finalmente así lograr que no vuelva a ocurrir el suceso de los puentes Simón Rodríguez y Bolognesi los cuales fueron afectados por la socavación local.

La cuenca del río Moche se encuentra en la región costera norte de Perú, forma parte de la cuenca del océano Pacífico y abarca un área total de 2708 km². Este se localiza en el departamento de la Libertad, los cuales comprende un total o parcialmente las provincias de Trujillo, Otuzco, Santiago de Chuco y Julcán. (Callirgos & Mendez, 2015)

El cauce principal del río Moche recorre 102 km. A la altura de la localidad de San Juan, a unos 14 Km de su origen, toma el nombre de río Moche, el cuál mantiene hasta su desembocadura en el mar, tiene como pendiente promedio de cauce de 4% y la pendiente del cauce 16% en el caso de la quebrada La Cuesta. (Guillermo, 2010)

Se realizó un recorrido de campo en el río Moche específicamente en los puentes puente Conache, Cacique, Santa Rosa y Moche donde se pudo identificar el problema de socavación general donde se vio el transporte de sedimentos en el lecho del río Moche, ocasionado por el reciente fenómeno del niño costero. También se encontró el efecto de socavación local, ya que se vio el descenso del material del río en los pilares de estos puentes.

Comprendido la importancia del impacto que tiene el realizar el estudio de la socavación local en los puentes, tenemos como objetivo realizar el estudio de los efectos de socavación que sería

causada con una avenida o alguna corriente máxima en el río Moche, en los tramos del puente Conache, Cacique, Santa Rosa y Moche con el apoyo del software de simulación hidráulica HEC-RAS, con la finalidad de determinar cuál sería la profundidad de socavación local. Estos datos son esenciales para proponer soluciones efectivas y preventivas que garanticen la seguridad y durabilidad de estas estructuras cruciales.

FIGURA N°01: *Imágenes reales tomadas en puentes de estudio donde discurre el Río Moche.*



Fuente: Elaboración Propia

1.1.2. Enunciado del problema

¿Cuál es el estudio de socavación local en las subestructuras de los puentes Conache, Cacique, Santa Rosa y Moche?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Estudiar la socavación local de las subestructuras de los puentes Conache, Cacique, Santa Rosa y Moche, ubicados en la ciudad de Trujillo.

1.2.2. Objetivos Específicos

- ❖ Analizar el modelo digital del terreno del Rio Moche, en los tramos de los puentes Conache, Cacique, Santa Rosa y Moche.
- ❖ Realizar un análisis granulométrico de los sedimentos de fondo en las secciones donde se ubican los puentes en estudio.
- ❖ Realizar el análisis de máximas avenidas del Rio Moche.
- ❖ Realizar la simulación hidráulica mediante el software Hec-Ras para diferentes escenarios del rio Moche, de los puentes a estudiar.
- ❖ Estimar la profundidad de socavación local en los pilares de los puentes Conache, Cacique, Santa Rosa y Moche a través de los métodos empíricos.

1.3. Justificación del estudio

El estudio detallado de hidráulica fluvial que llevamos a cabo se centra en el analizar el transporte de sedimentos y el fenómeno de socavación en los pilares de los puentes Conache, Cacique, Santa Rosa y Moche. Utilizamos investigaciones previas como base, pero nuestro enfoque está en innovar y actualizar estos conocimientos para ofrecer soluciones avanzadas. Al obtener los resultados, nos dedicaremos a un análisis profundo y meticuloso. Estos datos procesados nos permitirán proponer soluciones específicas y prácticas.

No solo nos centramos en abordar los problemas actuales, como la pérdida de material en los pilares que conduce a la inestabilidad de los puentes, sino que también nos esforzamos por anticipar desafíos futuros. Nuestras propuestas no solo se orientan hacia la mejora inmediata, sino también hacia una visión a largo plazo para garantizar la durabilidad y seguridad de estos puentes esenciales para la comunidad local. Una vez obtenido los resultados se analizarán y procesaran para dar alguna propuesta de solución, la cual nos va a permitir que en futuras investigaciones tengan alguna visión que sea más clara de cómo se podría mejorar la situación actual.

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. Antecedentes internacionales

- Según Reyes Ramírez Carlos & Reyes Ramírez Juan (2020) en Colombia realizaron el estudio de la ***“Determinación de la socavación para las pilas del puente localizado en el Municipio de Riosucio Caldas”***, Este artículo tiene como objetivo determinar los parámetros de la socavación inicial por medio de los diversos parámetros del suelo y así poder mejorar las propiedades mecánicas de dicho suelo. Por lo que el artículo concluye con la identificación de las condiciones críticas y a su vez las que pueden llegar a presentar socavación, mediante el uso de diversos materiales y así finalmente poder lograr aumentar la resistencia al corte, hasta un rango que llegue a ser admisible para lograr una buena interacción con la estructura y así conseguir la estabilidad deseada.

- Según Bishwajit Singh, Tamphasana Devi, & Kumar (2020) en India, realizaron el estudio titulado ***“The local scour around bridge piers - a review of remedial techniques”***, Este artículo tiene como objetivo el explicar el proceso de la socavación local alrededor del pilar de un puente, además de ofrecer técnicas para la protección y control. El artículo explica las diferentes medidas para contrarrestar y prevenir dicha socavación local. Durante el desarrollo de la tesis se propone que una de las medidas son el uso de las piedras riprap siendo una forma de blindaje que se coloca al alrededor de todo el muelle la efectividad de esta forma de blindaje es buena, pero en el artículo concluyen que para obtener mejores resultados con eficiente del 100% se necesita realizar más investigaciones con el fin de estabilizar los prototipos y aplicarlo en el campo.

2.1.2. Antecedentes nacionales

- Según Encalada Rojas, Mario Kevin (2022) realizó una **“Evaluación de la Socavación Local en los pilares de concreto del Puente Ramis Puno 2020”**, en el marco de esta investigación, se plantea una evaluación exhaustiva de la estabilidad del puente Ramis, ubicado entre los distritos de Taraco y Huancané en el departamento de Puno. Este puente, sostenido por cinco pares de pilares circulares, ha sido objeto de estudio para determinar su resistencia ante diferentes escenarios hidrológicos. Para ello, se han utilizado los datos de caudales registrados en la estación Hidrométrica del Puente, los cuales desempeñan un papel fundamental en el cálculo del caudal de diseño máximo, siendo este de vital importancia para predecir la socavación local. Los resultados obtenidos en esta investigación resaltan la necesidad de implementar obras de protección adicionales en las zonas de mayor vulnerabilidad para garantizar la estabilidad y durabilidad del puente ante situaciones de riesgo.
- Según Aguinaga Ramírez & Higeiny Adubel (2019) realizaron **“Estudio de la socavación en los estribos del puente Cascajal - Olmos ante máximas avenidas”**, En la investigación se busca conocer la socavación general y local que se genera en los estribos del puente Cascajal en Piura ante las máximas avenida, durante el desarrollo de la investigación se utilizaron bases teóricas como son la de Liu, Chang y Skinner, así como también cabe mencionar la utilización del software de simulación “H-RAS”, teniendo como resultado el cálculo de las profundidades de socavación. Por lo que la investigación concluye que, a partir de las ecuaciones teóricas y las ecuaciones dadas por el programa, se escoge la más óptima y la que se ajusta más a la realidad y poder aplicarla para solucionar la falla.

2.1.3. Antecedentes locales

- Según Armas Meléndez, Mariana (2021) en la investigación **“Análisis de la socavación local en los pilares del puente Moche ubicado en la ciudad de Trujillo mediante simulación hidráulica en HEC-RAS”**, en el marco de esta investigación, se ha planteado como objetivo analizar detalladamente el fenómeno de la socavación local en los pilares del puente Moche a través del software "HEC-RAS". Los resultados obtenidos, reflejan una velocidad de flujo de 1.53 m/s y también una profundidad del tirante máximo de 3.18 m. Al ingresar estos datos del puente y el suelo, en el software en consideración, calcularon su socavación local que salio 1.71 m. Estos resultados son importantes para lograr comprender el problema que se genera mediante la socavación y a su vez contar con las medidas necesarias para mitigar los efectos de la socavación en los pilares de cualquier puente.
- Según Araujo Vazallo Alexandra & Perez Marin Durbys (2019) realizaron el **“Efecto de la Descolmatación del río Chicama aguas arriba del puente Victoria en la socavación de sus pilares”**, La investigación sobre la socavación en el Puente Victoria, situado en el río Chicama. Para lograr este desafío, se van a usar dos herramientas, uno unidimensional y otro es el bidimensional, a través de los programas Iber y Hec - RAS. Estos dos modelos van a permitir que se pueda simular el comportamiento hidráulico y a su vez hallar las condiciones que generan la socavación. Las herramientas que se usaran para la simulación van a permitir el tomar una buena decisión con fundamento en el diseño y por lo tanto también en la protección de la infraestructura que tendrá que ir en contra del fenómeno de socavación.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Modelo digital

Según (Felicísimo, 1994) en su libro “Modelos digitales del terreno: introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales”; Nos da como definición que un modelo de elevaciones (MDE) se conoce como una estructura de forma numérica en dónde se presentan datos los cuales representan una distribución espacial con respecto a la altitud que se tiene de la superficie del terreno evaluado.

Los modelos digitales de elevación son herramientas que nos permiten llevar la data topográfica de una realidad hacia los modelos que permiten estudiar algunas variables. Existen diversas herramientas para poder elaborar un DEM donde abarque el levantamiento topográfico como el hecho principal para lograr iniciar un modelo digital, donde se utilizará la estación total tanto como el GPS. En la actualidad, se ha incorporado el uso de los drones, donde estos son capaces de lograr un levantamiento topográfico mucha más preciso y a su vez más práctico.

2.2.2. Caracterización del suelo de fundación

2.2.2.1. Transporte y arrastre de sedimentos

El conocimiento que se logra tener del transporte de sedimentos es primordial para el análisis hidráulico fluvial y a su vez el lograr una excelente dinámica de los sistemas fluviales, que vendrían a ser el resultado de diversos fenómenos complejos que se generan en los cauces naturales. El considerar estos estudios beneficiará, en lo que respecta al desarrollo de los recursos para el cuidado de la naturaleza y la creación de soluciones a los diversos problemas ambientales que se tiene en la actualidad; algunos de sus usos consideran la sedimentación en embalses, la erosión y también la sedimentación en canales

naturales, las erosiones localizadas como es el fenómeno de socavación en los pilares de puentes, el diseño de estructuras con respecto al drenaje, etc.

El transporte de sedimentos genera que se tenga interacciones importantes entre un gran número de variables interrelacionadas, que vendrían a ser la velocidad del flujo, la pendiente del río a tratar, así también como la profundidad, el esfuerzo cortante que se genera, el valor que toma la fuerza del flujo, la rugosidad que presenta el canal, así como también el número de Froude, etc. A partir de ello se generan diferentes tipos de ecuaciones que se van a aplicar al flujo y lograr así resultados. El transporte que se genera de los sedimentos en el lecho del río respectivo, se divide en transporte en el lecho del río y también en transporte de sólidos en suspensión. Estos dos tipos de transporte de fondo van a afectar los procesos de erosión y de la sedimentación en río. A partir de ello se han propuesto diversas ecuaciones que se han basado en las propiedades como son las morfológicas, las propiedades hidráulicas y también de las sedimentarias locales a partir de los cursos de agua donde esto nos permitirá calcular el transporte de sedimentos. Su credibilidad está limitada por el rango de variabilidad que se tiene de los parámetros hidrodinámicos y de los sedimentológicos que ya se han procesado y han logrado ser validados. La capacidad que se tiene del transporte de sólidos en equilibrio, también se le considera como la capacidad de transporte.

2.2.2.2. Análisis Granulométrico

Los lechos de los ríos pueden ser granulares o cohesivos. En el primer caso, el lecho está constituido por partículas sueltas de distintos tamaños. Los ríos aluviales, que discurren sobre materiales transportados por el propio río,

tienen por ello lechos granulares. Un río puede tener también un cauce abierto en roca o materiales cohesivos; no por eso su contorno es fijo o inamovible pero las modificaciones del cauce serán muy lentas debido a la mayor resistencia a la erosión. Tras una erosión del fondo, un lecho cohesivo se puede restablecer en su fondo original, pero ya no como cohesivo sino como granular, y en esto se diferencia de los lechos granulares. (Vide, 2003)

La manera más común de analizar la distribución de tamaños en el lecho (o granulometría) es tamizar una muestra y pesar la fracción que pasa cada tamiz, pero es retenido en el siguiente. La representación gráfica de estas fracciones en un histograma es una versión discreta, en clases de tamaños, de una función de densidad de probabilidad de los tamaños. (Vide, 2003)

2.2.3. Estudio Hidrológico

2.2.3.1. Morfología de los ríos

La Morfología Fluvial viene a ser el estudio de las formas variadas que tienen los ríos. Cuando hablamos de la forma de los ríos, que vendría a ser su apariencia, debe entenderse que vendría a ser lo mismo que describirlos tal y como se ven desde el aire. (Rocha Felices, 2009)

Por lo que podemos interpretar que la morfología en los ríos, se encarga de estudiar su forma estructural del río, así como su conformación y su geometría tanto en la sección transversal, como también con respecto a la forma de fondo.

La morfología de un río va a generar que se estudie los diversos cambios que logra experimentar un río, tanto como en su trayecto, como en su sección transversal que vendría a ser el lecho y márgenes y finalmente su comportamiento del río depende altamente de la topografía que se tiene,

porque así logramos ver las condiciones en las que encontramos un río.

2.2.3.2. Caudal Máximo

El caudal dominante o también llamado formativo o efectivo, viene a definirse como el valor que determina la forma y las dimensiones del cauce principal del río. Es el caudal el que logra llenar el cauce activo del río, llegando hasta los márgenes y a su vez marca el inicio de tiene la inundación de la planicie aluvial. Asimismo, representa el caudal de crecida que más se usa en el modelado del cauce y también se ha definido como el más efectivo en lo que respecta al transporte de sedimento.

2.2.3.3. Lecho del Río

El lecho del río es la parte que se ubica en el fondo del valle y por lo tanto donde se genera una corriente de agua que se presenta a partir de la gravedad, no obstante, es el mismo en el cual se emplazan los pilares que forman parte del puente a considerar, continuamente se van a encontrar vulnerables a partir del fenómeno de erosión que se genera a partir del paso del agua y también con el tiempo se forma la socavación en el puente.

El lecho de un río también es llamado cauce, así como álveo o también madre; este mismo viene a ser la superficie de tierra en donde las aguas lo abarcan mayormente. Para que se realice un estudio de socavación de un puente se tiene que tener como conocimiento de que en si está compuesto y a su vez de las características específicas que presenta la sección del lecho de río en donde se aloja y formar la cimentación de la subestructura para así lograr evitar el fallo.

2.2.3.4. Período de retorno

Se define el período de retorno T , como un intervalo promedio que evalúa el tiempo en años, es por ello que un evento de magnitud (x) pueda ser igualado o también excedido, al menos una vez en promedio. Así que si un evento ya sea igual o mayor a (x), llega a suceder una vez en T años, su probabilidad de ocurrencia es P , que es igual a 1 en T casos. (Villon Bejar, 2007).

$$P(X \geq x) = \frac{1}{T}$$

Donde:

- $P(X \geq x)$: Probabilidad de ocurrencia de un evento $\geq x$.
- X : Variable aleatoria.
- x : Valor particular que toma la variable aleatoria.
- T : Período de retorno.

La probabilidad de que (x) no se ocasione en cualquier año; es decir, que la probabilidad de ocurrencia sea $< x$.

$$P(x < X) = 1 - P(X \geq x)$$

De donde:

$$P(x < X) = 1 - \frac{1}{T}$$

Entonces:

- $P(X < x)$: Probabilidad de excedencia.
- $P(X \leq x)$: Probabilidad de no excedencia.

2.2.3.5. Software Hydrognomon

Hydrognomon es un software ampliamente utilizado en el campo de la hidrología y la gestión de recursos hídricos. Desarrollado por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad Politécnica de Valencia (España), proporciona

una plataforma integral para la modelización y simulación de procesos hidrológicos en cuencas hidrográficas.

Algunas de las características y funcionalidades clave de Hydrognomon incluyen:

1. **Modelización hidrológica:** Permite la creación de modelos hidrológicos de cuencas hidrográficas, teniendo en cuenta factores como la topografía, la geología, el uso del suelo y la vegetación.
2. **Análisis de balance hídrico:** Facilita la evaluación de la distribución y disponibilidad del agua en una cuenca, ayudando a entender los flujos de entrada y salida de agua, así como los cambios en los niveles de almacenamiento.
3. **Simulación de caudales:** Permite predecir los caudales de los ríos y arroyos en función de diferentes escenarios hidrológicos, lo que es útil para la gestión de inundaciones, el diseño de infraestructuras hidráulicas y la planificación del uso del agua.

En resumen, Hydrognomon es una herramienta poderosa para los profesionales y expertos en hidrología, proporcionando capacidades avanzadas para la modelización, simulación y gestión de cuencas hidrográficas con el objetivo de garantizar un uso sostenible y eficiente de los recursos hídricos.

2.2.4. Simulación Hidráulica mediante el software HEC-RAS

2.2.4.1. Simulación Hidráulica

En la simulación hidráulica para la socavación local nos referimos al proceso de utilizar modelos y herramientas computacionales para simular y analizar el comportamiento del flujo de agua y la erosión en áreas específicas de un

cuerpo de agua, como estribos de puentes, pilares o estructuras cercanas a un cauce. Mediante la simulación hidráulica, podremos evaluar diversos factores, como la velocidad del flujo, la fuerza de arrastre de los sedimentos, la forma del lecho del río y otros parámetros relevantes, para predecir el grado de socavación que puede ocurrir en una ubicación específica. Estos modelos permiten a los ingenieros comprender cómo el flujo de agua interactúa con las estructuras y el lecho del río, lo que ayuda a prever los efectos de la erosión y tomar decisiones informadas en términos de diseño y protección de las infraestructuras.

2.2.4.2. Software HEC-RAS

El software que tendremos como herramienta es el HEC-RAS, este es desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, se caracteriza por ser herramienta especializada y muy utilizada para el análisis y el cálculo del fenómeno denominado socavación local que se generan a partir de estructuras hidráulicas y esto especialmente en los puentes. Gracias a la gran capacidad de esta herramienta para simular y lograr modelar el flujo ya sea en agua en ríos o canales, y esto a su vez nos va a permitir evaluar de manera exacta y bien detallada el riesgo que se presenta en los fenómenos como la erosión y socavación. HEC-RAS es una valiosa solución para realizar estudios hidráulicos complejos y nos ayudara a determinar las condiciones de flujo que pueden llegar a provocar problemas de socavación en diferentes estructuras. Su gran capacidad para el análisis y la simulación, brinda una buena opción para que los ingenieros evalúen diferentes alternativas y estrategias de protección para disminuir los efectos que llega a presentar la socavación, así como garantizar la estabilidad y la resistencia de las estructuras hidráulicas.

2.2.4.3. Coeficiente de Manning

a) Selección del Coeficiente de Rugosidad de Manning

Al aplicar la ecuación de Manning la mayor dificultad está en la determinación del coeficiente de rugosidad n , ya que no existe un método exacto para la selección del valor n . (Te Chow, 1994)

b) Factores que Afectan el Coeficiente de Rugosidad de Manning

A partir de los diversos factores que llegan a afectar el coeficiente de rugosidad de Manning, Cowan ha desarrollado un método para lograr estimar el valor de n . Esto se da mediante lo siguiente, donde n puede calcularse:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m_5$$

Donde:

- **n_0 :** Rugosidad base para un canal recto, uniforme, prismático y con rugosidad homogénea.
- **n_1 :** Rugosidad adicional debida a irregularidades superficiales del perímetro mojado a lo largo del tramo en estudio.
- **n_2 :** Rugosidad adicional equivalente debida a variación de forma y de dimensiones de las secciones a lo largo del tramo en estudio.
- **n_3 :** Rugosidad equivalente debida a obstrucciones existentes en el cauce.
- **n_4 :** Rugosidad adicional equivalente debida a la presencia de vegetación.
- **m_5 :** Factor de corrección para incorporar efecto de sinuosidad del cauce o presencia de meandros.

TABLA N°01: Criterio de Cowan para determinar la influencia de diversos factores sobre el coeficiente n

CONDICIONES DEL CANAL		VALORES	
MAERIAL INVOLUCADO	Tierra	no	0.020
	Corte en Roca		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
GRADO DE IRREGULARIDAD	Suave	n1	0.000
	Menor		0.005
	Moderada		0.010
	Severo		0.020
VARIACIONES DE LA SECCION TRANSVERSAL	Gradual	n2	0.000
	Ocasionalmente Alterante		0.005
	Frecuentemente Alterante		0.010 – 0.015
EFFECTO RELATIVO DE LAS OBSTRUCCIONES	Insignificante	n3	0.000
	Menor		0.010 – 0.015
	Apreciable		0.020 – 0.030
	Severo		0.040 – 0.060
VEGETACIÓN	Baja	n4	0.005 – 0.010
	Media		0.010 – 0.025
	Alta		0.025 – 0.050
	Muy Alta		0.050 – 0.100
GRADO DE LOS EFECTIVOS POR MEANDRO	Menor	m5	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

FUENTE: Vent te Chow (1959)

2.2.5. Socavación en puentes

2.2.5.1. Socavación Local

Esta situación se origina cuando un obstáculo se interpone a la trayectoria del flujo, por lo que esto conlleva a la formación de vórtices que hacen que finalmente disminuya la elevación del fondo, pero esto es solo en la zona que llega a rodear el obstáculo a tratar (Nava Olguin, 2013)

Mayormente todas las fallas que llegan a generarse en los puentes vienen a ser producto de la socavación y en general por la socavación de sus estribos o pilares en puentes, por lo cual este fenómeno tiene el 50% de las fallas que se llegan a originar en los puentes (Campa Rodriguez & Astorga Bustillos, 2015)

2.2.5.1.1. Efectos de la socavación local

Este fenómeno se provoca a partir de un cambio en la dirección que ya se tiene con respecto a las líneas de la corriente, tanto como la turbulencia y también la aceleración que se tiene del flujo. (Campa Rodriguez & Astorga Bustillos, 2015)

2.2.5.1.2. Variable que influyen en la socavación

2.2.5.1.2.1. Forma de las partículas

La geometría este no juega un papel significativo dentro del proceso de socavación, no obstante, en conjunto con el tamaño, si influye en ciertas propiedades físicas. La configuración con respecto a la geométrica puede ser analizada a través de parámetros como son la redondez, así como la esfericidad y también el factor de forma. (Quispe Ccahuin, 2019)

2.2.5.1.2.2. Régimen de flujo

El flujo viene a ser un tramo específico a partir de una corriente natural y esta se clasifica de acuerdo al número de Froude, que vendría a ser una relación adimensional entre las fuerzas inerciales y las fuerzas gravitacionales.

Con respecto al régimen supercrítico ($F > 1$), este flujo tiene lugar a una alta velocidad, es común en los cauces empinados o ríos de montaña. El régimen subcrítico ($F < 1$) viene a ser un flujo de baja velocidad dentro de áreas planas. El flujo crítico ($F = 1$) conlleva a un estado teórico en las corrientes naturales que realizan una marca en la transición a partir de los regímenes subcrítico y de los regímenes supercrítico. (Quispe Ccahuin, 2019)

2.2.5.2. Socavación General

La socavación general se refiere al proceso mediante el cual se produce el retiro o la erosión del material del lecho de un cuerpo de agua, como un río o un canal, debido al flujo de agua. Este proceso puede ser causado por varios factores, como la velocidad del agua, la dirección del flujo, la presión del agua y la naturaleza del material del lecho.

La socavación general es un fenómeno natural que puede tener importantes implicaciones en la ingeniería civil y ambiental. Por un lado, puede causar daños en estructuras cercanas al cuerpo de agua, como puentes, diques o edificios, al erosionar el suelo en el que están construidas. Por otro lado, puede alterar el ecosistema del cuerpo de agua al cambiar su forma y su dinámica hidrológica.

Para prevenir o mitigar los efectos de la socavación general, se pueden implementar diversas medidas de ingeniería, como la construcción de diques o enrocados para proteger

las estructuras cercanas al cuerpo de agua, la regulación del flujo de agua o la revegetación de las márgenes del río para estabilizar el suelo. Además, es importante realizar un monitoreo continuo de la evolución del lecho del río y de las condiciones hidrológicas para anticipar y gestionar adecuadamente los riesgos asociados a la socavación general.

2.2.6. Métodos de socavación local en pilares

2.2.6.1. Método de la Universidad Estatal de Colorado (CSU)

Hay ecuaciones desarrolladas por la Universidad Estatal de Colorado (CSU) para calcular la socavación local de los pilares ya sea en agua clara o también en un lecho móvil.

Esta ecuación se desarrolló con base en el análisis dimensional de los parámetros que afectan tanto el análisis de los datos de laboratorio, como la socavación. Este es el método más utilizado en los Estados Unidos (HEC-18, 1993, 1995) y uno de los dos métodos utilizados en el programa HEC-RAS (1998).

La ecuación que se usa para este método es:

$$\frac{y_s}{h} = 2.0 * K_f * K_\theta * K_c * K_a * \left(\frac{a}{h}\right)^{0.65} * F_r^{0.43}$$

Donde:

Y_s = Profundidad que presenta la socavación local (m).

h = Profundidad del flujo del pilar aguas arriba (m).

K_f = Factor que toma en cuenta la forma que tiene el pilar.

K_θ = Factor que toma en cuenta el ángulo del ataque de flujo.

K_c = Factor que toma en cuenta la forma que se presenta del lecho.

K_a = Factor que toma en cuenta el acorazamiento del sedimento de lecho.

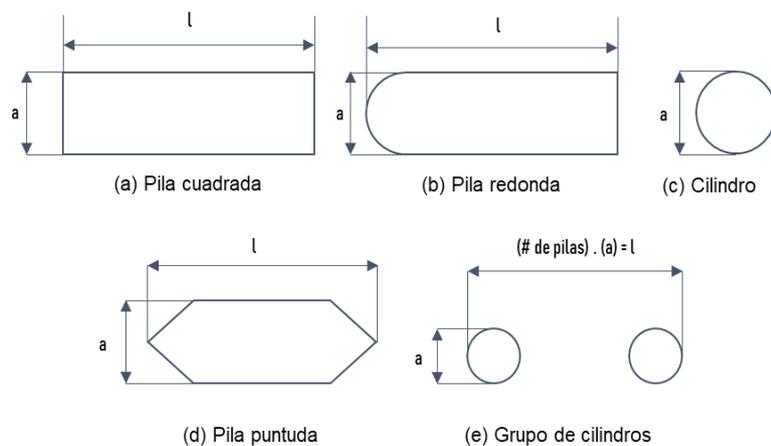
a = Ancho de pilar (m).

l = Longitud de la pila (m).

F_r = Es el número de Froude en el pilar dentro de la sección aguas arriba.

Para escoger el factor de corrección se debe escoger cual es la forma del pilar:

FIGURA N°02: Formas típicas de pila. HEC – 18. 1993



Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje.

TABLA N°02: Factor de corrección por la forma del pilar K_f método de CSU

FORMA DE LA PILA	K_f
Nariz cuadrada	1.1
Nariz redonda	1.0
Cilíndrica	1.0
Punta aguda	0.9
Grupo de cilindros	1.0

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje.

El factor de corrección K_f se va a hallar a partir de la tabla anterior, cuando se presenta un ángulo de ataque menor a

5°. En otro caso, el factor K_{ϕ} se denomina para ángulos mayores por lo que K_f y este debe ser tomado igual a 1.0, por lo tanto, el factor K_f debe tomarse solamente cuando las condiciones del flujo van a influir en toda la longitud de la pila presentada ya que el factor de corrección podría llegar a ser menor en otros casos.

TABLA N°03: Factor de corrección por el ángulo de ataque del flujo K_{ϕ} método de CSU

Angulo de ataque	$l/a = 4$	$l/a = 8$	$l/a = 12$
0°	1.00	1.00	1.00
15°	1.50	2.00	2.50
30°	2.00	2.75	3.50
45°	2.30	3.30	4.30
90°	2.50	3.90	5.00

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje.

En el caso de que l/a es mayor que 12, se usan los valores correspondientes a $l/a = 12$ como máximos.

$$K_{\phi} = (\sin \phi + \frac{1}{a} \sin \phi)^{0.65}$$

TABLA N°04: Factor de corrección por la forma del lecho K_c Método de CSU

Condición del lecho	Altura de la duna H [pies]	K_c
Socavación en aguas claras	N/A	1.1
Lecho plano y anti dunas	N/A	1.1
Dunas pequeñas	$2 < H < 10$	1.1
Dunas medianas	$10 < H < 30$	1.1 a 1.2
Dunas grandes	$H > 30$	1.3

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje.

TABLA N°05: Criterios para adoptar Ka

$D_{50} < 2mm$ o $D_{95} < 20mm$	Ka = 1.0
$D_{50} \geq 2mm$ o $D_{95} \geq 20mm$	Ka = 0.4 (V _R) ^{0.15}

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje.

En el caso de que el D50 sea mayor a 2mm o D95 sea mayor que el 20mm, se usa la siguiente formula:

$$Ka = 0.4 (V_R)^{0.15}$$

Donde V_R es:

$$V_R = \left[\frac{V_1 - V_{icD_{50}}}{v_{cD_{50}} - V_{icD_{50}}} \right] > 0$$

Donde V_{icD_x}

$$V_{icD_x} = 0.645 \left[\frac{D_x}{a} \right]^{0.053} V_{cD_x}$$

Donde:

V_R = Relación de la velocidad en (m/s).

V₁ = Velocidad de aproximación justo aguas arriba de la pila expresada en (m/s).

V_{icD_x} = Velocidad de aproximación requerida para iniciar socavación en la pila para el tamaño D_x de las partículas de sedimento (m/s).

V_{icD₉₅} = Velocidad de aproximación requerida para iniciar socavación en la pila para el tamaño D₉₅ del material de lecho (m/s).

V_{icD50} = Velocidad de aproximación requerida para iniciar socavación en la pila para el tamaño D50 del material de lecho (m/s).

V_{cDx} = Velocidad crítica para iniciar movimiento de partículas de tamaño Dx del material de lecho (m/s).

V_{cD50} = Velocidad crítica para iniciar movimiento de partículas de tamaño D50 del material de lecho (m/s).

a = Ancho de la pila (m).

$$V_{cDx} = 6.19 h^{1/6} D_x^{1/3}$$

V_{D50} = Tamaño de las partículas para la que el x por ciento del material del lecho es más fino (m).

V_{D50} = La profundidad del agua, aguas arriba del pilar sin incluir las socavación local (m).

2.2.6.2. Método de Laursen y toch (1953, 1956)

El método fue desarrollado por el Instituto de Hidráulica de Iowa y a su vez confirmado por ciertas mediciones en el sector del río Skunk ejecutadas por P.G. Hubbard en el mismo Instituto en la década de 1950. Desarrollado en condiciones de transporte continuo de sedimentos.

Este método se puede aplicar a suelos arenosos, pero no se sabe si se puede aplicar para gravas, pero está claro que no se puede aplicar para el caso de boleos.

Descubrieron que la profundidad máxima de socavación era independiente del flujo, ya que se retuvo el tirante y la formación de socavación no progresó, cuando la velocidad de la corriente aumentó significativamente.

Este argumento se basa en la suposición de que, dada una profundidad constante, los cambios en la velocidad de la corriente y el tamaño del sedimento producen cambios proporcionales en la zona de socavación y el límite de corte de la profundidad de socavación, y la capacidad de transporte de sedimentos.

Su principal preocupación es la socavación máxima y no se prevén criterios para cuando no exista arrastre dentro del fondo.

Los resultados se muestran gráficamente y se detallan en las siguientes ecuaciones:

- ***Caso del flujo de agua paralelo al eje mayor del pilar:***

$$y_s = K_f * K_g * a$$

Donde:

Y_s = Profundidad que presenta la socavación local calculada a partir del fondo del cauce expresado en (m).

K_f = Coeficiente que varía a partir de la forma de la nariz del pilar.

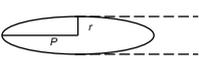
K_g = Coeficiente que varía a partir de la relación H_s/a

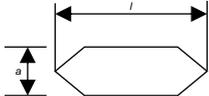
H_s = Profundidad presentada del agua después de generarse la socavación por contracción expresada en (m).

a = El ancho del pilar expresado en (m).

Donde K_f se escoge mediante las siguientes tablas:

TABLA N°06: Coeficiente K_f método de Lauser y Toch.

FORMA DE LA NARIZ		COEFICIENTE K_f DE SCHNEIBLE
RECTANGULAR $l/a = 4$		1.00
SEMICIRCULAR		0.90
ELIPTICA $\frac{p}{r} = \frac{2}{1}$ $\frac{p}{r} = \frac{3}{1}$		0.81
		0.75
LENTICULAR $\frac{p}{r} = \frac{2}{1}$ $\frac{p}{r} = \frac{3}{1}$		0.81
		0.69

FORMA DE LA NARIZ		SEGÚN TISON
BISELADA $l/a = 4$		0.78
PERFIL HIDRODINAMICO $l/a = 4$		0.75

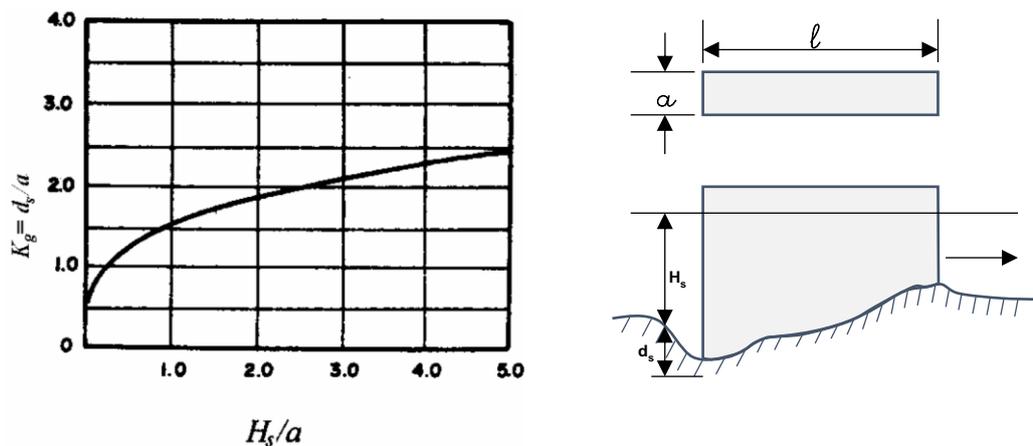
Fuente: Parte IV SOCAVACIÓN EN PUENTES

Para escoger el K_g se debe seguir el siguiente procedimiento, se debe conocer:

- La longitud del pilar (l)
- El ancho del pilar (a)
- Profundidad de agua que queda después de la socavación por contracción (H_s).

Ya que para encontrar el coeficiente K_g se obtendrá mediante un gráfico, el cual está relacionado con la división de la profundidad de agua que queda después de la socavación por contracción (H_s) y el ancho del pilar (a).

GRAFICA N°01: Coeficiente K_g del método de Lausen y Toch.



Fuente: Parte IV SOCAVACIÓN EN PUENTES

- **Pero en el caso de flujo de agua con ángulo de ataque al eje de mayor dimensión del pilar o también la profundidad de socavación no depende de la forma de la pila:**

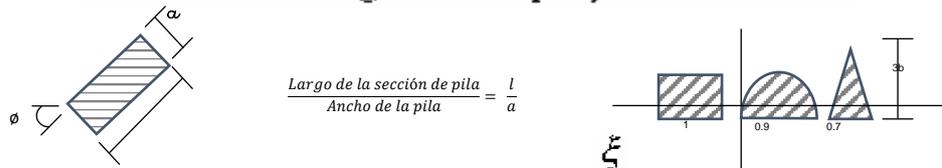
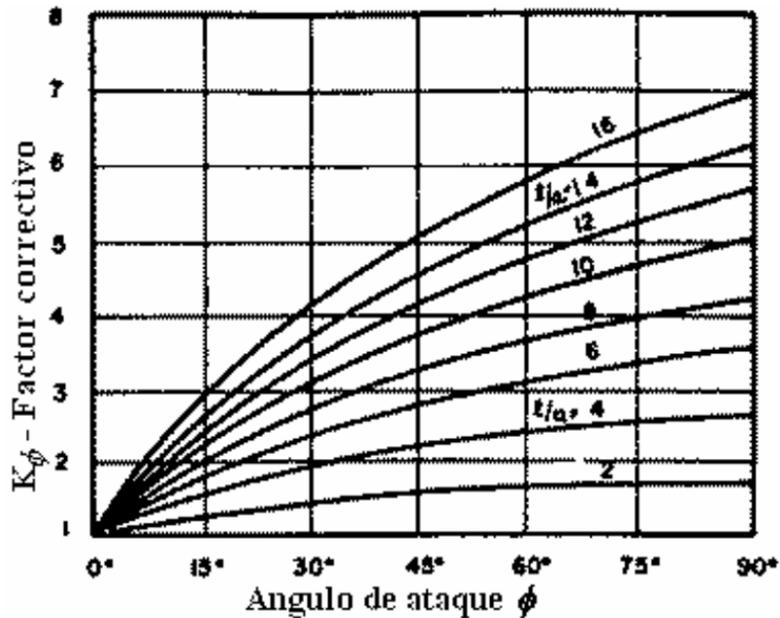
$$y_s = K_g * K_\phi * a$$

Donde:

K_ϕ = Coeficiente que se guía del ángulo de ataque del flujo y también de la geometría que presenta el pilar.

Según se plantea en las siguientes curvas en ángulos de ataque de 0° a 90° , donde se tiene en consideración el largo de la sección de la pila y el ancho de la pila como podemos ver a continuación:

GRAFICA N°02: Coeficiente K_ϕ teniendo en cuenta el ángulo de ataque.



Fuente: Parte IV SOCAVACIÓN EN PUENTES

2.2.6.3. Método de Larras (1963)

Larras nos brinda una ecuación teórica y otra práctica que deriva de las mediciones ya realizadas en diferentes puentes tras alguna avenida presentada. Larras se centró en la máxima profundidad que se presenta de socavación en situaciones cercanas a la velocidad crítica del movimiento de los sedimentos.

$$y_s = 1.05 * K * a^{0.75}$$

Donde:

y_s = Es la profundidad de socavación medida desde el fondo de cauce expresado en (m)

a = El ancho proyectado del pilar expresado en (m)

Donde el factor K es:

$$K = K_f * K_\phi$$

Donde:

K_f = Factor que toma en cuenta la forma que tiene el pilar.

K_ϕ = Factor que toma en cuenta el ángulo del ataque de flujo.

Por lo que en forma aproximada $K = 1.0$ para pilas cilíndricas y $K = 1.4$ para pilas rectangulares.

Por lo que la ecuación sería:

$$y_s = 1.05 * K_f * K_\phi * \alpha^{0.75}$$

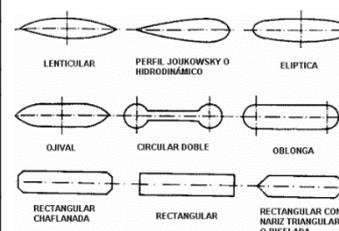
TABLA N°07: Factor de corrección K_f por forma de la pila.

FORMA DE LA PILA EN PLANTA	L/a del Pilar	kf				
		Chatou	Iowa	Tison	Escande	Venkatadri
Circular	1	1	1	1	1	
Lenticular	2		0.97			
	3		0.76			
	4	0.73		0.67		
	7			0.41		
Perfil hidrodinámico o joukowski	4	0.86				
	4.1			0.76		
	4.5				0.76	
Elíptica	2		0.91			
	3		0.83			
Ojival	4	0.92		0.86		
Circular doble	4	0.95				
Oblonga	1		1			
	1.5		1			
	2		1			
	3		1			
	4	1.03		1		
Rectangular chafanada	4			1.01		
Rectangular	0.25		1.3			
	4			1.4		
	4.5				1.25	
	5.3			1.4		
	9.3			1.4		
Nariz triangular a 60°						0.75
Nariz triangular a 90°						1.25
Nariz parabolica						0.56

Fuente: Parte IV SOCAVACIÓN EN PUENTES

TABLA N°08: Factor de corrección K por ángulo de ataque de flujo.

FORMA DE LA PILA EN PLANTA	L/a del Pilar	K _o					
		0°	10°	15°	20°	30°	45°
Circular	1.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Lenticular	2.0	0.91					
	3.0	0.76	0.98	1.02	1.24	1.13	
	4.0	0.76		1.12		1.50	2.02
Perfil hidrodinámico	4.0	0.86		1.09		1.40	1.97
	4.5					1.36	
Elíptica	2.0	0.91				1.13	
	3.0	0.83	0.98	1.06	1.24		
Ojival	4.0	0.92		1.18		1.51	
Oblonga	2.0	1.00				1.17	
	3.0	1.00	1.02	1.13	1.24		
	4.0	1.00		1.15		1.52	
	4.5					1.60	
Rectangular	2.0	1.11		1.38		1.56	1.65
	4.0	1.11		1.72		2.17	2.43
	4.5					2.09	
	6.0	1.11		2.20		2.68	3.05
	8.0	1.11		2.23		3.03	3.64
	10.0	1.11		2.48		3.43	4.16



Fuente: Parte IV SOCAVACIÓN EN PUENTES

2.2.6.4. Método de Neil (1964)

Las ecuaciones resultantes a partir del ajuste que se realizó a través de los datos experimentales en el fenómeno de la socavación en los pilares rectangulares y también de los circulares halladas por Laursen y Toch y estas fueron expresadas por Neill de la siguiente forma:

$$y_s = 1.5 * (a')^{0.7} * (h)^{0.3}$$

Donde:

y_s = Es la profundidad de socavación medida desde el fondo de cauce expresado en (m)

a' = El ancho proyectado del pilar expresado en (m)

h = La profundidad del flujo del pilar aguas arriba expresado en (m)

La ecuación brinda la máxima profundidad con respecto a la socavación que se espera a cualquier velocidad.

2.2.6.5. Método de Carsten (1966)

Es un método que logra estimar la erosión local presentada en los pilares en el lecho móvil, ante esto se debe tener en cuenta el tamaño del sedimento. No obstante, no se llega a considerar el ángulo de incidencia, ni tampoco la profundidad de equilibrio.

$$d_s = 0.54 a \left(\frac{N_s - 1.25}{N_s - 5.02} \right)^{\frac{5}{6}}$$

Para calcular N_s

$$N_s = \frac{V}{\sqrt{\Delta g D}}$$

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_w}$$

Donde:

N_s = Numero de sedimento

Δ = Densidad relativa (Tiene relación el peso específico del agua con el sedimento)

D = Tamaño del sedimento (m)

a = Ancho del pilar (m)

2.2.6.6. Método de Maza-Sánchez (1968)

Es el método utilizado para calcular la socavación en pilares a través de curvas que están en base a datos de laboratorio. Los parámetros claves que se tienen, son la profundidad del flujo, así como el ancho del pilar, el número de Froude y también el del ángulo de ataque. Se debe tener en consideración que este método no se aplica en suelos granulares y tampoco considera el tamaño del sedimento.

El procedimiento de este método de da inicio al determinar el número de Froude y para que luego se aplique un factor de corrección para pilares sesgados.

Si es que la pila esta sesgada con respecto al flujo y el valor $Fr^2 < 0.06$, se debe optar por trabajar con $fc=1.0$

Pero si la pila no está sesgada con respecto al flujo y el valor $Fr^2 \geq 0.06$, se de usar la siguiente tabla:

TABLA N°09: Factor de corrección Fc

FACTOR DE CORRECCIÓN FC				
ϕ	0°	15°	30°	45°
fc	1	1.25	1.4	1.45

Fuente: Manual de Hidrología, 2012

Proseguimos calculando la relación $\frac{h_1}{a'}$, donde a' vendría a ser la proyección del ancho del pilar con respecto a la dirección del flujo. Para calcular la profundidad de socavación, se elige un gráfico, que se pueden encontrar en el manual de Hidrología, la cual corresponda a la forma del pilar en análisis. Luego, se traza el valor Fr^2 en el eje horizontal y se interseca con la curva $\frac{h_1}{a'}$. En el eje vertical, se lee el valor de $\frac{h_s}{a'}$, lo que nos permite determinar el valor de Δs .

$$\Delta_s = H_s - h_1$$

Donde:

H_s = Profundidad posterior de la socavación (m)

Δ_s = Fondo de socavación que es medida desde el lecho del cauce (m)

2.2.6.7. Método de Breusers, Nicollet y shen (1977)

Breusers propuso este método a tratar en el año 1965, donde propone que la socavación en los pilares está directamente vinculada con su ancho, a partir de la siguiente expresión:

$$ds = 1.4 * a$$

No obstante, en el año 1977, Nicollet y Shen hicieron una contribución para el desarrollo de otro método en la cual se llegó a la siguiente ecuación:

$$ds = a * f_1 \left(\frac{V}{V_c} \right) * f_2 * \left(\frac{h}{a} \right) * (forma) * f_3 * f_4 \left(\phi \frac{L}{a} \right)$$

Para calcular f_1 :

$$f_1 \left(\frac{V}{V_c} \right) = 0; \text{ para } \frac{V}{V_c} \leq 0.5$$

$$f_1 \left(\frac{V}{V_c} \right) = 2 \left(\frac{V}{V_c} - 0.5 \right); \text{ para } 0.5 \leq \frac{V}{V_c} \leq 0.5$$

$$V_c = 21 * \left(\frac{R}{D_{50}} \right)^{\frac{1}{6}} * \sqrt{0.056 * \frac{Y_s - Y_w}{Y_w} * D}$$

Para calcular f_2 :

$$f_2 \left(\frac{h}{a} \right) = 2.0 \operatorname{Tanh} \left(\frac{h}{a} \right); \text{ para valores altos } f_2 \cong 2$$

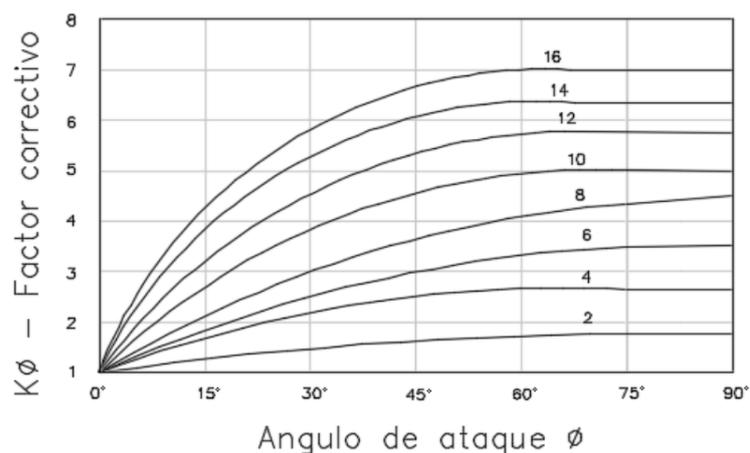
Para calcular f_3 :

- $f_3 = 1.00$ Para pilares circulares
- $f_3 = 0.75$ Para pilares de forma hidrodinámica
- $f_3 = 1.30$ Para pilares rectangulares

Para calcular f_A :

Para este cálculo se necesita la gráfica donde se relaciona el ángulo de ataque (ϕ) con las dimensiones del pilar (l/a) para calcular el factor de correlación K_ϕ

GRAFICA N°03: Factor correctivo K_ϕ



Fuente: Manual de hidrología, 2012

Donde:

Δs = Socavación (m)

a = Ancho del pilar

V = Velocidad media del flujo (m/s)

V_c = Velocidad crítica para el inicio del movimiento en las partículas del fondo (m/s)

h = Profundidad inicial del agua (m)

ϕ = Ángulo de ataque (°)

l = longitud del pilar (m)

R = Radio hidráulico (m)

D = Diámetro de acorazamiento del cauce = D84 (m)

Y_w = Peso específico del agua (N/m³)

Y_s = Peso específico del suelo (N/m³)

2.2.6.8. Método de Froehlich (1991)

El método de Froehlich, fue desarrollado por el Dr. David Froehlich, aquí es donde el utiliza este método para determinar la máxima profundidad que se genera en socavación en pilares a tratar. En si este método nos propone que no se agregue el ancho del pilar (a) a la ecuación, a menos que esta llegue a ser analizada en un caso particular. A partir del software Hec-Ras, se incorpora siempre este factor de corrección para poder lograr calcular la socavación en pilares. Para la ecuación se limite a un máximo que vendría a ser:

$$ds = \leq 2.4(a) \text{ para } F_{r1} \leq 0.8$$

$$ds = \leq 3.4(a) \text{ para } F_{r1} > 0.8$$

La ecuación está definida:

$$ds = 0.32\phi(a')^{0.62} * h_1^{0.47} * f_{r1}^{0.22} * D_{50}^{-0.09} + a$$

Donde:

ds = Socavación. (m)

kf = Es el factor de correlación para la forma de la nariz del pilar.

kf = 1.3 para nariz del pilar cuadrados

kf = 1.0 para nariz del pilar redonda

kf = 0.7 para nariz del pilar puntiaguda

a = Ancho del pilar. (m)

a' = Ancho del pilar en relación a la dirección del flujo. (m)

h = Fondo inicial aguas arribas del pilar. (m)

f_r = N° de Froude correspondiente aguas arribas del pilar.

D_{50} = Diámetro que corresponde al 50% de la curva granulométrica (m)

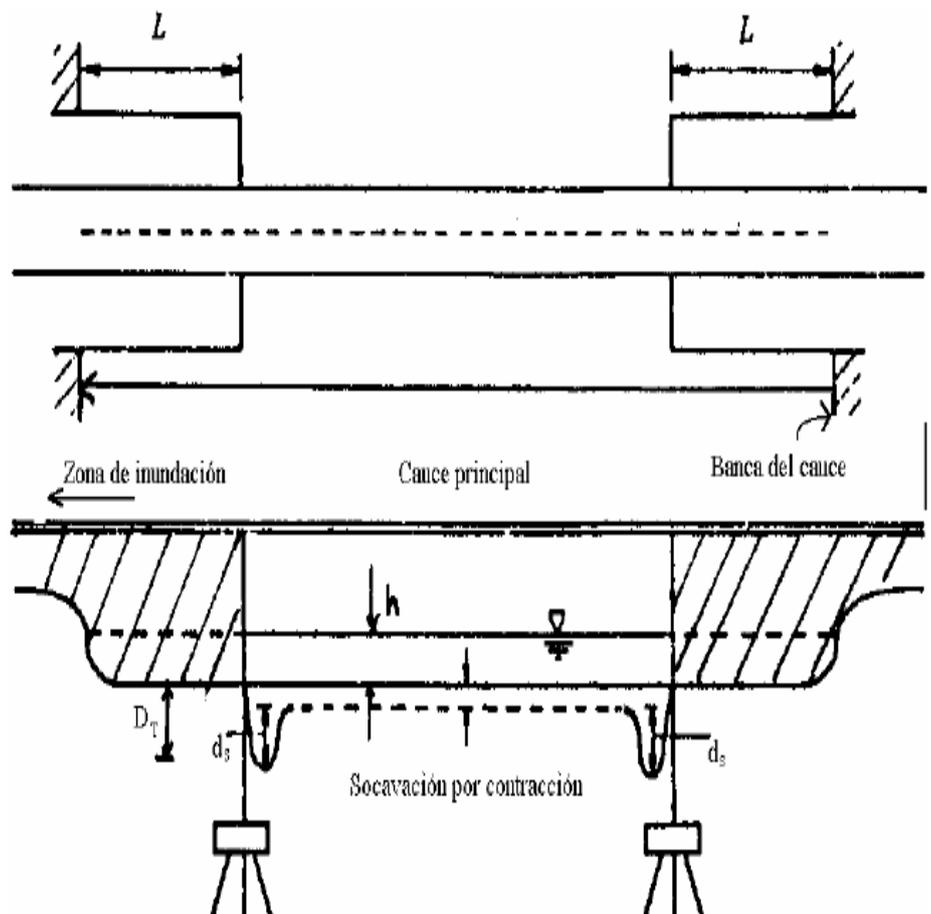
2.2.7. Metodo de socavación en estribos

2.2.7.1. Método de Liu, Chang y Skinner

Este método se fundamenta principalmente en la ecuación resultante de estudios de laboratorio y análisis dimensional realizados en 1961.

Esta ecuación se aplica para determinar las condiciones específicas que se ilustran en la figura adjunta, proporcionando una guía para resolver problemas relacionados con dichas condiciones.

FIGURA N°03: Estribos que se prolongan hasta el cauce principal y no existe flujo en la zona de inundación



Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje.

Se tiene la siguiente formula:

$$\frac{y_s}{h} = K_f \left(\frac{L}{h}\right)^{0.4} Fr^{0.33}$$

Donde se tiene las siguientes definiciones:

ys: Profundidad de socavación

h: Profundidad media del flujo arriba del cauce

L: Longitud del estribo y accesos al puente que se opone al paso del agua.

Kf: Coeficiente de corrección por forma del estribo. Es igual a 1.10 para estribos con pared inclinada hacia el cauce y 2.15 para estribos con pared vertical.

TABLA N°10: Coeficiente Kf a partir de la forma de estribo

Situación	Kf
Para estribos con pared inclinada hacia el cauce	1.10
Para estribos con pared vertical	2.15

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y drenaje

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}}$$

Donde:

Fr: Número de Froude en la sección de aguas arriba

V: Velocidad del flujo aguas arriba.

g: Gravedad

2.3. Marco Conceptual

➤ Galibo

Distancia vertical libre entre la parte inferior de la superestructura del puente y el nivel máximo alcanzado por el agua debajo del puente. (Felicísimo, 1994)

➤ Sedimentos

Compuestos por limo, arcilla, arena y otras partículas sueltas del suelo que se posan a lo largo del fondo de una masa de agua. (Farfán & Villena, 2021)

➤ Cauce

Es el continente de las aguas durante sus máximas crecientes. Es el espacio físico por donde fluye un curso de agua. (ANA, 2020)

➤ Erosión

Es desgaste que se genera en la superficie del suelo, roca o de los materiales en su totalidad, por la acción de agentes externos. (Nava Olguin, 2013)

➤ Área Hidráulica

Es el área de la sección transversal ocupada por el líquido dentro del conducto. (GRACIA, 2013)

➤ Tirante Hidráulico

Es la distancia vertical del punto más bajo de la sección hasta la superficie libre. El tirante hidráulico es la relación del área hidráulica al ancho de la superficie libre (SOTELO,1994)

➤ Presión

Es la fuerza que actúa sobre una superficie determinada. Una misma fuerza puede producir más o menos presión según la superficie sobre la que actúa sea menor o mayor. (MONGE, 2018)

2.4. Sistema de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

A través de la simulación con el software HEC-RAS y mediante los estudios analíticos, se va a lograr evaluar la socavación local en las subestructuras de los puentes Conache, Cacique, Santa Rosa y Moche. Dándonos como resultado de socavación de 1.20m a 2.80m.

2.5. Variables: Operacionalización de la variable

Se tiene como variable general analítica al estudio de la socavación local en las subestructuras de los puentes Conache, Cacique, Santa Rosa y Moche - Rio Moche, el cual contiene las siguientes dimensiones: Estudio de mecánica de suelos, hidrológicos, topográficos y gasto formativo.

TABLA N°11: Operacionalización de la variable

	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
VARIABLE ESTUDIO DE LA SOCAVACIÓN LOCAL	Remoción que realiza el agua del material sólido constituyente del lecho fluvial en los alrededores de ciertas estructuras como pilares y estribos. (Armas Meléndez, 2022)	El estudio de la socavación local se refiere a la evaluación y análisis de la erosión o excavación de material alrededor de los pilares, debido a la acción del agua o corrientes fuertes. Este estudio busca comprender y prevenir los posibles riesgos y daños y así tomar medidas adecuadas de diseño, construcción o mitigación para garantizar la estabilidad y seguridad de los puentes frente a este fenómeno.	Socavación Local	Método de la Universidad Estatal de Colorado
				Método de Lui, Chang y Skinner
			Estudio de Mecánica de suelos	Granulometría (%)
				Gravedad específica
				Contenido de humedad (%)
				Peso específico (gr.)
			Modelo Digital	Secciones transversales (m ²)
				Perfiles longitudinales (km, m)
			Simulación Hidráulica	Máximas Avenidas

FUENTE: Elaboración propia

III. METODOLOGIA EMPLEADA

3.1. Tipo y Nivel de Investigación

3.1.1. Tipo de Investigación

El tipo de investigación con respondiente a la orientación y/o su finalidad es **APLICADA** ya que tiene como objetivo el determinar una propuesta práctica para la realidad problemática.

3.1.2. Nivel de Investigación

El nivel de investigación de acuerdo a la técnica de contrastación es **DESCRIPTIVA** ya que de acuerdo a los objetivos se busca presentar información precisa y detallada para proporcionar una visión clara del estudio.

3.2. Población y Muestra de Estudio

3.2.1. Población

La población de estudio estará representada por todos los puentes que se encuentren a lo largo del rio Moche.

3.2.2. Muestra

Para nuestra muestra de estudio, se considerarían los cuatro puentes de estudio los cuales serían el puente: Conache, Casique, Santa Rosa y Moche.

FIGURA N°04: Los cuatro puentes de estudio.



FUENTE: Google Earth Pro

3.3. Diseño de Investigación

Estamos realizando un diseño de proyecto no experimental, descriptivo simple, por lo tanto, el esquema que se concluye es el siguiente:

M ----- O

Donde:

- **M:** Puentes Conache, Cacique, Santa Rosa y Moche donde discurre el río Moche.
- **O:** Mediciones de levantamiento topográfico, estudio de suelo y estudio hidrológico.

3.4. Técnicas e instrumentos de Recolección de Datos

3.4.1. Técnicas

- a) **Observación del lugar:** Se realizó el estudio e investigación in situ para analizar la problemática que presenta los puentes de estudio con la finalidad de obtener información previa al desarrollo del proyecto.
- b) **Entrevista:** Programar una entrevista con algún especialista responsable de la comisión de rehabilitación y limpieza del Río Moche.
- c) **Registro Histórico:** Se consiguió el registro histórico de los caudales máximos en la estación meteorológica del Río Moche.

3.4.2. Instrumentos

- Hec – Ras 6.3.1
- Qgis 3.32.3
- AutoCAD 2021
- Hydrognomon 4.1

3.5. Procesamiento y Análisis de datos

3.5.1. Estudio de Mecánica de suelos

- Se van a tomar muestras del material que ha sido encontrado en el margen del Rio Moche – Puentes Conache, Cacique, Santa Rosa y Moche.
- Dentro del laboratorio se van a llevar a cabo los ensayos tanto como el estudio de sedimentos.

3.5.2. Estudio Topográfico

Al tener el levantamiento topográfico se prosigue a:

3.5.2.1. Qgis 3.32.3

- Con este software se realizar una verificación a la data ya obtenida con la finalidad de levantar algunas observaciones.

3.5.2.2. Google Earth pro

- Con la ayuda de este aplicativo veremos las ubicaciones exactas de los puentes a estudiar, con ayuda de las coordenadas.

3.5.3. Estudio Hidrológico

Mediante este estudio se evaluará y conocerá las características de la cuenca, así como también se nos brindó los estudios hidrológicos para continuar con los estudios pertinentes.

3.5.4. Simulación Hidrológica

Una vez recolectado los resultados de los estudios; se tiene la información necesaria para ser ingresada en el software Hec – Ras. El software HEC- RAS nos va permite realizar la simulación hidráulica, esta simulación nos determinara las características hidráulicas, las cuales algunas de estas son: El caudal, el tirante y la velocidad en el tramo de la sección de estudio donde el flujo transcurre de una manera natural.

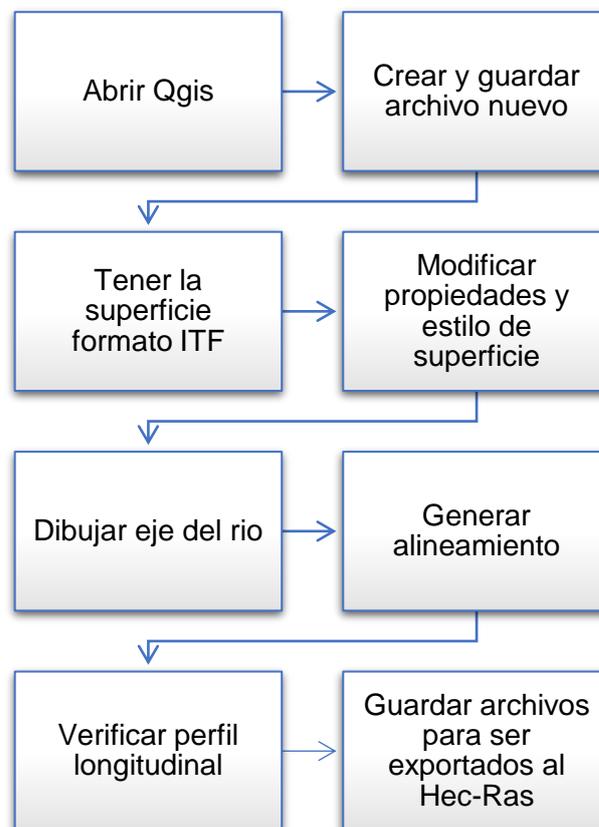
IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Propuesta de investigación

4.1.1. Modelo digital

Para obtener información detallada sobre la geometría del terreno en el área de estudio, crucial para realizar la simulación hidráulica del río Moche, se utilizó la data topográfica, con la finalidad de conocer los cuatro puentes de estudio en las cuales se generaron superficies, para cada uno de los puentes de estudio, el alineamiento horizontal y el perfil longitudinal del terreno.

FIGURA N°05: *Procesamiento en Qgis*



FUENTE: Elaboración propia

4.1.1.1. Puentes

La solicitud de los detalles geométricos del Puente Moche, Santa Rosa, Cacique y Conache se gestionarán bajo nuestras visitas hechas en campo.

4.1.2. Caracterización del suelo de fundación

Para el análisis de la socavación local en puentes, se llevó a cabo un proceso detallado para conocer la composición y las características específicas de la sección del lecho del río donde se encuentra cimentada la subestructura del puente. Este proceso se dividió en las siguientes etapas:

En campo:

Se realizaron cuatro calicatas ubicadas precisamente en los ejes de los puentes, cerca de los pilares. Se extrajo una muestra por cada calicata correspondiendo de la siguiente manera:

TABLA N°12: Distribución de calicatas

PUENTE	N° CALICATA	PROFUNDIDAD
PUENTE CACIQUE	C – 01	0.00 – 0.90
PUENTE CONACHE	C – 02	0.00 – 0.95
PUENTE SANTA ROSA	C – 03	0.00 – 0.85
PUENTE MOCHE	C – 04	0.00 – 0.95

FUENTE: Elaboración propia

En laboratorio y gabinete:

Se llevaron a cabo los ensayos de Análisis Granulométrico, siendo este ensayo primordial para determinar características importantes del suelo, como su clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), la gravedad específica, y los diámetros medios (D50) y (D95). Estos dos últimos son especialmente relevantes para la estimación de la socavación local.

Se aplicó normativa específica para cada ensayo en el laboratorio de mecánica de suelos, siguiendo estándares reconocidos en la disciplina.

4.1.3. Estudio Hidrológico

Con el propósito de determinar el caudal máximo para un periodo de retorno de 500 años, considerado y recomendado según la normativa para evaluar la profundidad de la socavación y la estabilidad de la cimentación ante eventos hidrológicos extremos. Este proyecto posee información de la estación Quirihuac, ubicada en las coordenadas: 8° 4'52.96" S, 78°52'23.26" O, a una cota de 196 m.s.n.m., cerca del puente de Fierro que cruza el río Moche.

Para garantizar resultados confiables, el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje sugiere un mínimo de 25 años de registro. Posteriormente, utilizando el software Hydrognomon y aplicando un análisis de frecuencia mediante distribuciones probabilísticas, se sometieron estas a una prueba de bondad de ajuste por el método de Smirnov-Kolmogorov. Se estimaron los caudales máximos para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100 y 500 años. Para la estimación de la socavación local en los pilares, se utilizó el caudal máximo para un periodo de retorno de 500 años, obtenido a partir de la distribución seleccionada, la cual mostró un mejor ajuste a la serie de datos en comparación con otras distribuciones. Se obtiene los valores máximos de precipitación de 24 horas para todos los años de estudio que proporciona la Autoridad Nacional del Agua (1950 – 2022). (agregar anexo precipitación de 24 h)

TABLA N°13: Registro de Caudales máximos anuales

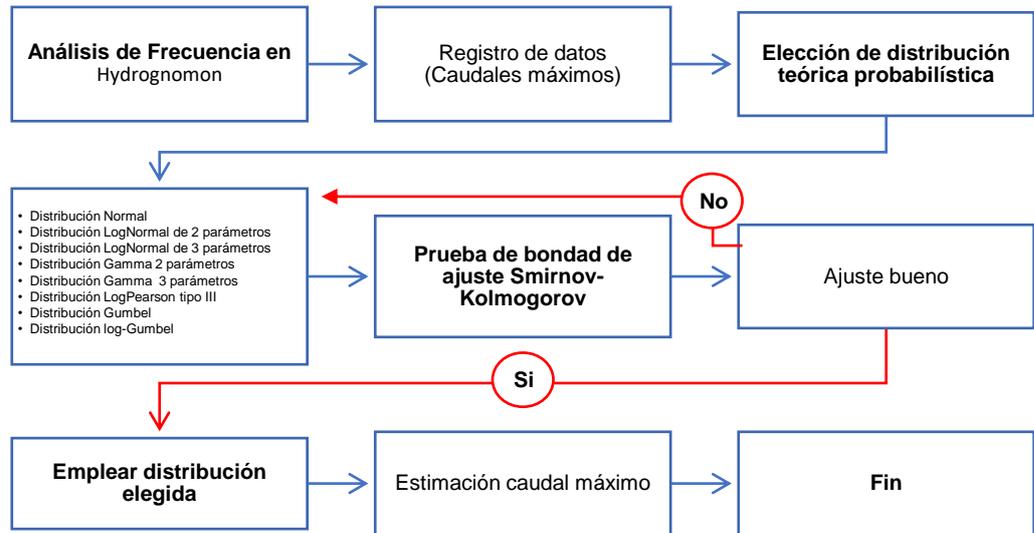
AÑO	CAUDAL MAXIMO (m³/s)
1950	56
1951	48.26
1952	170.17
1953	94.33
1954	93.26
1955	132.75

1956	212.88
1957	197.93
1958	88.33
1959	117.5
1960	198.63
1961	43.92
1962	180.31
1963	117.57
1964	119.19
1965	78.4
1966	58.45
1967	336.6
1968	23.42
1969	91.81
1970	96.1
1971	117.63
1972	138.25
1973	152.96
1974	50.29
1975	170.88
1976	112.85
1977	201.52
1978	24
1979	54.88
1980	56
1981	160
1982	90
1983	280
1984	152
1985	20.8
1986	72
1987	64
1988	98.53

1989	40
1990	22.64
1991	41.5
1992	26.06
1993	66.97
1994	204.8
1995	23.84
1996	64
1997	200
1998	1000
1999	240.36
2000	71.02
2001	150
2002	109.46
2003	42.51
2004	39.41
2005	38.96
2006	46.6
2007	47.26
2008	53.72
2009	61.01
2010	43.97
2013	125
2014	65.13
2015	203.33
2016	43.3
2017	187.13
2018	142.9
2019	51.27
2020	31
2021	40
2022	58.33

FUENTE: Estación Hidráulica Quirihuc

FIGURA N°06: Análisis de Frecuencia.



FUENTE: Elaboración propia

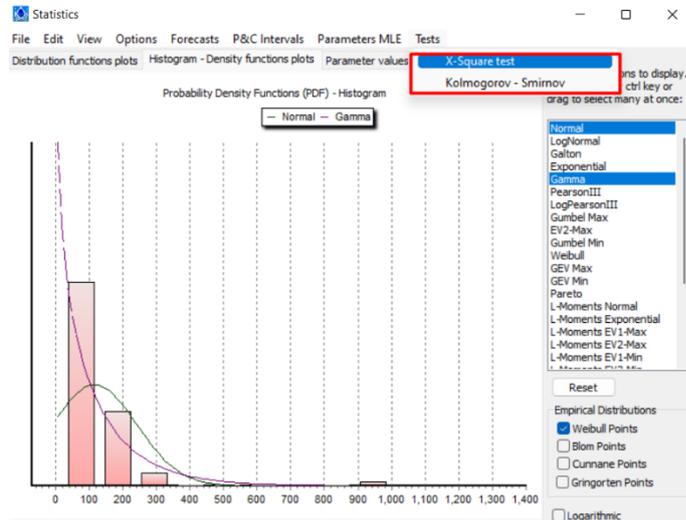
FIGURA N°07: Ingreso de la información de precipitación máxima de 24 horas máxima anual

	RIO MOCHE
1950	56.00
1951	48.26
1952	170.17
1953	94.33
1954	93.26
1955	132.75
1956	212.88
1957	197.93
1958	88.33
1959	117.50
1960	198.63
1961	43.92
1962	180.31
1963	117.57
1964	119.19
1965	78.40

FUENTE: Extraída de Hydrognomon

Y se procesa con las diversas distribuciones probabilística que tiene la plataforma.

FIGURA N°08: Distribuciones probabilística de la plataforma Hydrognomon



FUENTE: Extraída de Hydrognomon

La Elección de la distribución probabilística que se ajusta mejor, se basa en la prueba bondad de ajuste (Kolgomorov Smirnov).

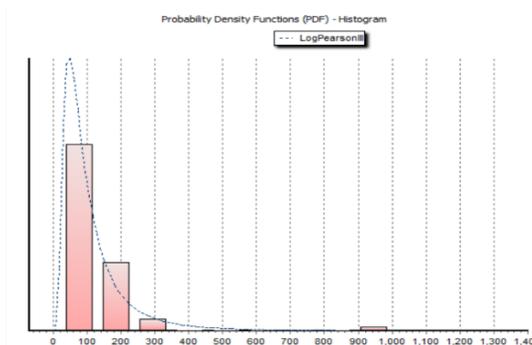
FIGURA N°09: Prueba Bondad de Ajuste (Kolgomorov Smirnov y Chi-Cuadrado)

Kolmogorov-Smirnov test for: All data	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	REJECT	REJECT	REJECT	0.28203%	0.21500
Normal (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	REJECT	5.13737%	0.16058
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	34.7946%	0.11081
Galton	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	59.6410%	0.09118
Exponential	REJECT	REJECT	REJECT	0.21833%	0.21915
Exponential (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	56.3615%	0.09353
Gamma	REJECT	REJECT	REJECT	0.21735%	0.21923
Pearson III	REJECT	REJECT	REJECT	0.40923%	0.20882
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	94.7265%	0.06207
EV1-Max (Gumbel)	REJECT	REJECT	REJECT	0.21228%	0.21961
EV2-Max	REJECT	REJECT	REJECT	0.13284%	0.22700
EV1-Min (Gumbel)	REJECT	REJECT	REJECT	0.17353%	0.22281
EV3-Min (Weibull)	REJECT	REJECT	REJECT	0.32576%	0.21263
GEV-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	16.4439%	0.13263
GEV-Min	ACCEPT	REJECT	REJECT	2.39245%	0.17655
Pareto	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	28.8876%	0.11664
GEV-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	93.6606%	0.06355
GEV-Min (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	87.3445%	0.07037
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	31.4547%	0.11401
EV2-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	27.7327%	0.11787
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	0.16732%	0.22339
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	44.2467%	0.10269

FUENTE: Extraída de Hydrognomon

En base a la prueba bondad de ajuste de Kolgomorov Smirnov, nos menciona que la distribución Log Pearson III) es la que más se adecua, cabe mencionar que es una distribución recomendada en el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, del Ministerio de Transporte y Comunicaciones. Donde se visualiza la curva de la distribución que se ajusta mejor, en su histograma de valores máximos anuales.

FIGURA N°10: Distribuciones probabilística de la plataforma Hydrognomon



FUENTE: Extraída de Hydrognomon

Teniendo identificado la distribución, se utiliza el valor pico para un periodo de retorno de 500 años.

FIGURA N°11: Distribuciones probabilística – caudal de diseño de la plataforma Hydrognomon

All data - T(Max)= 500.000 y	Value
Normal	479.382
Normal (L-Moments)	365.877
LogNormal	1005.52
Galton	1024.6
Exponential	775.309
Exponential (L-Moments)	628.051
Gamma	802.613
Pearson III	1107.24
Log Pearson III	1010.02
EV1-Max (Gumbel)	671.677
EV2-Max	963.519
EV1-Min (Gumbel)	352.35
EV3-Min (Weibull)	821.128
GEV-Max	958.554
GEV-Min	1080.87
Pareto	996.591
GEV-Max (L-Moments)	1047.15
GEV-Min (L-Moments)	727.631
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	514.989
EV2-Max (L-Moments)	1539.24
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	285.518
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	537.624
Pareto (L-Moments)	826.549
GEV-Max (kappa specified)	850.152
GEV-Min (kappa specified)	409.98
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	691.005
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	318.979

FUENTE: Extraída de Hydrognomon

4.1.4. Simulación Hidráulica mediante el software HEC-RAS

La simulación hidráulica en HEC-RAS proporcionó una visión detallada de las características del flujo del río Moche, considerando un periodo de retorno de 500 años. Este análisis abordó aspectos cruciales como el caudal, la velocidad y el tirante hidráulico en diversas secciones naturales del lecho del río.

Una vez completada la simulación, el software integró nuevamente las dimensiones de los pilares y las características del flujo, incluyendo detalles como la profundidad del tirante y la velocidad en la sección aguas arriba del puente. Este enfoque integral permitió comprender cómo las condiciones hidráulicas varían a lo largo del río y afectan las estructuras de los puentes. Por lo que es fundamental contar con la siguiente información:

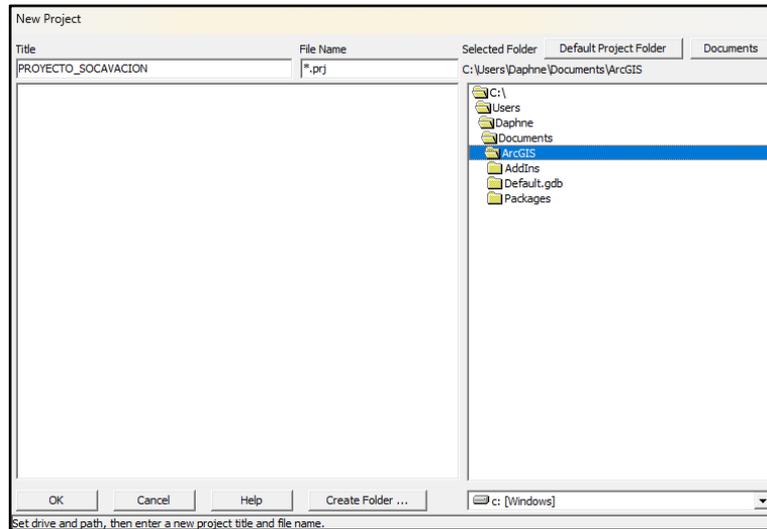
- Terreno del río Moche seccionado cada 15m.
- Progresiva donde se ubica el puente Moche y sus dimensiones.
- Pendiente del terreno.
- Caudal máximo para un Tr de 500 años.
- Coeficientes de rugosidad del cauce (n Manning).

La simulación hidráulica en HEC-RAS proporcionó una visión detallada de las características del flujo del río Moche, considerando un periodo de retorno de 500 años. Este análisis abordó aspectos cruciales como el caudal, la velocidad y el tirante hidráulico en diversas secciones naturales del lecho del río.

Una vez completada la simulación, el software integró nuevamente las dimensiones de los pilares y las características del flujo, incluyendo detalles como la profundidad del tirante y la velocidad en la sección aguas arriba del puente. Este enfoque integral permitió comprender cómo las condiciones hidráulicas varían a lo largo del río y afectan las estructuras de los puentes.

Teniendo ya el valor pico del caudal, se procede a crear un nuevo proyecto en el software HEC-RAS, considerando unidades de sistema internacional.

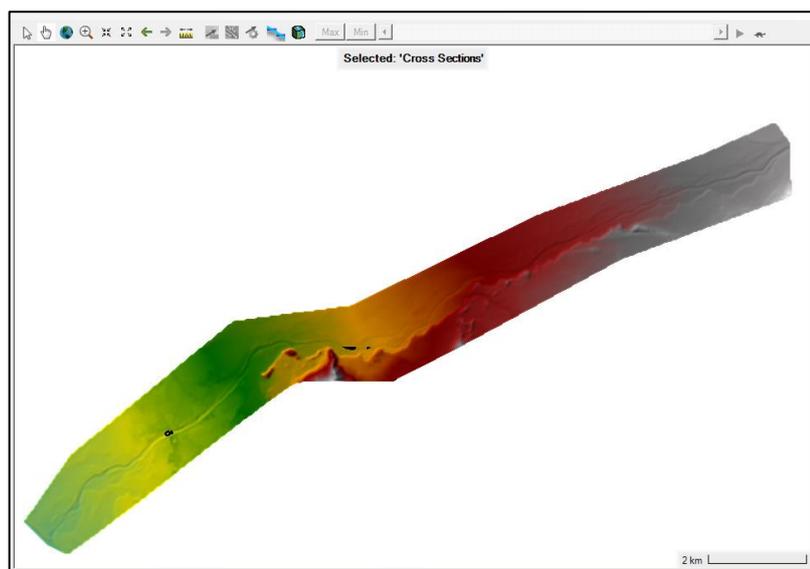
FIGURA N°12: Creación del nuevo proyecto.



FUENTE: Extraída de HEC-RAS.

Para el modelamiento de nuestra tesis ingresamos el modelo digital de elevación (DEM)

FIGURA N°13: Importación del Modelo digital de elevación.



FUENTE: Extraída de HEC-RAS.

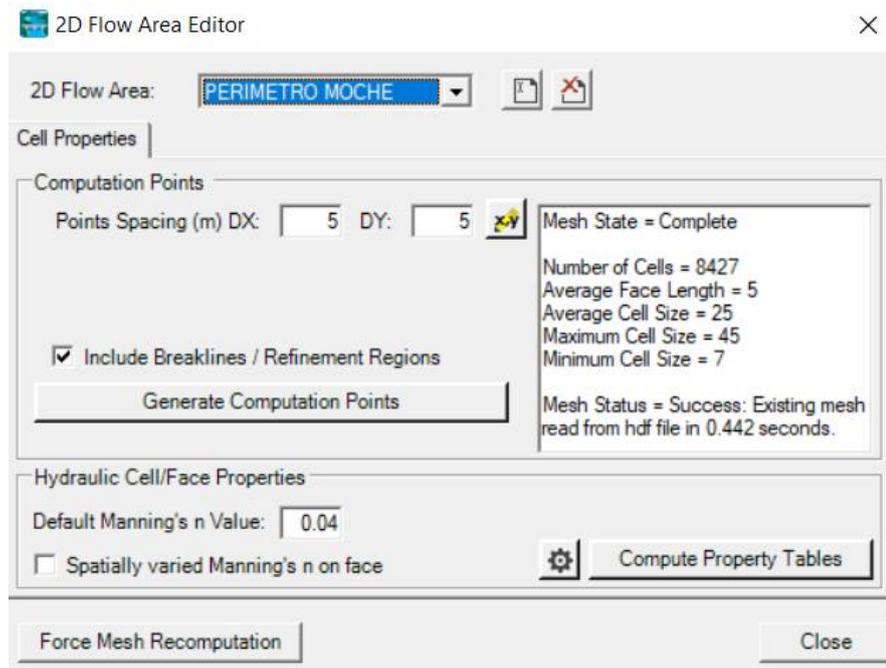
Se ha generado un modelo bidimensional (2D) dimensionado con una malla de 5mx5m, con el propósito de conocer el comportamiento de las precipitaciones.

FIGURA N°14: malla creada para cada uno de los puentes a evaluar



FUENTE: Extraída de HEC-RAS.

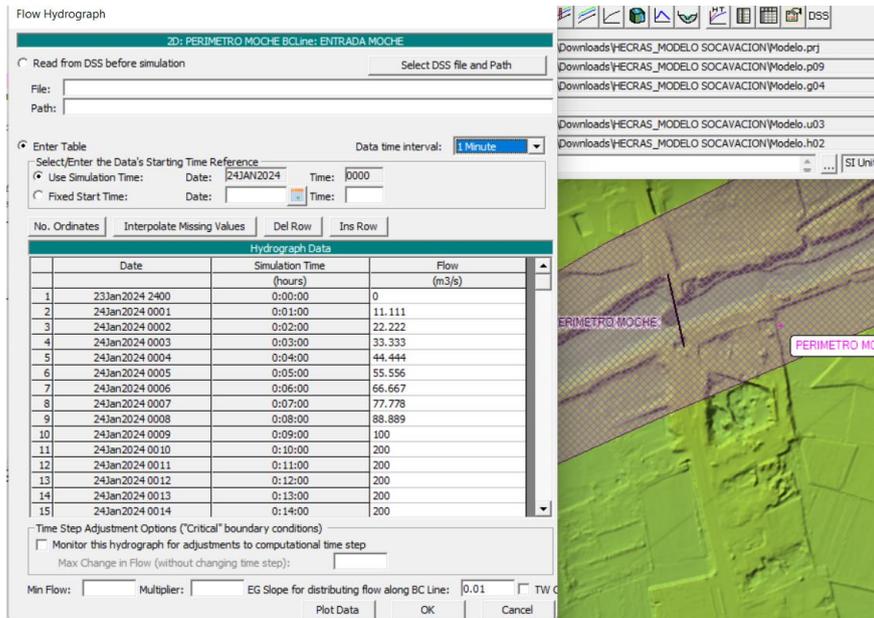
FIGURA N°15: Datos para la malla.



FUENTE: Extraída de HEC-RAS.

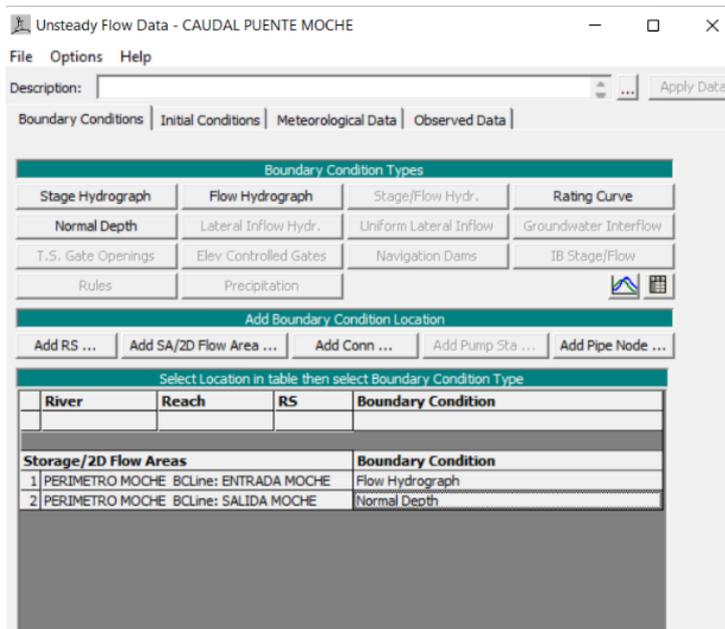
Se ingresó la data de las precipitaciones registradas con un intervalo de 1 min. Para un periodo de retorno de 500 años con un caudal de $Q = 1010.02 \text{ m}^3/\text{s}$

FIGURA N°16: ingreso de datos de las precipitaciones en HEC.RAS



FUENTE: Extraída de HEC-RAS.

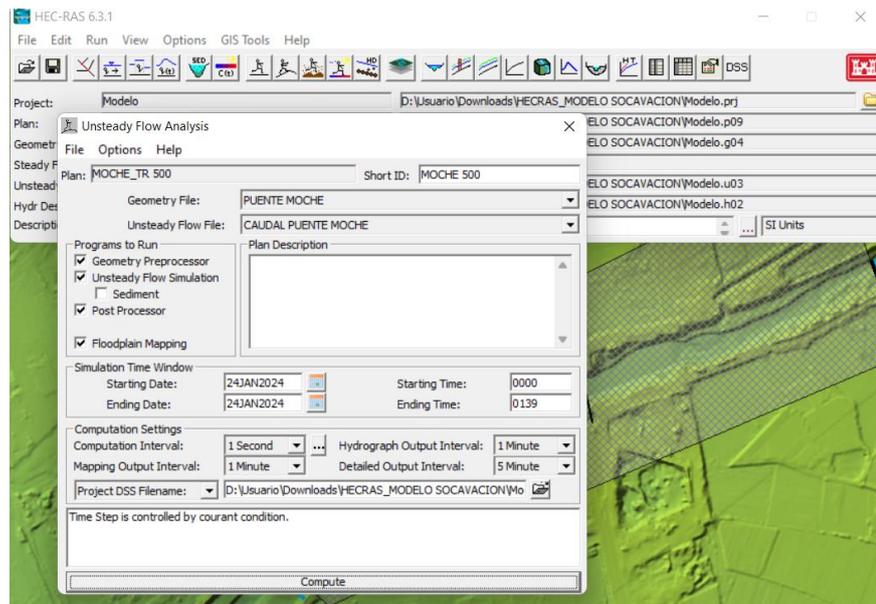
FIGURA N°17: Selección de la condición de contorno



FUENTE: Extraída de HEC-RAS.

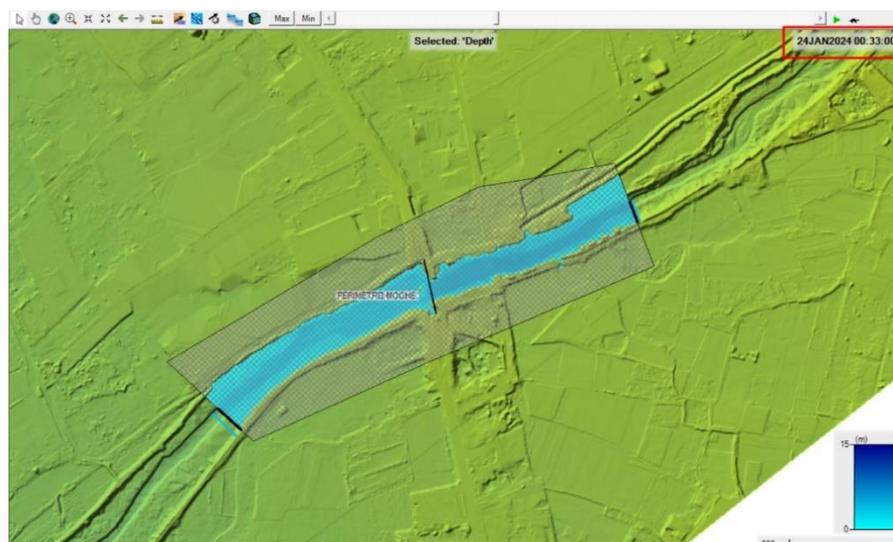
Una vez ingresada toda la data procedimos a realizar la corrida para el periodo de retorno de 500 años. Lo que nos permitirá hacer un análisis más realista y detallado para el comportamiento de las precipitaciones con el pasar del tiempo

FIGURA N°18: Programación para la corrida del periodo de retorno de 500 años



FUENTE: Extraída de HEC-RAS.

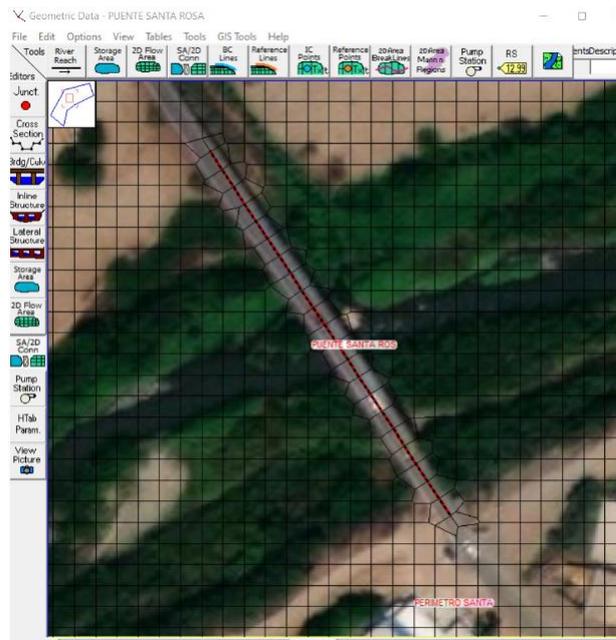
FIGURA N°19: Resultado de la simulación para el periodo de retorno de 500 años – perímetro moche



FUENTE: Extraída de HEC-RAS.

Se procede a diseñar la estructura de los cuatro puentes a tratar (PUENTE MOCHE, SANTA ROSA, CACIQUE Y CONACHE) Seleccione el área SA/2D herramienta de capa de conexión y dibujar la línea central del puente de izquierda a derecha hacia abajo

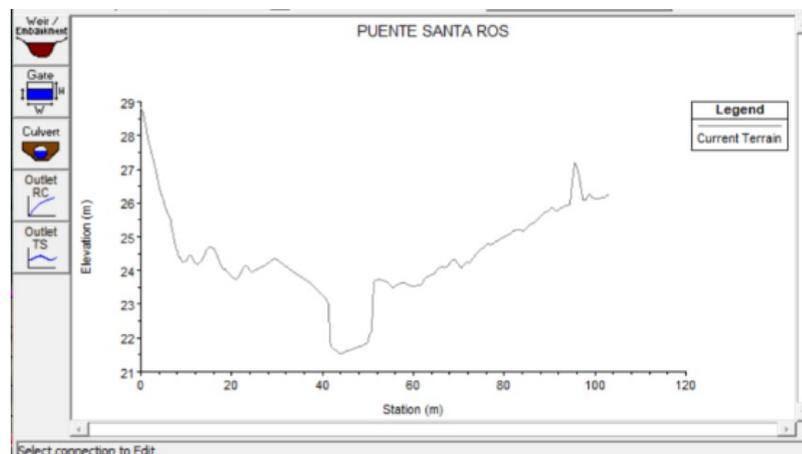
FIGURA N°20: Conexión 2D como Línea de quiebre



FUENTE: Extraída de HEC-RAS.

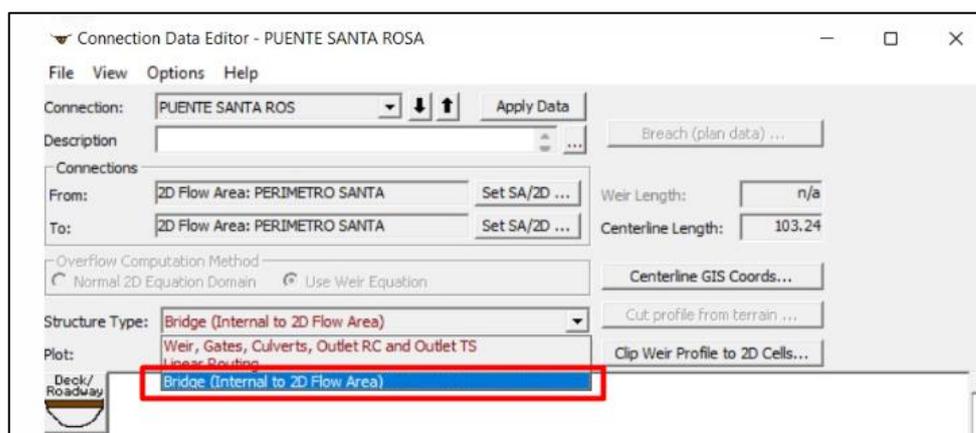
Ingresar Datos del puente abriendo datos geométricos y seleccionando el tipo de estructura: puente

FIGURA N°21: Sección del terreno



FUENTE: Extraída de HEC-RAS.

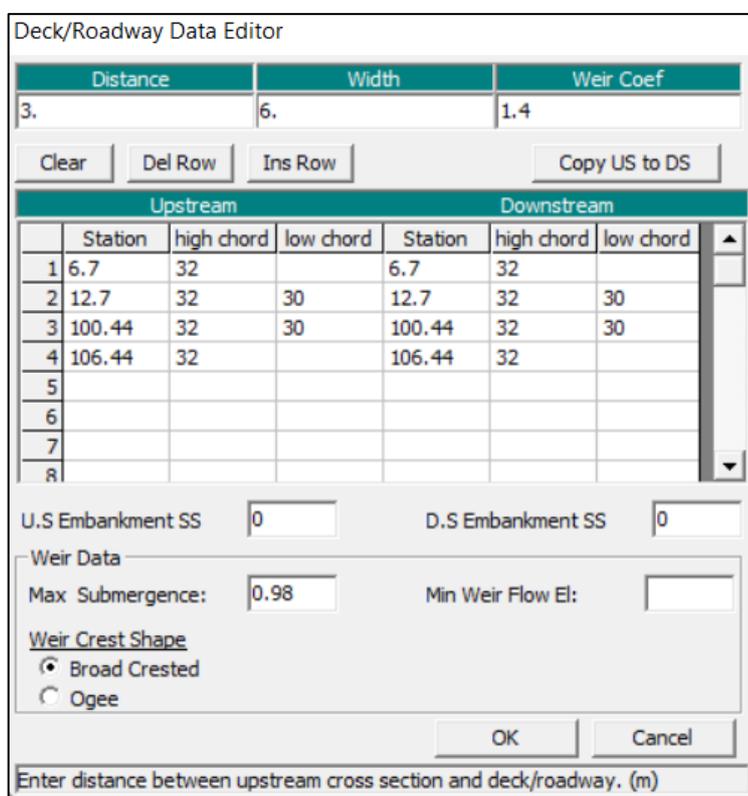
FIGURA N°22: Tipo de estructura



FUENTE: Extraída de HEC-RAS.

Se procede a ingresar las dimensiones del tablero y los pilares que le corresponde al puente de estudio, donde se ingresa valores relacionados al tipo de sección de los pilares. Así como también de los estribos que dan soporte el tablero.

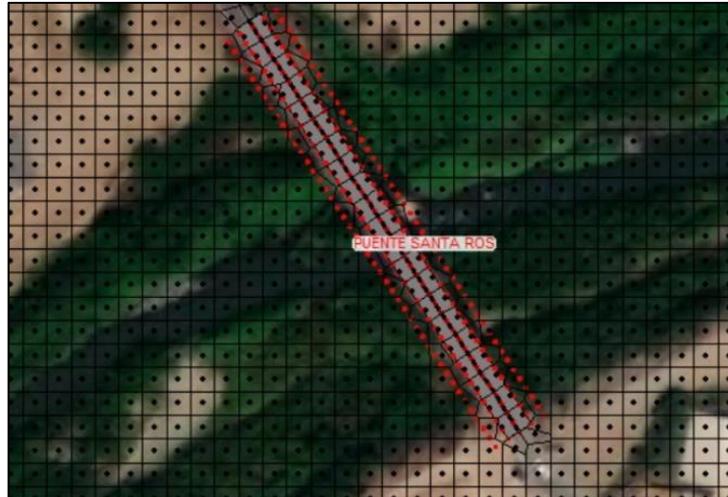
FIGURA N°23: Ingreso de las dimensiones del tablero del puente.



FUENTE: Extraída de HEC-RAS.

HEC-RAS crea automáticamente las cuatro secciones transversales necesarias para procesar la hidráulica del puente en una familia de curvas

FIGURA N°24: Secciones transversales automatizadas



FUENTE: Extraída de HEC-RAS.

FIGURA N°25: Ingreso de las dimensiones de los pilares del puente.

Pier Data Editor

Add Copy Delete Pier # 1

Del Row Centerline Station Upstream 30

Ins Row Centerline Station Downstream 30

Floating Pier Debris

All On ... All Off ... Apply floating debris to this pier

Set Wd/Ht for all ... Debris Width:

Debris Height:

	Upstream		Downstream		
	Pier Width	Elevation	Pier Width	Elevation	
1	3	20.25	3	20.25	
2	3	30	3	30	
3					
4					
5					

OK Cancel Help Copy Up to Down

Select the Pier to Edit

FUENTE: Extraída de HEC-RAS.

FIGURA N°26: Ingreso de las dimensiones de los estribos.

Sloping Abutment Data Editor

Add Copy Delete Abutment # 1 ↓ ↑

Del Row Ins Row

	Upstream		Downstream	
	Station	Elevation	Station	Elevation
1	12.7	30	12.7	30
2	14.7	30	14.7	30
3				
4				
5				
6				
7				

OK Cancel Help Copy Up to Down

Select Abutment to Edit

FUENTE: Extraída de HEC-RAS.

Luego se procede a colocar variables correspondientes a los tipos de secciones de los pilares, en base a sus coeficientes “Cd” y “K”

FIGURA N°27: Configuración de la simulación con Puentes.

Connection Bridge Modeling Approach Editor

Low Flow Methods

Use Compute

Energy (Standard Step)

Momentum Coef Drag Cd 1.2 ?

Yarnell (Class A only) Pier Shape K 0.9 ?

Highest Energy Answer

High Flow Methods

Energy Only (Standard Step)

Pressure and/or Weir

Submerged Inlet Cd (Blank for table) []

Submerged Inlet + Outlet Cd 0.8

Max Low Chord (Blank for default) []

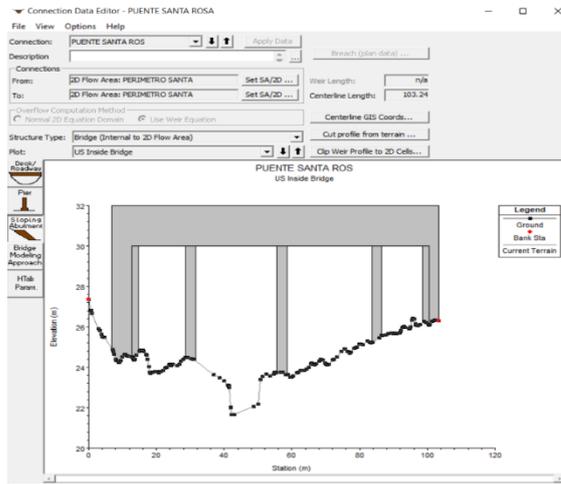
OK Cancel Help

Enter Cd coefficient for momentum computations

FUENTE: Extraída de HEC-RAS.

Y se tiene el puente a detalle, considerando que el límite del modelo 1D para generar estos tipos de estructuras, es que no podemos detallar la sección real del puente, solamente relacionarlo con coeficientes.

FIGURA N°28: Sección a detalle del puente.



FUENTE: Extraída de HEC-RAS.

Y con ello, procedemos a agregar el dato de n de Manning para las secciones

FIGURA N°29: Numero de Manning

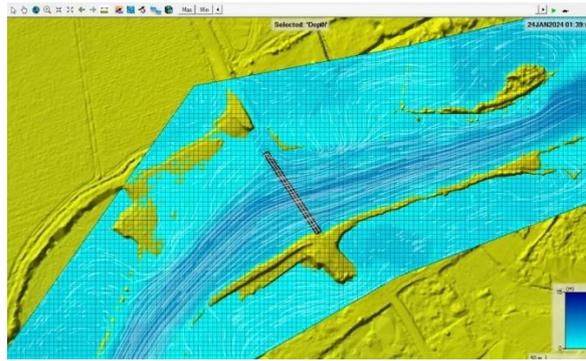
Bridge Cross Sections

Upstream Outside				Upstream Inside				Downstream Inside				Downstream Outside			
Main Channel Bank Stations															
Left Bank Sta	Right Bank Sta			Left Bank Sta	Right Bank Sta			Left Bank Sta	Right Bank Sta			Left Bank Sta	Right Bank Sta		
0	103.235			0	103.235			0	103.235			0	103.235		
Cross Section X-Y Coordinates				Cross Section X-Y Coordinates				Cross Section X-Y Coordinates				Cross Section X-Y Coordinates			
Station	Elevation	Mann n		Station	Elevation	Mann n		Station	Elevation	Mann n		Station	Elevation	Mann n	
1	0	26.031	0.04	1	0	27.356	0.04	1	0	29.294	0.04	1	0	28.833	0.04
2	0.79	25.631		2	0.736	26.82		2	0.206	29.197		2	0.368	28.807	
3	1.297	25.398		3	0.978	26.667		3	0.929	28.731		3	1.268	28.781	
4	1.629	25.213		4	2.771	25.919		4	1.919	28.132		4	2.644	28.782	
5	2.742	24.756		5	3.264	25.819		5	2.735	27.668		5	3.061	28.737	
6	3.422	24.564		6	3.625	25.647		6	3.981	26.997		6	3.257	28.672	
7	4.02	24.478		7	3.967	25.52		7	4.902	26.438		7	3.618	28.512	
8	4.547	24.444		8	4.348	25.486		8	5.806	25.968		8	4.341	27.94	
9	4.909	24.401		9	4.564	25.495		9	6.719	25.578		9	5.382	27.285	
10	6.266	24.209		10	4.709	25.481		10	7.895	25.014		10	6.295	26.746	
11	7.179	24.124		11	6.955	24.885		11	8.544	24.685		11	6.647	26.602	
12	10.83	23.899		12	7.237	24.782		12	9.09	24.344		12	7.207	26.417	
13	11.048	23.731		13	7.552	24.623		13	9.688	24.136		13	7.842	26.153	
14	11.41	22.884		14	7.959	24.392		14	10.286	24.028		14	9.036	25.61	
15	11.743	22.574		15	8.15	24.319		15	11.041	24.093		15	9.635	25.355	

FUENTE: Extraída de HEC-RAS.

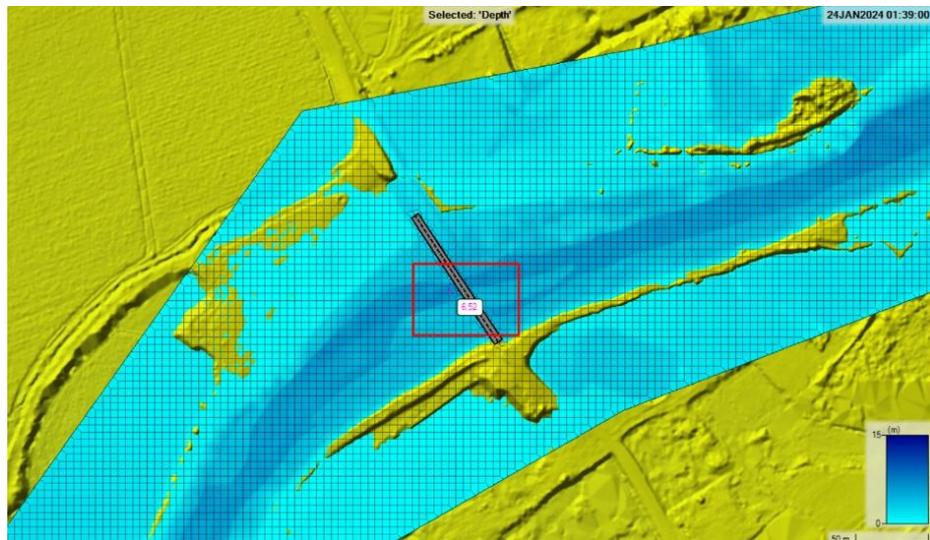
Al completar el diseño del puente se procede a realizar la corrida con todo y la estructura para un periodo de retorno de 500 años donde podremos determinar tirante y velocidad más crítica que se puede llegar a presentar y así poder hallar el cálculo de socavación

FIGURA N°30: Corrida de la simulación con puente



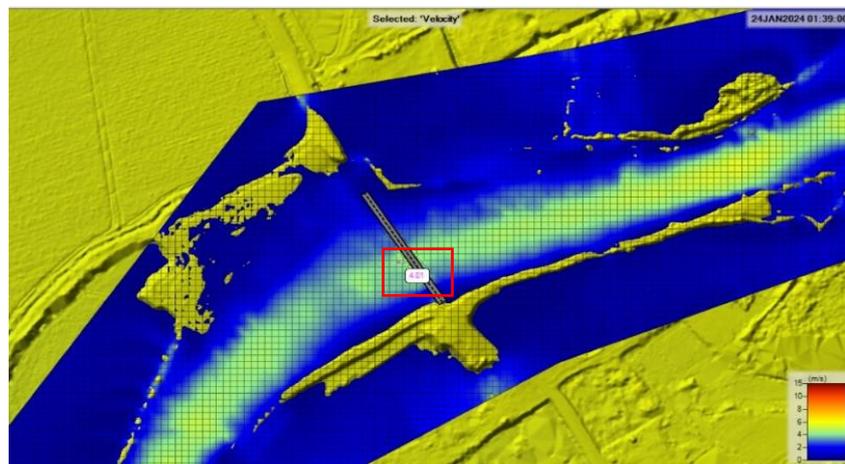
FUENTE: Extraída de HEC-RAS

FIGURA N°31: Tirante del tramo de estudio



FUENTE: Extraída de HEC-RAS

FIGURA N°32: Velocidad del tramo de estudio



FUENTE: Extraída de HEC-RAS

4.2. Análisis de interpretación de resultados

4.2.1. Modelo digital

4.2.1.1. Área de estudio

La región de estudio está situada en la costa norte del Perú, específicamente en el departamento de La Libertad. Sus límites comprenden el norte con Lambayeque y Cajamarca, el sur con Áncash, el este con San Martín, y hacia el oeste se extiende hasta el Océano Pacífico.

TABLA N°14: Distribución de calicatas

LIMITES TERRITORIALES	
Norte	Distrito Trujillo, provincia Ascope, departamento Lambayeque y Cajamarca.
Sur	Distrito Salaverry, provincia Virú, departamento Áncash.
Este	Distrito Laredo, provincia Otuzco y Julcán, departamento San Martín.
Oeste	Distrito Víctor Larco Herrera y el Océano Pacífico.

FUENTE: Elaboración Propia.

De igual manera se ha realizado la ubicación de cada uno de los puentes mediante el Google Earth.

FIGURA N°33: Ubicación de puente Conache



FUENTE: Google Earth.

TABLA N°15: Coordenadas geográficas puente Conache

Latitud	Longitud
8° 6'39.50"S	78°56'46.59"O

FUENTE: Elaboración Propia

FIGURA N°34: Ubicación de puente Cacique



FUENTE: Google Earth.

TABLA N°16: Coordenadas geográficas puente Cacique

Latitud	Longitud
8° 6'39.50"S	78°56'46.59"O

FUENTE: Elaboración Propia

FIGURA N°35: Ubicación de puente Santa Rosa



FUENTE: Google Earth.

TABLA N°17: Coordenadas geográficas puente Santa Rosa

Latitud	Longitud
8° 7'39.14"S	78°59'47.32"O

FUENTE: Elaboración Propia

FIGURA N°36: Ubicación de puente Moche



FUENTE: Google Earth.

TABLA N°18: Coordenadas geográficas puente Moche

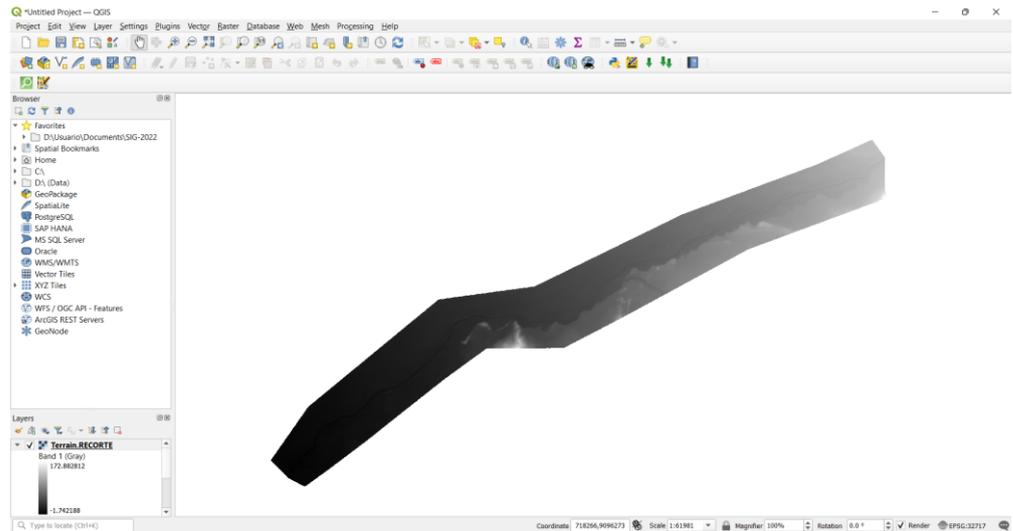
Latitud	Longitud
8° 7'39.14"S	78°59'47.32"O

FUENTE: Elaboración Propia

4.2.1.2. Modelo Digital

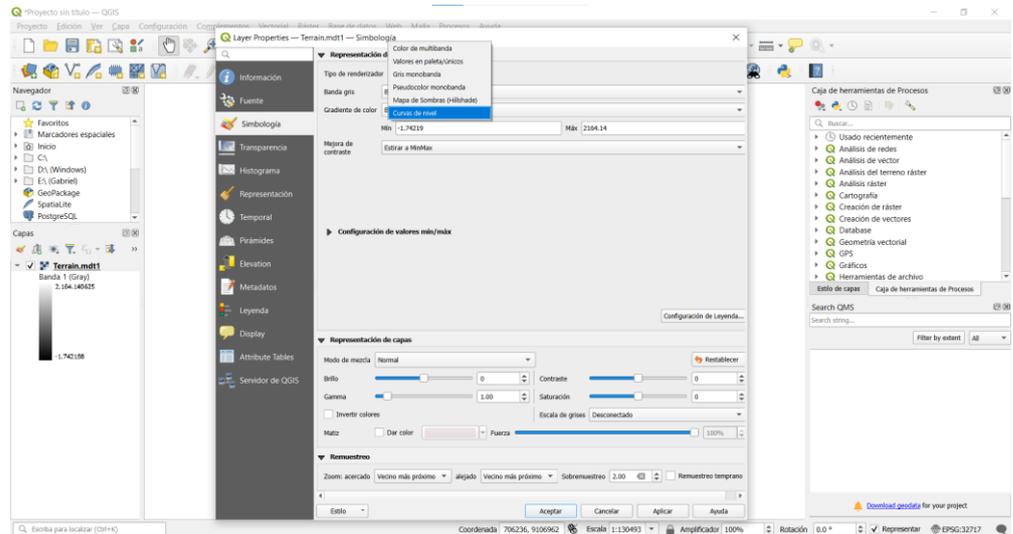
Contamos con la superficie en formato TIF por lo que usaremos el software Qgis donde se va a tratar de recortar la superficie.

FIGURA N°37: Se carga la superficie de la zona de estudio.



Fuente: Exportado del Qgis

FIGURA N°38: Se da formato para crear el alineamiento

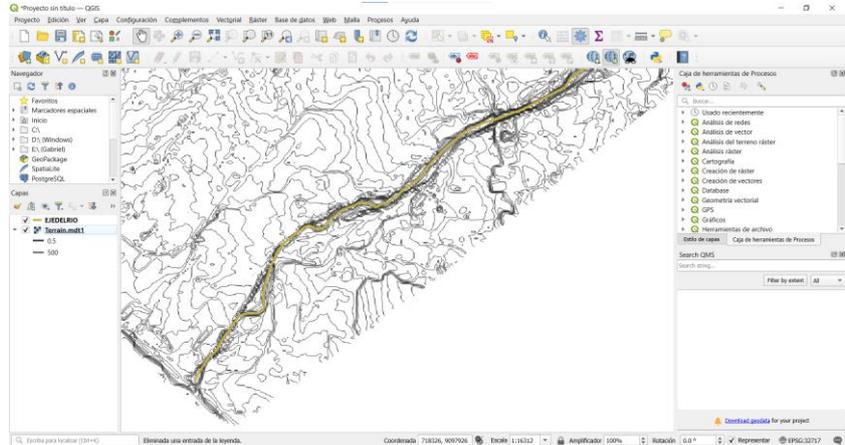


Fuente: Exportado del Qgis

Según las directrices del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (p.88), se especifica que la longitud mínima del

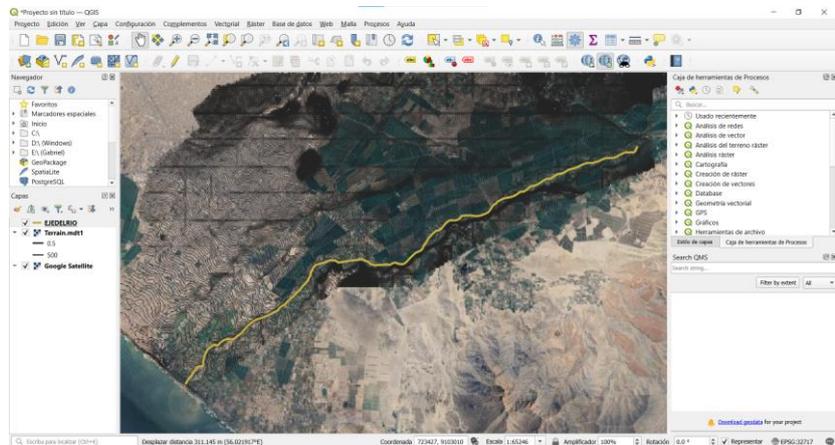
levantamiento topográfico necesaria, tanto aguas arriba como aguas abajo del eje del puente, debe ser de 150 m.

FIGURA N°39: Se crea el alineamiento con ayuda de base topográfica e imagen satelital.



Fuente: Exportado del Qgis

FIGURA N°40: Se crea el alineamiento con ayuda de base topográfica e imagen satelital.



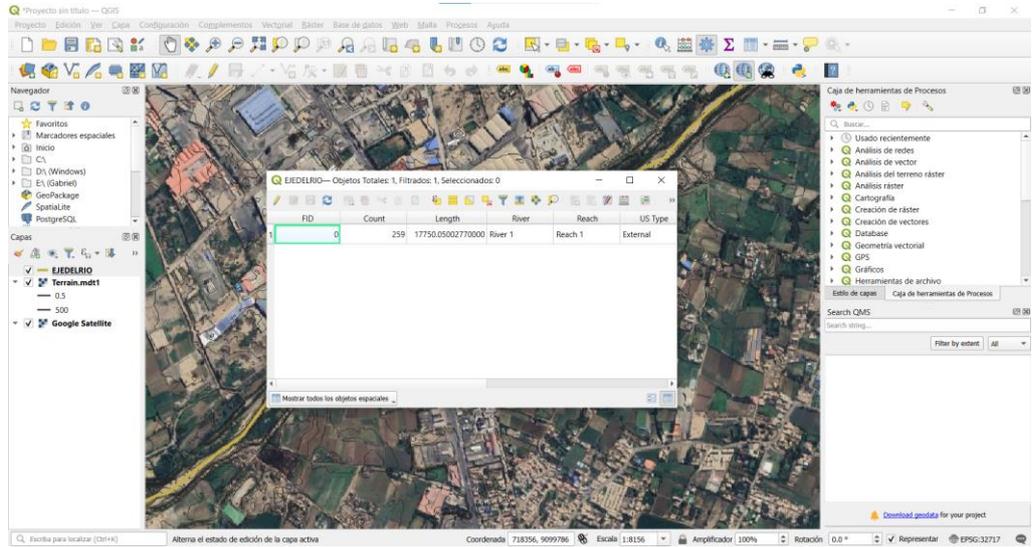
Fuente: Exportado del Qgis

Es por esta razón que, en este estudio, se llevó a cabo el procesamiento de la información topográfica, abarcando una longitud superior a la requerida, específicamente 17750.05 m.

Este enfoque se adoptó con el propósito de garantizar una mayor precisión en los datos recopilados. Se procedió a

crear la superficie del terreno, para facilitar su futura integración en el software HEC-RAS.

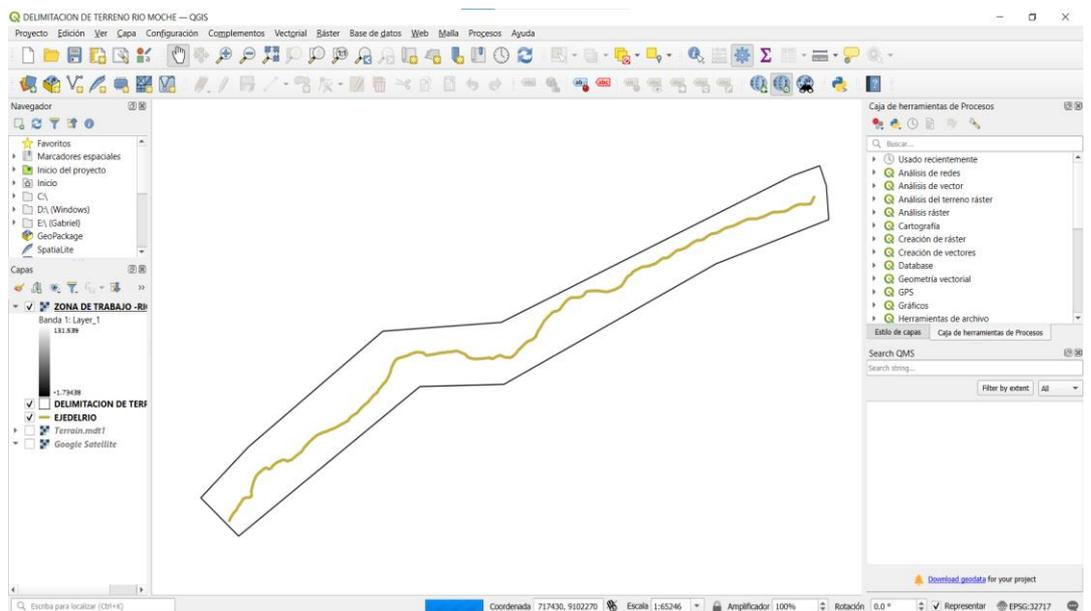
FIGURA N°41: Longitud total del alineamiento de río.



Fuente: Exportado del Qgis

Se realizo el recorte correspondiente a la topografía para poder pasar al Hec-Ras únicamente la zona de estudio.

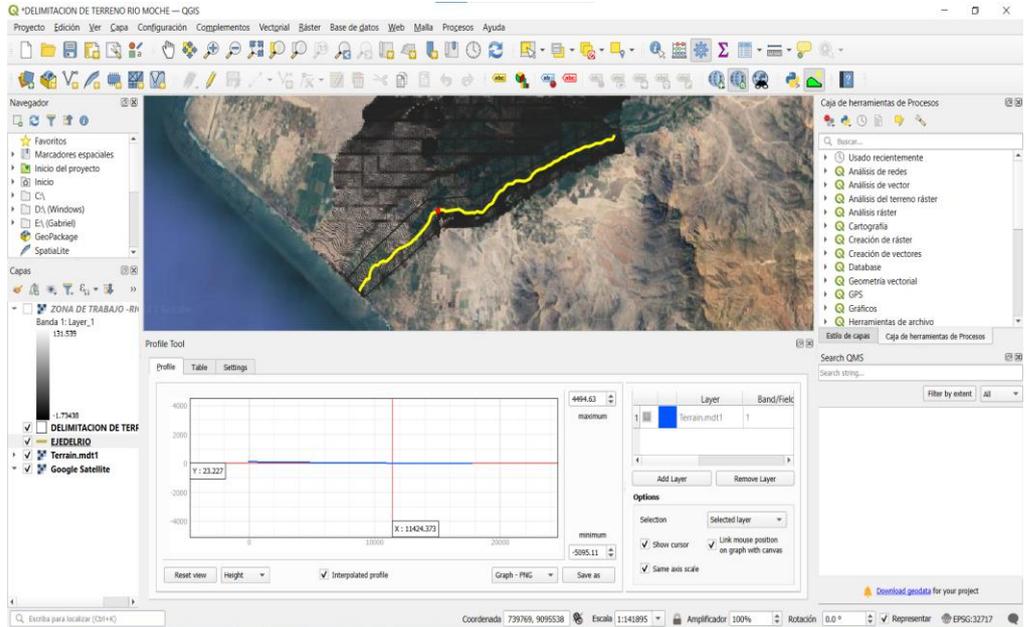
FIGURA N°42: Recorte de la zona de estudio



Fuente: Exportado del Qgis

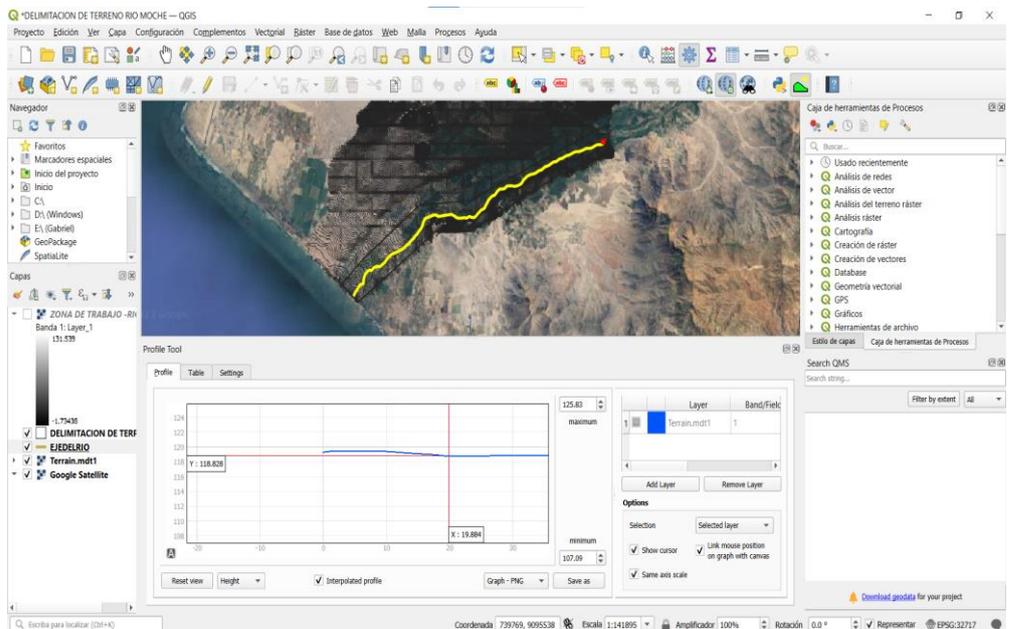
De igual manera, se generó el perfil longitudinal a partir del alineamiento horizontal, para tener conocimiento de las pendientes:

FIGURA N°43: Perfil Longitudinal



Fuente: Exportado del Qgis

FIGURA N°44: Perfil Longitudinal



Fuente: Exportado del Qgis

4.2.2. Granulometría

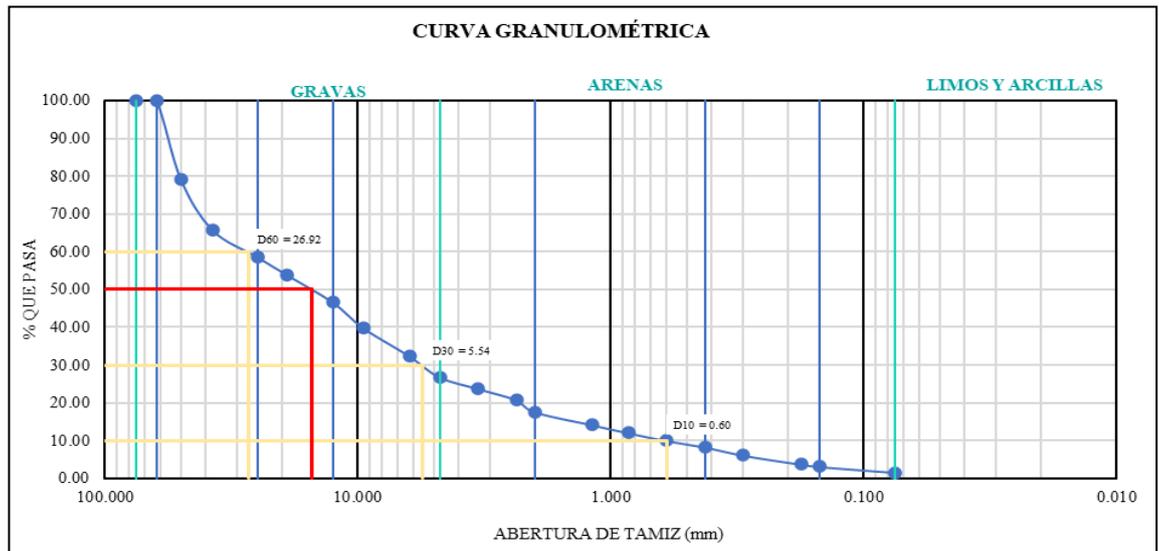
De todas las muestras que se realizaron en las calicatas del río Moche, se llevaron al laboratorio donde a partir de ello se realizó el ensayo de Análisis Granulométrico, tal que como se tiene, (**Ver anexo del 2.1 – 2.4**)

TABLA N°19: Análisis Granulométrico

Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado (MTC E 107)					
Malla N.º	Abertura (mm)	%Que pasa			
		C-1	C-2	C-3	C-4
3"	75.000	100.00	100.00	100.00	100.00
2 1/2"	62.500	100.00	100.00	100.00	100.00
2"	50.000	80.45	79.26	69.45	71.09
1 1/2"	37.500	61.69	65.81	54.11	54.79
1"	25.000	50.67	58.70	44.59	48.23
3/4"	19.000	39.36	53.90	35.70	40.36
1/2"	12.500	31.51	46.60	33.59	33.86
3/8"	9.500	28.54	39.88	28.60	31.48
1/4"	6.250	23.77	32.43	25.62	28.46
Nº 4	4.750	21.19	26.86	22.67	26.45
Nº6	3.350	18.91	23.79	20.38	24.53
Nº8	2.360	16.93	20.79	17.91	23.06
Nº10	2.000	15.93	17.62	16.38	22.33
Nº16	1.180	12.96	14.16	13.77	20.87
Nº20	0.850	10.77	12.05	10.48	19.50
Nº30	0.600	8.29	9.97	8.27	17.21
Nº40	0.425	6.51	8.30	6.33	14.37
Nº50	0.300	5.02	6.15	4.19	10.53
Nº80	0.177	3.63	3.75	2.86	5.95
Nº100	0.150	3.23	3.13	2.55	3.75
Nº 200	0.075	2.14	1.56	1.83	2.11
< Nº 200	PLATO	0.00	0.00	0.00	0.00

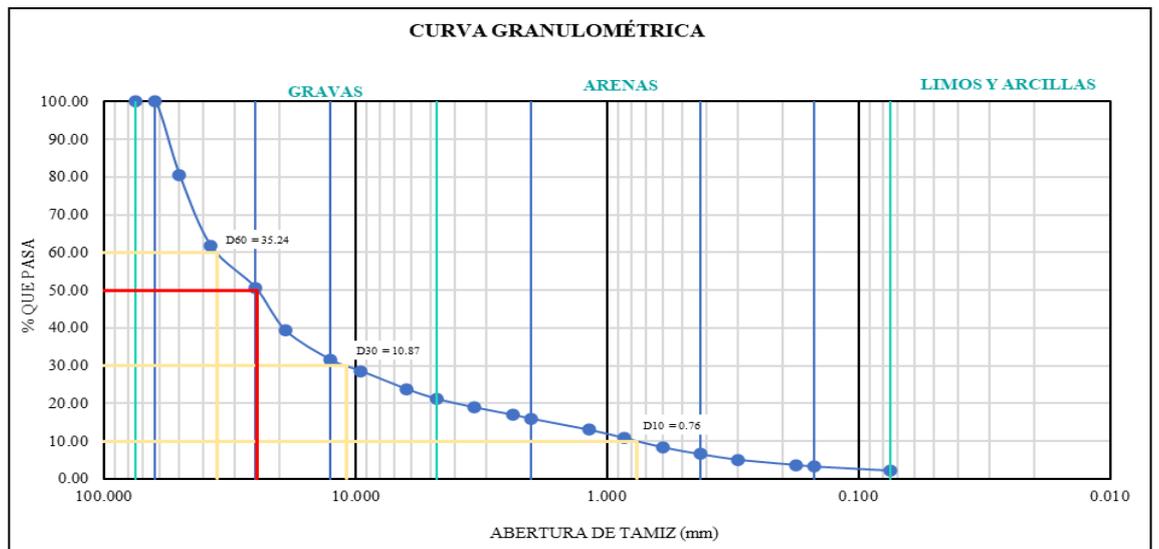
Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°47: Curva granulométría, C-3 punto Puente Santa Rosa



Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°48: Curva granulométría, C-4 punto Puente Moche



Fuente: Elaboración propia

En el anexo XX podemos observar de manera más detallada la granulometría. El tipo de suelo, está bajo lo establecido por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), por lo tanto, se necesita obtener **Cu**: Coeficiente de Uniformidad y **Cc**: Coeficiente de Curvatura. Donde se necesita interpolar dos parámetros, los cuales son el porcentaje pasante que ayuda en la obtención de los diámetros y el tamaño de la malla a considerar:

TABLA N°20: Análisis Granulométrico

Características		Calicatas			
		C-1	C-2	C-3	C-4
% que pasa malla N°4		26.45	22.67	26.86	21.19
% que pasa malla N°200		2.11	1.83	1.56	2.14
Diámetros	D10 (mm)	0.28	0.79	0.30	0.76
	D50 (mm)	27.89	31.48	15.19	24.60
	D95 (mm)	60.13	60.26	59.23	59.03
Coeficiente de Curvatura (Cc)		5.16	3.19	1.89	4.40
Coeficiente de Uniformidad (Cu)		145.67	53.14	44.65	46.19

Fuente: Elaboración propia

Para los resultados del análisis granulométrico, las partículas se clasifican en GP (Grava pobremente gradada), GW (grava bien graduada).

TABLA N°21: Análisis Granulométrico

Análisis Granulométrico	Clasificación (S.U.C.S)	Muestra	Resultado
		1	GW
		2	GW
		3	GW
		4	GP

Fuente: Elaboración propia

Los diámetros D50 y D95 son importantes ya que con ello estimamos la socavación local en los pilares de los puentes a tratar, estos diámetros llegaron a ser hallados de igual manera por medio de la interpolación de igual manera mediante interpolación. Sucesivamente, los resultados se promediaron, tal como se observa en la tabla:

TABLA N°22: Análisis Granulométrico

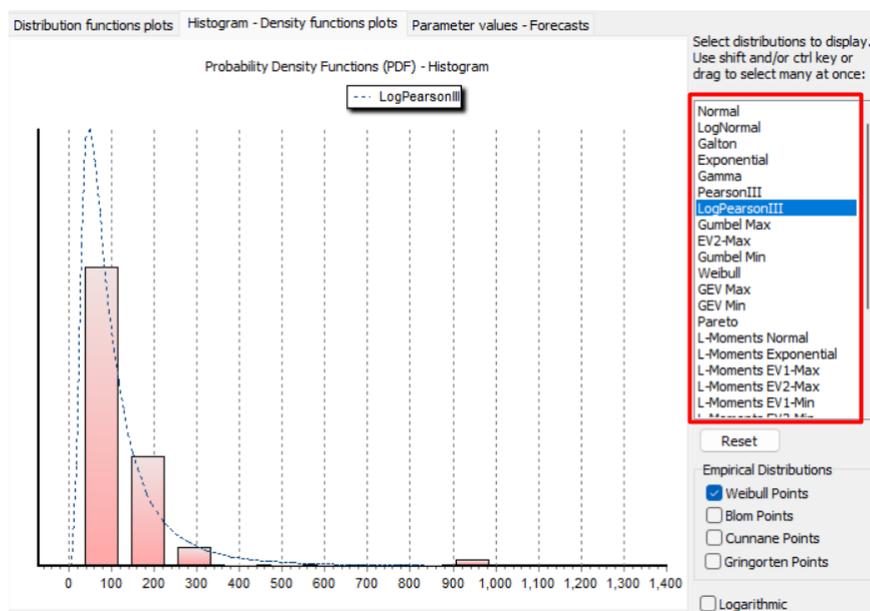
Diámetros requeridos promedio				
Calicata	D50 (mm)	Promedio (mm)	D95 (mm)	Promedio (mm)
C-1	27.89	24.79	60.13	59.66
C-2	31.48		60.26	
C-3	15.19		59.23	
C-4	24.60		59.03	

Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Estudió Hidrológico

En caso del estudio hidrológico, se trabajó para un periodo de retorno de 500 años, donde la plataforma Hydrognomon donde trabaja con un conjunto de distribuciones probabilísticas, donde se muestra a continuación.

FIGURA N°49: Distribuciones probabilísticas según el manual del MTC



FUENTE: Extraída de Hydrognomon

TABLA N°23: Resumen de caudales de diseño

Distribución	PERIODO DE RETORNO		
	50	100	500
	CAUDAL DE DISEÑO		
Normal	374.965	409.491	479.382
Log normal	481.930	614.608	1005.52
Gamma	491.251	584.515	802.613
Pearson III	532.592	695.938	1107.24
Log Pearson III	453.008	586.484	1010.02
Gumbel	443.302	512.280	671.677

Fuente: Elaboración propia

- Se trabajó con un período de retorno de 500 años y un caudal de diseño de 1010.02 m³/s para el cálculo de socavación.
- La distribución que mejor se ajusta a los máximos caudales de diseño es Log Pearson III porque es la que más se ajusta a mi serie de datos

Donde en base a la prueba bondad de ajuste, se puede identificar que distribución probabilística es el que más se adecua.

TABLA N°24: Prueba bondad de ajuste

Distribución	Kolgomorov Smirnov	Chi-cuadrado
	Rango – D max	
Lognormal (3P)	0.209	33.32
Log-Pearson 3	0.062	14.31
Lognormal	0.111	17.61
Normal	0.215	74.90

FUENTE: Extraída de Hydrognomon

En base la prueba bondad de ajuste Kolgomorov Smirnov, el Log-Pearson III, se adecua a la distribución de los datos máximos anuales, con ello podemos estimar valores picos para diferentes periodos de retorno, pero el de TR 500 años, es el que va predominar para la evaluación del análisis de socavación. Por lo que el MTC lo recomienda. **(Ver anexo 6.5)**

TABLA N°25: Valores picos para diversos periodos de retorno

Periodo de Retorno (TR)	Prob. Ocurrencia (P) $P = 1 - 1/T$	Q 24 máx
5	0.80	156.313
20	0.95	311.599
25	0.96	342.771
50	0.98	453.008
100	0.99	586.484
200	0.995	747.472
500	0.998	1010.02

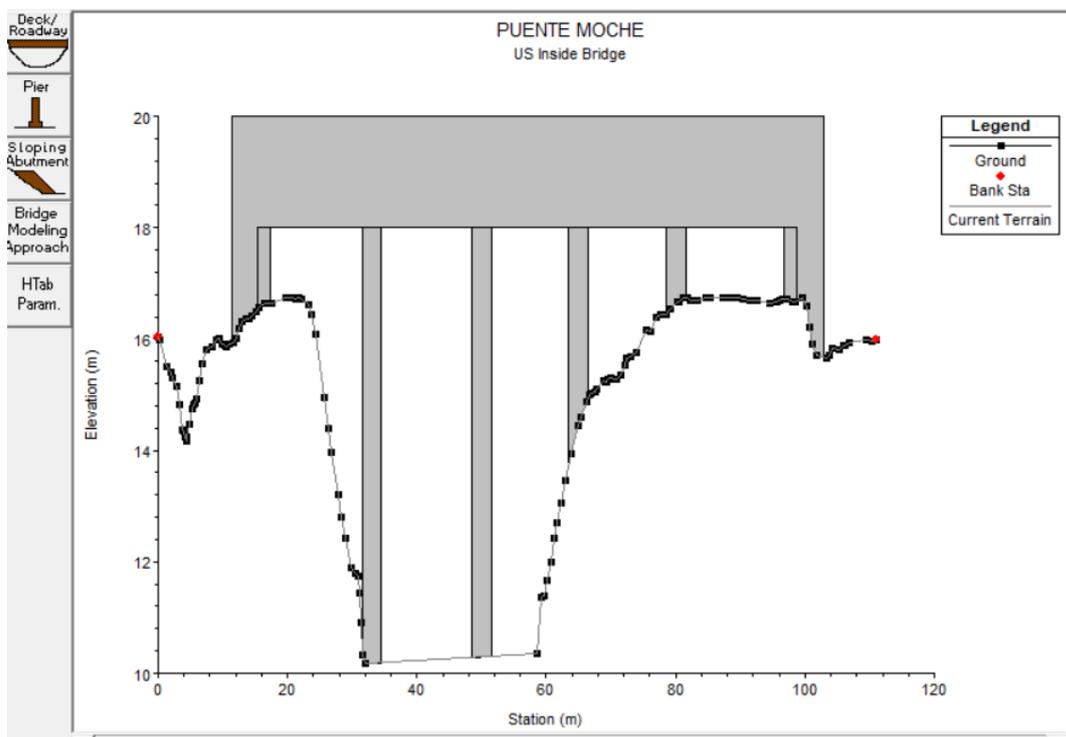
FUENTE: Extraída de Hydrognomon

4.2.4. Simulación Hidráulica mediante el software HEC-RAS

4.2.4.1. Análisis del cauce

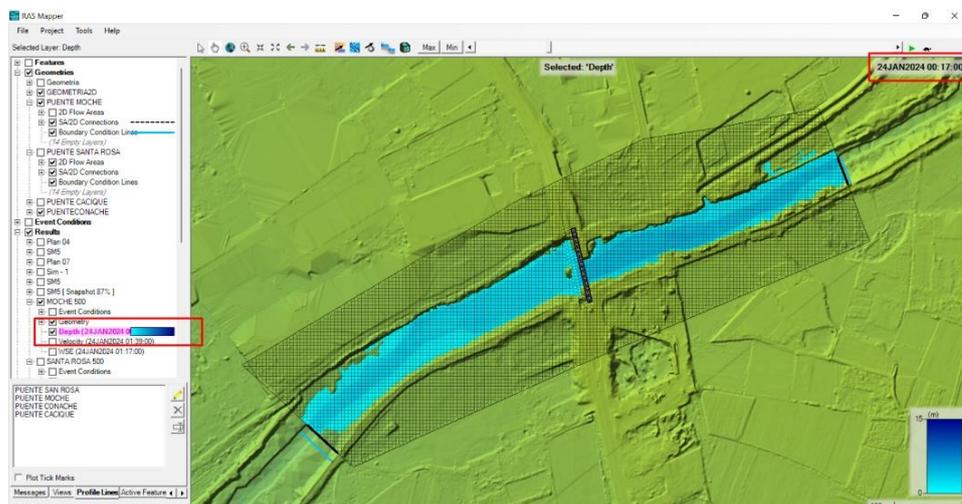
Para el sector del puente Moche se observa que en el minuto 17 se produce un desbordamiento en cauce al momento que se corrió el modelado con la estructura incorporada.

FIGURA N°50: Modelado puente moche



FUENTE: Extraída de HEC-RAS

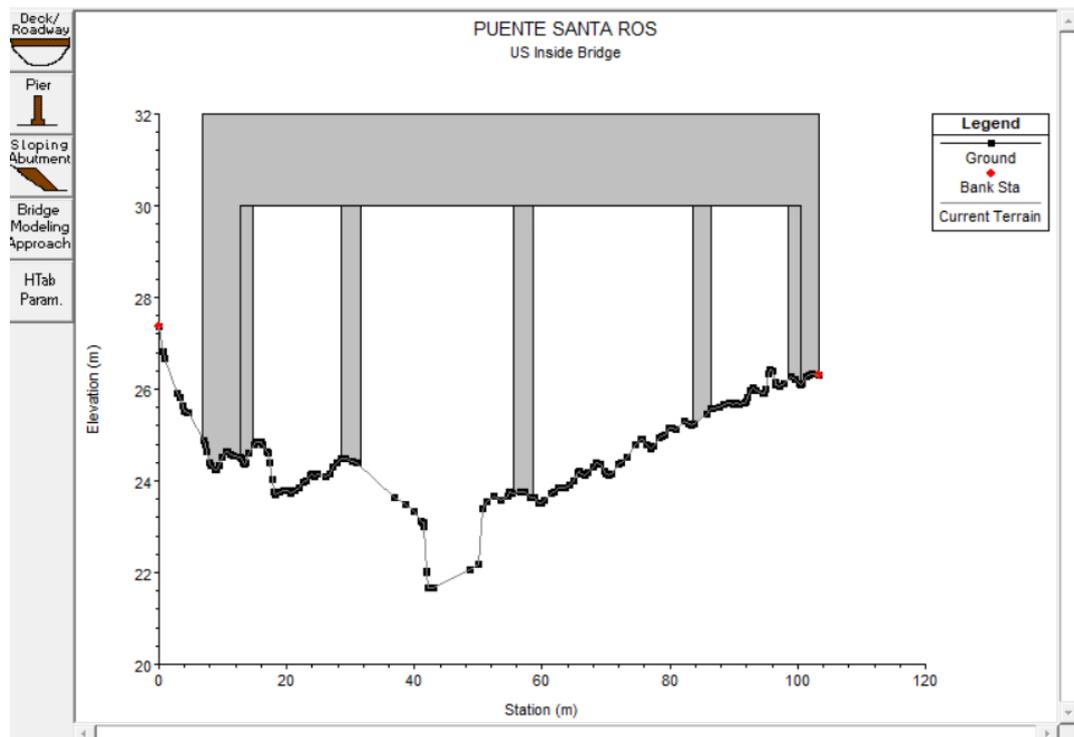
FIGURA N°51: Resultado de la simulación puente moche



FUENTE: Extraída de HEC-RAS

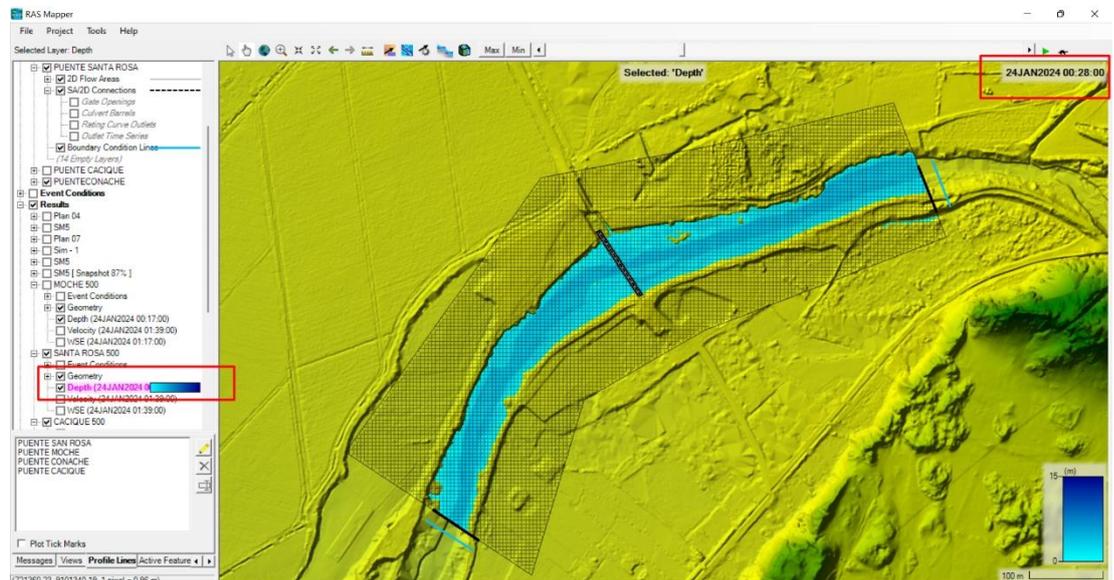
Para el sector del puente Santa Rosa se observa que en el minuto 28 se produce un desbordamiento en cauce al momento que se corrió el modelado con la estructura incorporada.

FIGURA N°52: Modelado puente Santa Rosa



FUENTE: Extraída de HEC-RAS

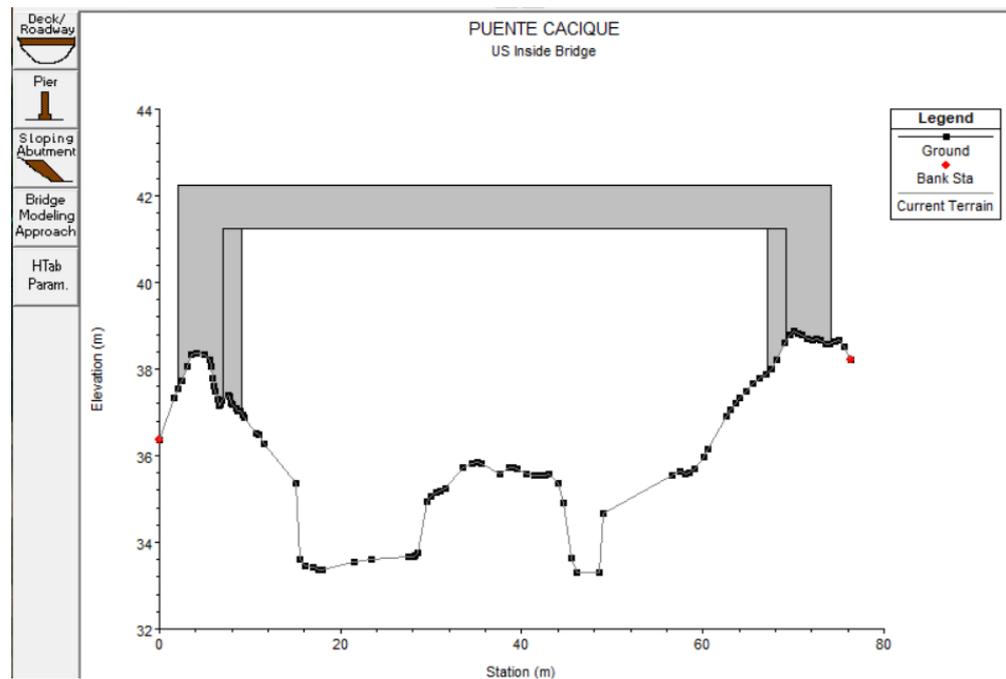
FIGURA N°53: Resultado de la simulación puente santa rosa



FUENTE: Extraída de HEC-RAS

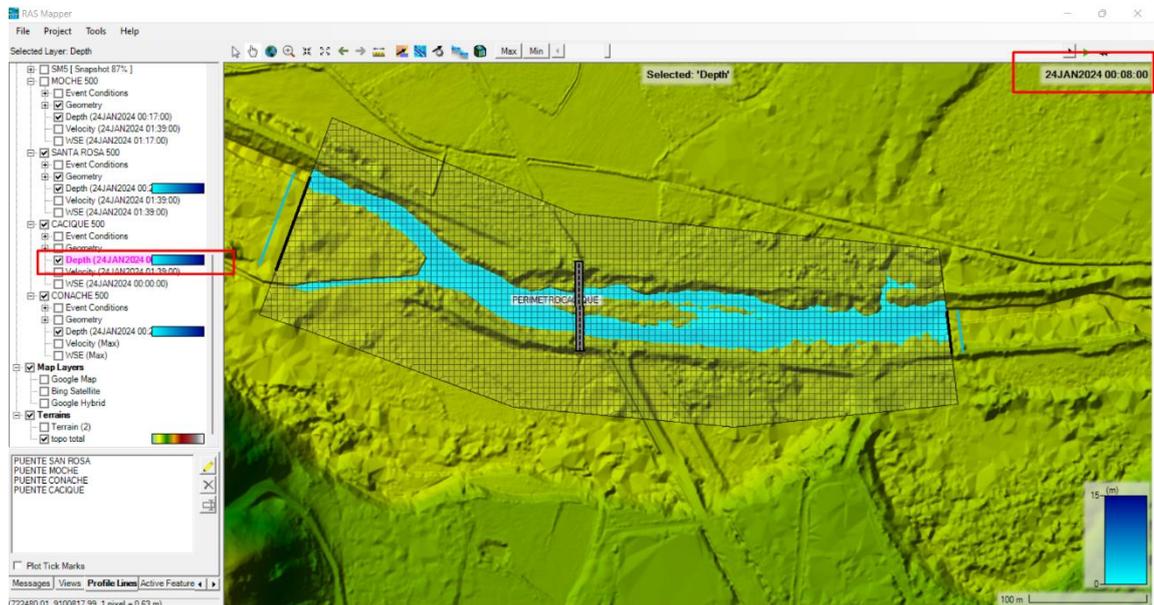
Para el sector del puente Cacique se observa que en el minuto 8 se produce un desbordamiento en cauce al momento que se corrió el modelado con la estructura incorporada.

FIGURA N°54: Modelado puente Cacique



FUENTE: Extraída de HEC-RAS

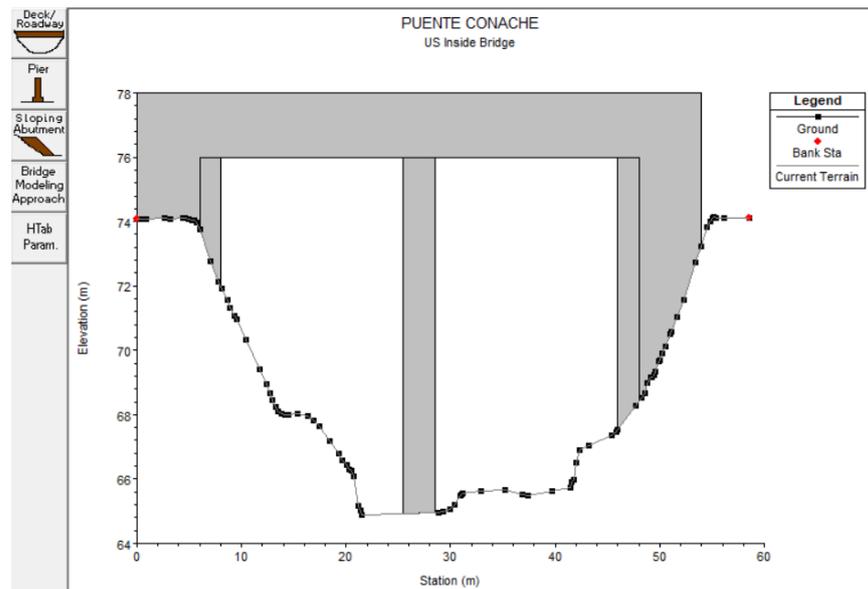
FIGURA N°55: Resultado de la simulación puente Cacique



FUENTE: Extraída de HEC-RAS

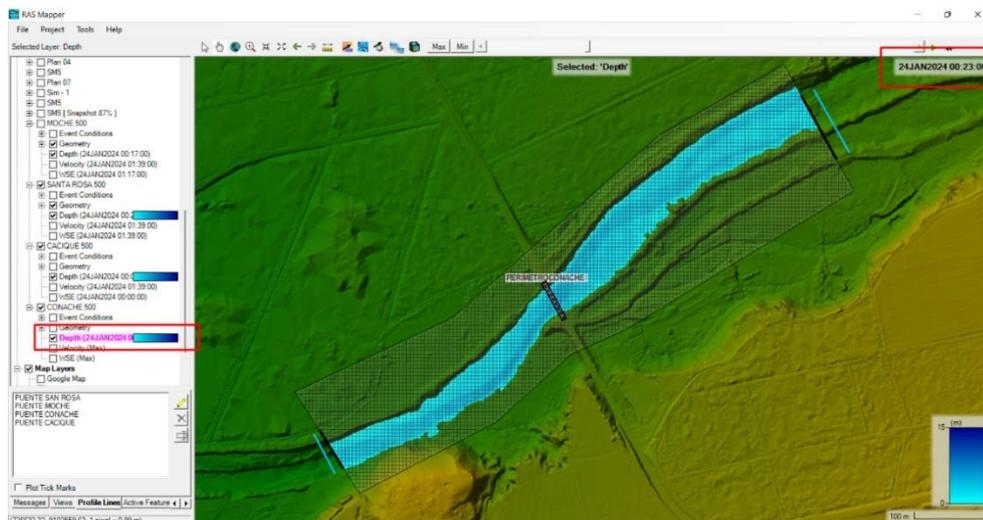
Para el sector del puente Conache se observa que en el minuto 23 se produce un desbordamiento en cauce al momento que se corrió el modelado con la estructura incorporada.

FIGURA N°56: Modelado puente Conache



FUENTE: Extraída de HEC-RAS

FIGURA N°57: Resultado de la simulación puente Conache

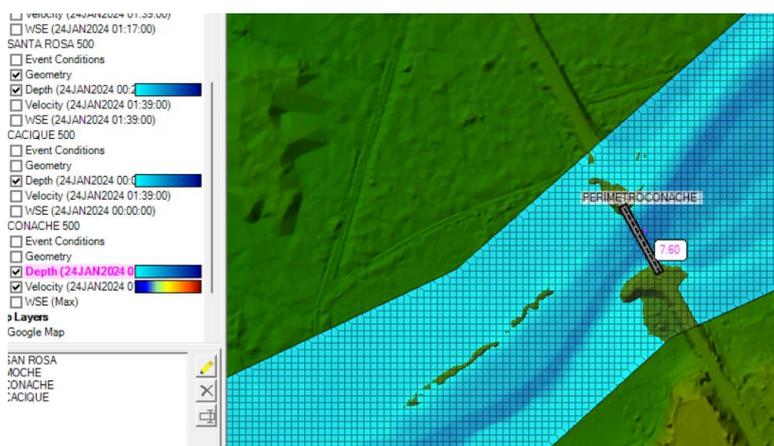


FUENTE: Extraída de HEC-RAS

4.2.4.2. Cálculo de tirante y velocidad

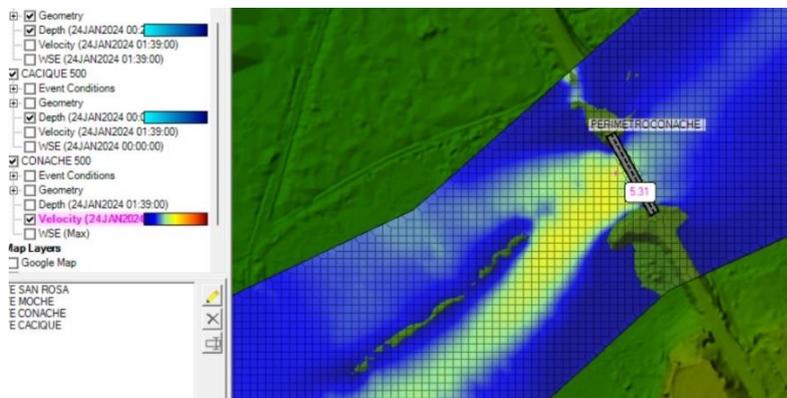
Se determina el tirante y velocidad más crítico en la sección evaluada tanto para el tramo del puente Moche, Santa Rosa, Cacique y Conache.

FIGURA N°58: Tirante crítico



FUENTE: Extraída de HEC-RAS

FIGURA N°59: Velocidad crítica



FUENTE: Extraída de HEC-RAS

TABLA N°26: Valores críticos de velocidad y tirante

Puente	Q (m3/s)	T (m)	V (m/s)
Moche	1010.02	7.03	4.57
Santa Rosa	1010.02	6.5	4.01
Cacique	1010.02	5.36	4.09
Conache	1010.02	7.6	5.31

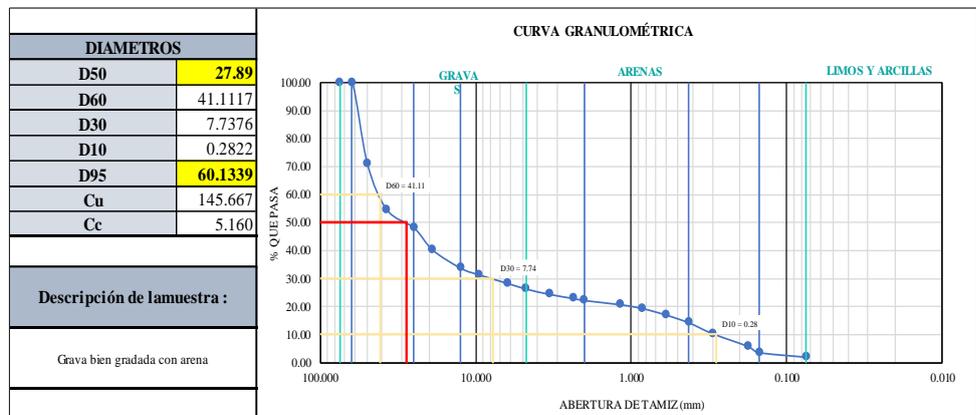
Fuente: Elaboración Propia

4.2.4.3. Socavación asociada en Puentes

La evaluación de la posible profundidad de socavación total implica la combinación de la socavación general, que acontece la socavación por contracción derivada de la reducción del cauce originada por la presencia del puente, y la socavación local que tiene lugar en los pilares y estribos.

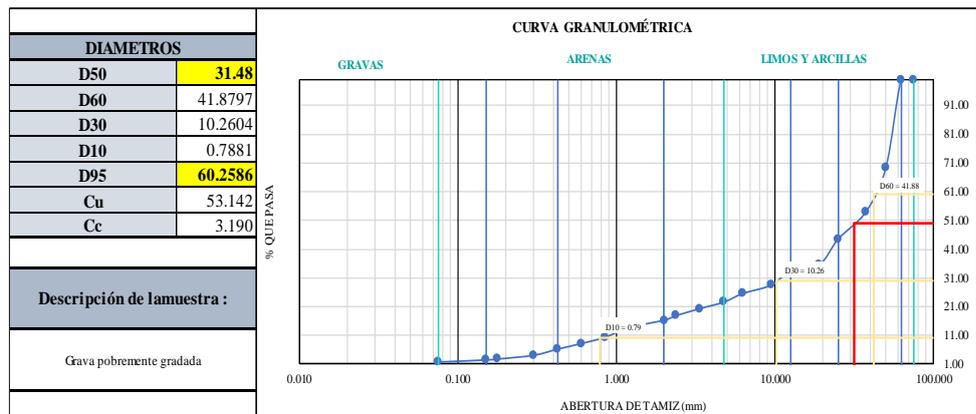
En la evaluación de la socavación, se consideran las condiciones de flujo en la sección del puente y el perfil del río para un periodo de retorno de 500 años, con un valor pico de 1010.02 m³/s. Y los diámetros característicos, donde se realizó estudio de suelo cercano al puente de estudio.

FIGURA N°60: Curva granulométrica del Puente Conache



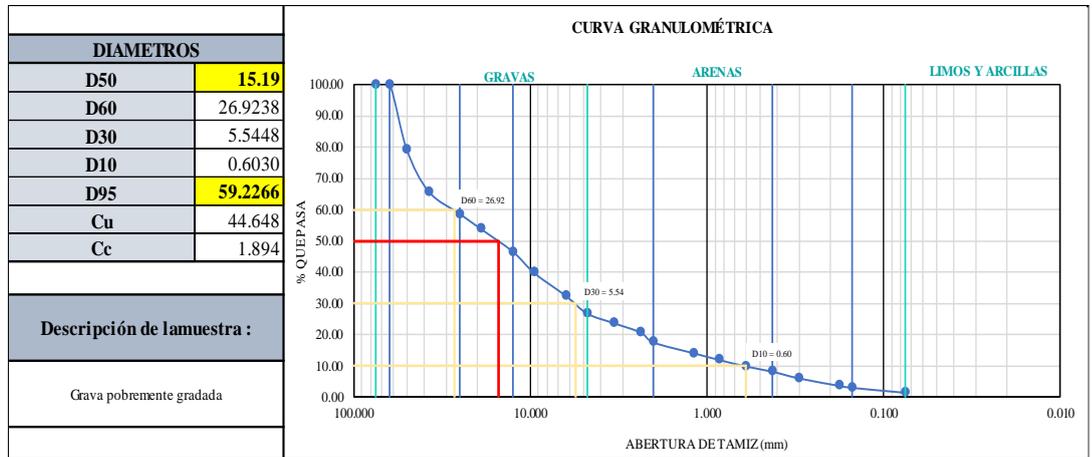
Fuente: Procesamiento del estudio de suelos

FIGURA N°61: Curva granulométrica del Puente Cacique



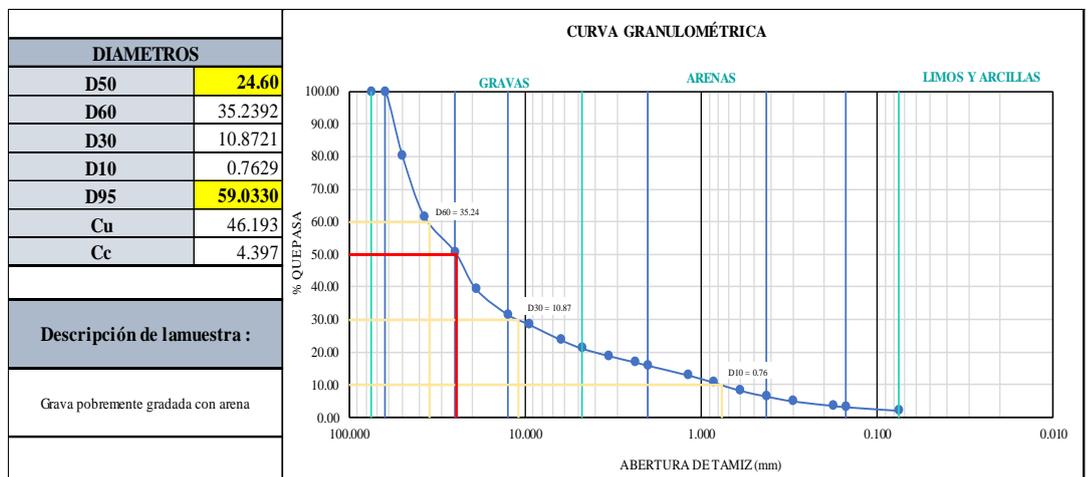
Fuente: Procesamiento del estudio de suelos

FIGURA N°62: Curva granulométrica del Puente Santa Rosa



Fuente: Procesamiento del estudio de suelos

FIGURA N°63: Curva granulométrica del Puente Moche



Fuente: Procesamiento del estudio de suelos

Con los parámetros de suelo como el D50 y D95, se procede a estimar las diversas socavaciones podría darse en su totalidad o local en pilares y estribos.

Con los resultados obtenidos como el tirante, velocidad, caudal, geometría del puente y el D50 se podrá obtener el valor de la socavación local y general de los puentes a tratar a base de métodos empíricos

Donde para el caso del Puente Conache, se tiene una socavación local máxima de 2.71 metros y una socavación general de 1.81 metros

FIGURA N°64: Socavación local en el Puente Conache

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO		
TESIS: Estudio de la socavación local en las subestructuras de los puentes Conache, Casique, Santa Rosa y Moche - Trujillo 2023		
Elaborado:	- Cueva Vazallo Alejandra Lucia - Gutierrez Zapata Gabriel Alessandro	Ubicación: Rio Moche PUENTE: PUENTE CONACHE

CALCULO DE LA SOCAVACIÓN LOCAL MEDIANTE:
Método de la Universidad Estatal de Colorado (CSU)

I. FORMULA GENERAL

$$\frac{y_s}{h} = 2.0 * K_f * K_{\phi} * K_c * K_a * \left(\frac{a}{h}\right)^{0.65} * F_r^{0.43}$$

Donde:

- Ys** = Profundidad que presenta la socavación local expresada en (m).
- h** = Profundidad del flujo del pilar aguas arriba expresada en (m).
- Kf** = Factor que toma en cuenta la forma que tiene el pilar.
- Kφ** = Factor que toma en cuenta el ángulo del ataque de flujo.
- Kc** = Factor que toma en cuenta la forma que se presenta del lecho.
- Ka** = Factor que toma en cuenta el acorazamiento del sedimento de lecho.
- a** = Se determina como el ancho de pilar expresada en (m).
- l** = Se determina como la longitud de la pila expresada en (m).
- Fr** = Es el número de Froude en el pilar dentro de la sección aguas arriba.
- v** = Velocidad media del flujo directamente aguas arriba de la pila en (m/s)

*** Para pilas con punta circular alineadas con el flujo se tiene un rango aproximado para el calculo de la socavación local:**

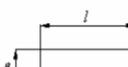
$ds \leq 2.4a$ para $Fr \leq 0.8$

$ds \leq 3.0a$ para $Fr > 0.8$

II. FACTOR DE CORRECIÓN POR LA FORMA DEL PILAR Kf METODO DE CSU

Se debe tener en cuenta:

FORMA DE LA PILA	Kf
Nariz cuadrada	1.1
Nariz redonda	1
Cilíndrica	1
Punta aguda	0.9
Grupo de cilindros	1



(a) Pila cuadrada



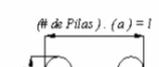
(b) Pila redonda



(c) Cilindro



(d) Pila puntada



(# de Pilas) . (a) = l
(e) Grupo de cilindros

Kf = 1

Fuente: Elaboración Propia

FIGURA N°65: Socavación local en el Puente Conache

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO			
TESIS: Estudio de la socavación local en las subestructuras de los puentes Conache, Casique, Santa Rosa y Moche - Trujillo 2023			
Elaborado:	- Cueva Vazallo Alejandra Lucia	Ubicación: Rio Moche	
	- Gutierrez Zapata Gabriel Alessandro	PUENTE:	PUENTE CONACHE

III. FACTOR DE CORRECCIÓN POR EL ÁNGULO DE ATAQUE DEL FLUJO $K\phi$
MÉTODO DE CSU

Para hallar el angulo de ataque nos basamos de la siguiente tabla:

Angulo de ataque	l/a		
	4	8	12
0°	1.00	1.00	1.00
15°	1.50	2.00	2.50
30°	2.00	2.75	3.50
45°	2.30	3.30	4.30
90°	2.50	3.90	5.00

Siendo:

- a = Se determina como el ancho de pilar expresada en (m).
- l = Se determina como la longitud de la pila expresada en (m).
- ϕ = Angulo de ataque

* A excepción que si l/a es mayor que 12, se usan los valores correspondientes a l/a = 12 como maximos, ademas se usa la siguiente formula:

$$K_{\phi} = \left(\cos \phi + \frac{l}{a} \sin \phi \right)^{0.65}$$

Calculando:

a (Ancho de pila)	l (Longitud de pila)	ϕ (Angulo de ataque)
1	2.6	0

$l/a = 2.6 \Leftrightarrow 3$

$K_{\phi} = 1$

IV. FACTOR DE CORRECCIÓN POR LA FORMA DEL LECHO K_c

Condición del lecho	Altura de la duna H [pies]	K_c
Socavación en aguas claras	N/A	1.1
Lecho plano y antidunas	N/A	1.1
Dunas pequeñas	$2 < H < 10$	1.1
Dunas medianas	$10 < H < 30$	1.1 a 1.2
Dunas grandes	$H > 30$	1.3

$K_c = 1.1$

Se recomienda usar un valor de K_c de 1.1 considerando que el lecho tiende a ser plano durante crecientes.

Fuente: Elaboración Propia

FIGURA N°66: Socavación local en el Puente Conache

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO			
TESIS: Estudio de la socavación local en las subestructuras de los puentes Conache, Casique, Santa Rosa y Moche - Trujillo 2023			
Elaborado:	- Cueva Vazallo Alejandra Lucia	Ubicación: Río Moche	
	- Gutierrez Zapata Gabriel Alessandro	PUENTE:	PUENTE CONACHE

V. CRITERIOS PARA ADOPTAR K_a

$D_{50} < 2 \text{ mm}$ o $D_{95} < 20 \text{ mm}$	$K_a = 1.0$
$D_{50} \geq 2 \text{ mm}$ y $D_{95} \geq 20 \text{ mm}$	$K_a = 0.4 (V_R)^{0.15}$

Con respecto al segundo caso:

$$K_a = 0.4 (V_R)^{0.15}$$

* Donde V_R :

$$V_R = \left[\frac{V_1 - V_{icD50}}{V_{cD50} - V_{icD95}} \right] > 0$$

* Además V_{icDx} :

$$V_{icDx} = 0.645 \left(\frac{D_x}{a} \right)^{0.053} V_{cDx}$$

* Por último V_{cDx} :

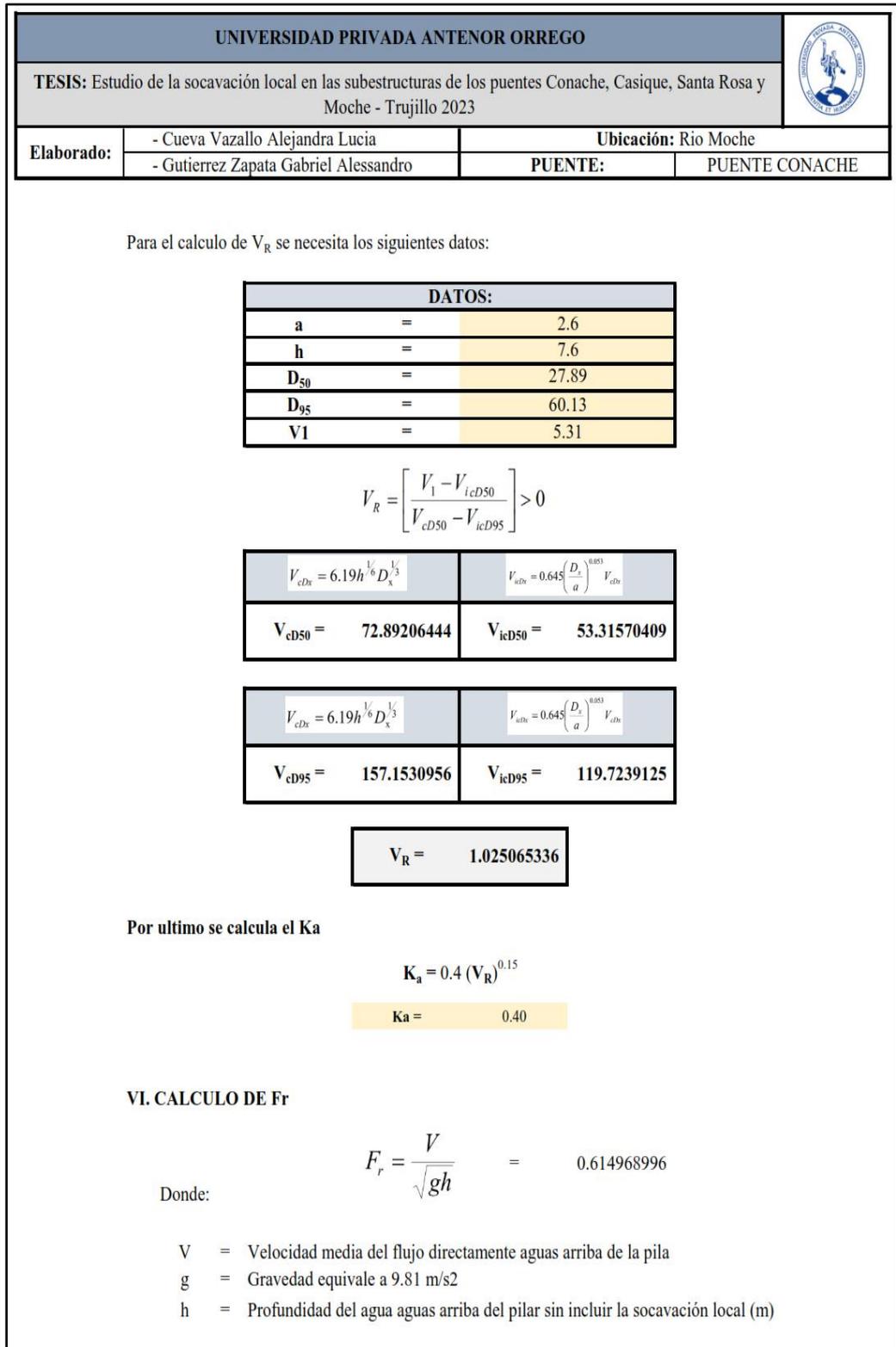
$$V_{cDx} = 6.19h^{1/6} D_x^{1/3}$$

Donde:

- V_R = Relación de velocidad
- V_1 = Velocidad de aproximación inmediatamente aguas arriba del pilar
- V_{icDx} = Velocidad de aproximación requerida para iniciar socavación en el pilar para el tamaño D_x de las partículas de sedimento (m/s)
- V_{icD95} = Velocidad de aproximación requerida para iniciar socavación en el pilar para el tamaño D_{95} de las partículas de sedimento (m/s).
- V_{icD50} = Velocidad de aproximación requerida para iniciar socavación en el pilar para el tamaño D_{50} de las partículas de sedimento (m/s).
- V_{cDx} = Velocidad crítica para iniciar movimiento de partículas de tamaño D_x del material del lecho (m/s).
- V_{cD50} = Velocidad crítica para iniciar movimiento de partículas de tamaño D_{50} del material del lecho (m/s)
- a = Ancho del pilar (m).
- D_x = Tamaño de la partícula de tal manera que el x por ciento del material del lecho más fino.
- h = Profundidad del agua aguas arriba del pilar sin incluir la socavación local (m)

Fuente: Elaboración Propia

FIGURA N°67: Socavación local en el Puente Conache



Fuente: Elaboración Propia

FIGURA N°68: Socavación local en el Puente Conache

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO		
TESIS: Estudio de la socavación local en las subestructuras de los puentes Conache, Casique, Santa Rosa y Moche - Trujillo 2023		
Elaborado:	- Cueva Vazallo Alejandra Lucia - Gutierrez Zapata Gabriel Alessandro	Ubicación: Rio Moche PUENTE: PUENTE CONACHE

VI. SOLUCIÓN

$$\frac{y_s}{h} = 2.0 * K_f * K_{\phi} * K_c * K_a * \left(\frac{a}{h}\right)^{0.65} * F_r^{0.43}$$

Donde:

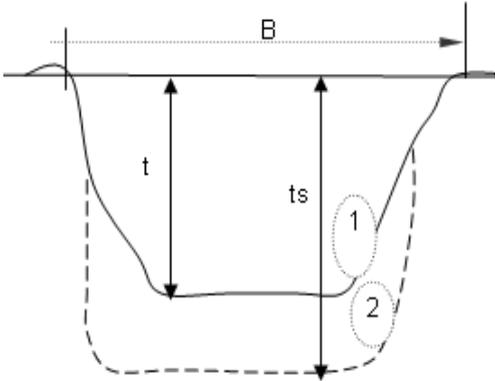
h	=	7.60
Kf	=	1.00
K o	=	1.00
Kc	=	1.10
Ka	=	0.40
a	=	2.60
Fr	=	0.61

Por lo que la socavacion local mediante el metodo CSU:

Fr	=	2.71
-----------	----------	-------------

FUENTE: Elaboración Propia

TABLA N°27: Socavación general en el Puente Conache

CALCULO DE LA PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H _s)										
METODO DE LL. LIST VAN LEVEDIEV		<p>1. Perfil antes de la erosión</p> <p>2. Perfil de equilibrio tras la erosión</p> 								
Suelos Granulares - No Cohesivos										
$t_s = ((a t^{5/3}) / (0.68 D_m^{0.28} \beta))^{1/(x+1)} \dots\dots(1)$										
Suelos Cohesivos										
$t_s = ((a t^{5/3}) / (0.60 g_s^{1.18} \beta))^{1/(x+1)} \dots\dots(2)$										
<p>Donde:</p> <p>t_s = Tirante despues de producirse la socavacion (m)</p> <p>t = Tirante sin socavacion (m)</p> <p>$t = 3.32 \text{ m}$</p> <p>D_m = Diametro Medio de las particulas (mm)</p> <p>$D_m = 27.89 \text{ mm}$</p> <p>g_s = Peso Especifico suelo (Kg/m³)</p> <p>μ = Coeficiente de Contraccion</p> <p>a = Coeficiente >>>>></p> <p>$a = Q / (t_m^{5/3} B \mu)$</p>										
Tirante medio (t_m) = A/B	Q (Caudal de Diseño)	Coeficiente de Contraccion (μ) Tabla N° 01	Ancho Estable	a						
$t_m = 3.03$	1,010.02	$\mu = 0.99$	B = 77.00	2.08						
PROFUNDIDAD DE SOCAVACION PARA SUELOS NO COHESIVO(1) :										
<p>X : Exponente que depende de : D_m para suelos Granulares No Cohesivos y g_s para suelos cohesivos. >>>>> TABLA N° 03</p> <p>X (Tabla N° 03) 1/x+1</p>		<p>Coeficiente por Tiempo de Retorno : β (Tabla N° 04)</p> <p>$\beta = 1.05$</p>	<p>TIRANTE DE SOCAVACION SUELOS GRANULARES - NO COHESIVOS</p> <p>$t_s = ((a t^{5/3}) / (0.68 D_m^{0.28} \beta))^{1/(x+1)}$</p> <p>$t_s = 5.13 \text{ m}$</p>							
x = 0.31	0.76	$\beta = 1.05$								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H_s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>H_s =</td> <td>$t_s - t$</td> </tr> <tr> <td>H_s =</td> <td>1.81 m</td> </tr> </tbody> </table>					PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H _s)		H _s =	$t_s - t$	H _s =	1.81 m
PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H _s)										
H _s =	$t_s - t$									
H _s =	1.81 m									

FUENTE: Propia

**TABLA N°28: Resultados de socavación en el puente
Conache**

PUENTE CONACHE	Periodo de Retorno (Años)	→	500.00
	Diametro medio (D ₅₀)	→	27.89
	Ancho de Equilibrio (B)		
	B =	77.00	
	SOCA VACION GENERAL	H _s =	t _s - t
SOCAVACIÓN LOCAL	ds =		2.71 m
SOCAVACIÓN TOTAL			4.52 m

FUENTE: Propia

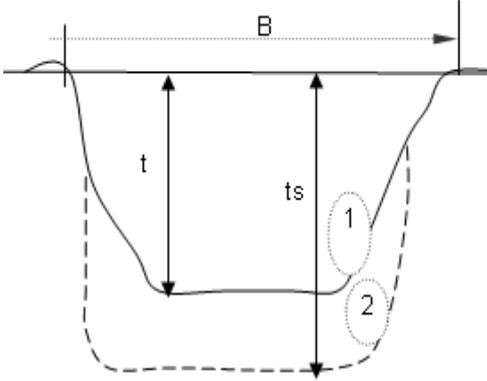
El caso del Puente Cacique, se tiene una socavación local máxima de 2.27 metros y una socavación general de 1.94 metros.

**TABLA N°28: Resumen de socavación Local en el
Puente Cacique**

PUENTE CACIQUE		
V	=	4.09
L	=	0.1
h	=	5.36
Kf	=	2.15
Fr	=	0.56
Fy	=	1.940

FUENTE: Propia

TABLA N°30: Resultados de socavación general en el puente Cacique

CALCULO DE LA PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H _s)										
METODO DE LL. LIST VAN LEVEDIEV		<p>1. Perfil antes de la erosión</p> <p>2. Perfil de equilibrio tras la erosión</p> 								
Suelos Granulares - No Cohesivos										
$t_s = ((a t^{5/3}) / (0.68 D_m^{0.28} \beta))^{1/(x+1)} \dots\dots\dots(1)$										
Suelos Cohesivos										
$t_s = ((a t^{5/3}) / (0.60 g_s^{1.18} \beta))^{1/(x+1)} \dots\dots\dots(2)$										
<p>Donde:</p> <p>t_s = Tirante despues de producirse la socavacion (m)</p> <p>t = Tirante sin socavacion (m)</p> <p>$t = 3.52$ m</p> <p>D_m = Diametro Medio de las particulas (mm)</p> <p>$D_m = 31.48$ mm</p> <p>g_s = Peso Especifico suelo (Kg/m³)</p> <p>μ = Coeficiente de Contraccion</p> <p>a = Coeficiente >>>>></p> <p>$a = Q / (t_m^{5/3} B \mu)$</p>										
Tirante medio (t_m) = A/B	Q (Caudal de Diseño)	Coeficiente de Contraccion (μ) Tabla N° 01	Ancho Estable	a						
$t_m = 3.17$	1,010.02	$\mu = 0.99$	B = 70.00	2.14						
<p>PROFUNDIDAD DE SOCAVACION PARA SUELOS NO COHESIVO(1) :</p>										
X : Exponente que depende de : D_m para suelos Granulares No Cohesivos y g_s para suelos cohesivos. >>>>> TABLA N° 03		Coeficiente por Tiempo de Retorno : β (Tabla N° 04)	TIRANTE DE SOCAVACION SUELOS GRANULARES - NO COHESIVOS							
X (Tabla N° 03)	$1/x+1$	β	$t_s = ((a t^{5/3}) / (0.68 D_m^{0.28} \beta))^{1/(x+1)}$							
x = 0.31	0.77	$\beta = 1.05$	$t_s = 5.50$ m							
<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2">PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H_s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>H_s</td> <td>= t_s - t</td> </tr> <tr> <td>H_s</td> <td>= 1.98 m</td> </tr> </tbody> </table>					PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H _s)		H _s	= t _s - t	H _s	= 1.98 m
PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H _s)										
H _s	= t _s - t									
H _s	= 1.98 m									

FUENTE: Propia

TABLA N°31: Resultados de socavación en el puente Cacique

PUENTE CACIQUE	Periodo de Retorno (Años)	→	500.00
	Diametro medio (D ₅₀)	→	31.48
	Ancho de Equilibrio (B)		
	B =		70.00
	SOCAVACION GENERAL	H _s =	t _s - t
	H _s =		1.98 m
SOCAVACIÓN LOCAL	d _s =		1.94 m
SOCAVACIÓN TOTAL			3.92 m

FUENTE: Propia

Donde para el caso del Puente Santa Rosa, se tiene una socavación local máxima de 1.75 metros y una socavación general de 1.16 metros

TABLA N°32: Socavación local en el Puente Santa Rosa

PUENTE SANTA ROSA		
V	=	4.01
t	=	6.5
Q	=	1010.02
a	=	1.9
D ₅₀	=	15.19
D ₉₅	=	59.23
K _f	=	1.10
K _ø	=	1.00
K _c	=	1.10
K _a	=	0.33
Fr	=	0.50
F _y =		1.755

FUENTE: Propia

TABLA N°33: Resultados de socavación general en el puente Santa Rosa

CALCULO DE LA PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H _s)										
METODO DE LL. LIST VAN LEVEDIEV		<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 60%;"> <p style="text-align: center; background-color: #cccccc; margin: 0;">Suelos Granulares - No Cohesivos</p> $t_s = ((a t^{5/3}) / (0.68 D_m^{0.28} \beta))^{1/(x+1)} \dots\dots(1)$ <p style="text-align: center; background-color: #cccccc; margin: 0;">Suelos Cohesivos</p> $t_s = ((a t^{5/3}) / (0.60 g_s^{1.18} \beta))^{1/(x+1)} \dots\dots(2)$ <p>Donde:</p> <p>t_s = Tirante despues de producirse la socavacion (m)</p> <p>t = Tirante sin socavacion (m)</p> <p>$t = 2.43$ m</p> <p>D_m = Diametro Medio de las particulas (mm)</p> <p>$D_m = 15.19$ mm</p> <p>g_s = Peso Especifico suelo (Kg/m³)</p> <p>μ = Coeficiente de Contraccion</p> <p>a = Coeficiente >>>>></p> <p>$a = Q / (t_m^{5/3} B \mu)$</p> </div> <div style="width: 35%; text-align: center;"> <p>1. Perfil antes de la erosión</p> <p>2. Perfil de equilibrio tras la erosión</p> </div> </div>								
Tirante medio (t_m)= A/B	Q (Caudal de Diseño)				Coeficiente de Contraccion (μ) Tabla N° 01	Ancho Estable	a			
$t_m = 2.34$	1,010.02				$\mu = 0.99$	B = 130.00	1.90			
<p>PROFUNDIDAD DE SOCAVACION PARA SUELOS NO COHESIVO(1) :</p>										
X : Exponente que depende de : D_m para suelos Granulares No Cohesivos y g_s para suelos cohesivos. >>>>> TABLA N° 03		Coeficiente por Tiempo de Retorno : β (Tabla N° 04)	TIRANTE DE SOCAVACION SUELOS GRANULARES NO COHESIVOS							
X (Tabla N° 03)	1/x+1	β	$t_s = ((a t^{5/3}) / (0.68 D_m^{0.28} \beta))^{1/(x+1)}$							
$x = 0.33$	0.75	$\beta = 1.05$	$t_s =$	3.59 m						
<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="background-color: #cccccc;">PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H_s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td align="center">H_s</td> <td align="center">= $t_s - t$</td> </tr> <tr> <td align="center">H_s</td> <td align="center">= 1.16 m</td> </tr> </tbody> </table>					PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H _s)		H_s	= $t_s - t$	H_s	= 1.16 m
PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H _s)										
H_s	= $t_s - t$									
H_s	= 1.16 m									

FUENTE: Propia

**TABLA N°34: Resultados de socavación en el puente
Santa Rosa**

PUENTE SANTA ROSA	Periodo de Retorno (Años)	→	500.00
	Diametro medio (D ₅₀)	→	15.19
	Ancho de Equilibrio (B)		
	B =		130.00
	SOCAVACION GENERAL	H _s =	t _s - t
	H _s =		1.16 m
SOCAVACIÓN LOCAL	d _s =		1.75 m
SOCAVACIÓN TOTAL			2.91 m

FUENTE: Propia

Donde para el caso del Puente Moche, se tiene una socavación local máxima de 1.37 metros y una socavación general de 1.51 metros.

TABLA N°35: Socavación local en el Puente Moche

PUENTE MOCHE		
V	=	4.57
t	=	7.03
Q	=	1010.02
a	=	1.29
D ₅₀	=	24.6
D ₉₅	=	59.03
K _f	=	0.90
K _∅	=	1.00
K _c	=	1.10
K _a	=	0.38
Fr	=	0.55
F _y =		1.37

FUENTE: Propia

TABLA N°36: Resultados de socavación general en el puente Moche

CALCULO DE LA PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H _s)										
METODO DE LL. LIST VAN LEVEDIEV		<p>1. Perfil antes de la erosión</p> <p>2. Perfil de equilibrio tras la erosión</p>								
Suelos Granulares - No Cohesivos										
$t_s = ((a t^{5/3}) / (0.68 D_m^{0.28} \beta))^{1/(x+1)} \dots\dots\dots(1)$										
Suelos Cohesivos										
$t_s = ((a t^{5/3}) / (0.60 g_s^{1.18} \beta))^{1/(x+1)} \dots\dots\dots(2)$										
<p>Donde:</p> <p>t_s = Tirante despues de producirse la socavacion (m)</p> <p>t = Tirante sin socavacion (m)</p> <p>$t = 3.03$ m</p> <p>D_m = Diametro Medio de las particulas (mm)</p> <p>$D_m = 24.6$ mm</p> <p>g_s = Peso Especifico suelo (Kg/m3)</p> <p>μ = Coeficiente de Contraccion</p> <p>a = Coeficiente >>>>></p> <p>$a = Q / (t_m^{5/3} B \mu)$</p>										
Tirante medio (t_m)= A/B	Q (Caudal de Diseño)	Coeficiente de Contraccion (μ) Tabla N° 01	Ancho Estable	a						
$t_m = 2.83$	1,010.02	$\mu = 0.99$	B = 90.00	2.01						
<p>PROFUNDIDAD DE SOCAVACION PARA SUELOS NO COHESIVO(1) :</p>										
X : Exponente que depende de : D_m para suelos Granulares No Cohesivos y g_s para suelos cohesivos. >>>>> TABLA N° 03		Coeficiente por Tiempo de Retorno : β (Tabla N° 04)		TIRANTE DE SOCAVACION SUELOS GRANULARES - NO COHESIVOS						
X (Tabla N° 03)	1/x+1			$t_s = ((a t^{5/3}) / (0.68 D_m^{0.28} \beta))^{1/(x+1)}$						
x = 0.31	0.76	$\beta = 1.05$	$t_s = 4.54$ m							
<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="background-color: #cccccc;">PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H_s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">H_s</td> <td style="text-align: center;">= $t_s - t$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">H_s</td> <td style="text-align: center;">= 1.51 m</td> </tr> </tbody> </table>					PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H _s)		H_s	= $t_s - t$	H_s	= 1.51 m
PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H _s)										
H_s	= $t_s - t$									
H_s	= 1.51 m									

FUENTE: Propia

**TABLA N°37: Resultados de socavación en el puente
Moche**

PUENTE MOCHE	Periodo de Retorno (Años)	→	500.00	
	Diametro medio (D ₅₀)	→	24.60	
	Ancho de Equilibrio (B)			
	B = 90.00			
	SOCAVACION GENERAL	H _s	=	t _s - t
		H _s	=	1.51 m
SOCAVACIÓN LOCAL	ds	=	1.37 m	
SOCAVACIÓN TOTAL			2.88 m	

FUENTE: Propia

4.3. Docimasia de hipótesis

Hipótesis nula (H0): El cálculo de socavación local depende significativamente del software HEC-RAS bajo un modelo bidimensional, no da los resultados entre 1.20m a 2.80 m.

Hipótesis alterna (H1): El cálculo de socavación local depende significativamente del software HEC-RAS bajo un modelo bidimensional, sale entre 1.20m a 2.80 m.

4.3.1. Interpretación de la Hipótesis nula (H0)

La hipótesis nula, representada como Ho, es una afirmación provisional que se acepta como verdadera y que se someterá a prueba experimental para validar su veracidad. Los resultados de estos experimentos determinarán si debemos mantenerla como válida o rechazarla. Cada hipótesis nula Ho viene acompañada de una hipótesis alternativa.

En el desarrollo de nuestra investigación se concluyó que los resultados indicados en las Tablas N° 28, 31, 34 y 37 nos indican resultados entre 1.37 a 2.71.

TABLA N°38: Resumen de resultados de socavación local

CALCULO DE SOCAVACIÓN LOCAL	
PUENTE MOCHE	1.37 m
PUENTE SANTA ROSA	1.75 m
PUENTE CACIQUE	1.94 m
PUENTE CONACHE	2.71 m

FUENTE: Propia

Dándonos un resultado de estimación de 0% de confiabilidad con la hipótesis nula propuesta.

4.3.2. Interpretación de la Hipótesis Alterna (H1)

La hipótesis alternativa se le denomina como H1, esta hipótesis es la que llega a aceptarse en el momento en que la hipótesis denominada nula Ho es rechazada. Esta hipótesis alternativa H1 vendría a ser una suposición totalmente contraria a la de la hipótesis nula. La prueba de una hipótesis estadística es un proceso que nos conduce a tomar la decisión de aceptar o rechazar la hipótesis nula Ho en vez de la hipótesis H1, y en base a los resultados de una muestra aleatoria seleccionada de la población en estudio. En el desarrollo de nuestra investigación se concluyó que los resultados indicados en las Tablas N° 28, 31, 34 y 37 nos indican resultados entre 1.37 a 2.71.

TABLA N°39: Resumen de resultados de socavación local

CALCULO DE SOCAVACIÓN LOCAL	
PUENTE MOCHE	1.37 m
PUENTE SANTA ROSA	1.75 m
PUENTE CACIQUE	1.94 m
PUENTE CONACHE	2.71 m

FUENTE: Propia

Dándonos un resultado de estimación de 98 % de aproximación con la hipótesis propuesta.

4.3.3. Interpretación de hipótesis propuestos

TABLA N°40: Cuadro estadísticos de prueba

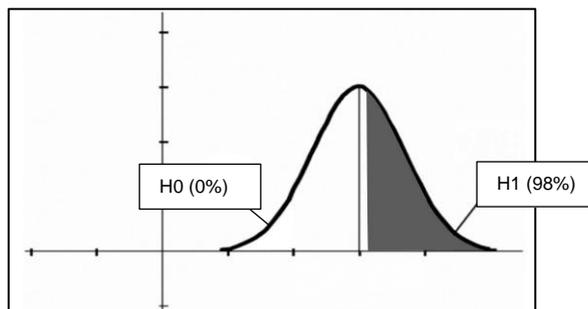
Hipótesis nula (H0)	0%
Hipótesis alterna (H1)	98%
Sig asintótica	0.005

FUENTE: Propia

Por lo que se toma la hipótesis alterna como correcta ya que es la que más porcentaje de aprobación en comparación de la hipótesis nula.

Por lo que partiendo de la hipótesis de que la socavación en las subestructuras de los Puentes Cacique, Conache, Santa Rosa y Moche alcanza una profundidad que oscila entre 1.20 y 2.80 metros, hemos constatado que los valores obtenidos mediante los modelos numéricos se acercan considerablemente a los resultados propuestos y obtenidos a través de métodos empíricos. Cabe resaltar que mediante el software utilizado se realizó un modelado en 2D con la finalidad de evaluar y obtener valores exactos, para ser empleados en las fórmulas empíricas y así concluir con los datos de socavación en las subestructuras de los puentes a tratar.

GRAFICA N°04: Diagrama de docimasia de hipótesis



FUENTE: Propia

V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

- La socavación local de los puentes a tratar se dan diferente para cada uno de los pilares, incluso podemos notar que el pilar central es el más afectado en el puente Conache con una socavación de 2.71m, el puente Santa Rosa con una socavación de 1.75m y el puente moche con una socavación de 1.37 m, la cual hace que cree una cavidad importante alrededor de este pilar, no obstante los puentes tienen una profundidad regularmente entre un intervalo de 4 a 6 metros, pero aun así no debemos dejar expuesta la cimentación que se tiene del puente a tratar o hasta en el peor de los casos llega a arrastrarla en dirección a la corriente, generando así una catástrofe
- El puente cacique no cuenta con pilar central y por lo tanto se va a evaluar la socavación local en estribos mediante el método científico que más se ajusta y este es de 1.94m
- Al generar el cálculo del caudal máximo, se han tenido en consideración los registros de la estación más cercana, que en este caso se ha tomado de la estación Quiriuac que se encuentra aguas arriba del puente Conache, la cual nos brinda una noción más precisa de los caudales que se han registrado a lo largo de los últimos años y a partir de estos valores, ya podremos complementar una mejor proyección, aun así existe un margen de error, por lo que finalmente se va a realizar un análisis estadístico con los caudales que se están evaluando y se ajustaran a la Prueba Bondad (Kolmogorov Smirnov) y a talvez de ello se proyectó un caudal para un periodo de $T=500$ años, teniendo como resultado un caudal de $Q= 110.02\text{m}^3/\text{s}$
- El tirante que se logró alcanzar en el cauce del rio moche en los cuatro puentes: Moche, Santa Rosa, Cacique y Conache se tiene en un rango de 5.36 m y 7.60 m el cual en algunas zonas se puede observar desbordamiento a lo largo del rio moche
- Las velocidades que se tiene del tramo estudiado, incluyendo los cuatro puentes: Moche, Santa Rosa, Cacique y Conache, se encuentra entre 4.01 m/s y 5.31 m/s, estos datos corresponden al rango que fue evaluado al pie de las pilas de los puentes en consideración.

CONCLUSIONES

- En nuestra zona de estudio se realizó la superficie topográfica donde se analizó zonas aguas arriba y aguas debajo de cada uno de los puentes, en la que se pudo identificar sectores críticos calculando la pendiente de 0.4%
- A partir de la mecánica de suelos, se observó que el suelo presente en el lecho del río Moche en todo el largo de los puentes a considerar se encuentra conformado por una grava pobremente gradada con arena GP y de grava bien graduada con arena GW. A través de este estudio también se obtuvo los también parámetros necesarios para realizar el cálculo de socavación local como son el D50: 27.89mm, 31.48mm, 15.19mm y 24.06 mm de y el D95: de 60.13mm, 60.26mm, 59.23mm y 59.03mm.
- A partir del estudio hidrológico se tiene un caudal 1010.02 m³/s para un periodo de retorno de 500 años para el estudio de socavación, esto se dio en base a la prueba bondad de ajuste de Kolgomorov Smirnov y nos menciona Log-Pearson III es la más apta y adecuada a utilizar y esta es respaldada por Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, del Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
- Mediante la herramienta HEC-RAS, fue posible analizar y evaluar el grado que presenta la socavación local en los puentes a través de la velocidad y tirante ante una avenida máxima que se presenta en los tramos de los puentes: Conache, Cacique, Santa Rosa y Moche, a lo largo del río moche, los valores de flujo que se obtienen de velocidad y profundidad de tirante máximos son de 5.31m/s, 4.09m/s, 4.01m/s, 4.57m/s y 7.60m, 5.36m, 6.10m, 7.03m respectivamente, siendo estos datos importantes para la calcular la profundidad de socavación local.
- Se estimó una profundidad de socavación en los cuatro puentes los cuales son: 4.52 en el puente Conache, 3.92m en el puente Cacique, 2.91m en el puente Santa Rosa y 2.88m en el puente Moche, siendo estos valores considerables al momento de evaluar la profundidad de la cimentación.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que las muestras del suelo estén ubicadas en zonas que presenten mayor problema de socavación y por lo tanto que estas muestras no tengan ninguna alteración para lograr un mayor y buen reconocimiento del terreno de estudio.
- Se recomienda tener la correcta geometría de los pilares de los puentes a tratar, para una mejor aproximación en los resultados obtenidos bajo el modelo bidimensional.
- Se recomienda realizar un constante estudio para analizar más a profundidad la socavación local en los diversos puentes a lo largo del río Moche, dentro de un determinado tiempo para que los resultados sean comparados con esta investigación
- Se recomienda contar con diferentes estaciones pluviométricas, para poder hallar datos que tengan consistencia y con esto lograr una comparación de dichos caudales con acertados procesamientos de evolución de la lluvia a escorrentía

BIBLIOGRAFÍA

- **Muñoz, E. (2002).** ESTUDIO DE LAS CAUSAS DEL COLAPSO DE ALGUNOS PUENTES EN COLOMBIA. Colombia: Universidad de Bogotá.
- **Martínez, A. &. (2007).** ¿POR QUE FALLAN LOS PUENTES EN EL PERU? Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA.
- **Callirgos, L., & Mendez, D. (2015).** GESTIÓN INTEGRAL PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL DISTRITO DE TRUJILLO PROVINCIA TRUJILLO. LA LIBERTAD. Trujillo: UPAO.
- **Guillermo, F. (2010).** MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO. Obtenido de El río Moche: Problemática y perspectivas de recuperación: <https://hdl.handle.net/20.500.12543/4450>
- **Carlos Reyez & Juan Reyes (2020).** DETERMINACIÓN DE LA SOCAVACIÓN PARA LAS PILAS DEL PUENTE LOCALIZADO EN EL MUNICIPIO DE RIOSUCIO CALDAS. Bogotá, Colombia: UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
- **Bishwajit Singh, Tamphasana Devi, & Kumar. (2020).** The local scour around bridge piers—a review of remedial techniques. India: Revista ISH de Ingeniería Hidráulica.
- **Encalada Rojas & Mario Kevin. (2022).** Evaluación de la Socavación Local en los pilares de concreto del Puente Ramis Puno 2020”. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos

➤ **Aguinaga Ramírez & Higeiny Adubel (2019).** Estudio de la socavación en los estribos del puente Cascajal - Olmos ante máximas avenidas. Pimentel, Perú: UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN.

➤ **Armas Meléndez, M. (2021).** ANÁLISIS DE LA SOCAVACIÓN LOCAL EN LOS PILARES DEL PUENTE MOCHE UBICADO EN LA CIUDAD DE TRUJILLO MEDIANTE SIMULACIÓN HIDRÁULICA EN HEC-RAS. Trujillo, Perú: Universidad Privada del Norte.

➤ **Araujo Vazallo, A., & Perez Marin, D. (2019).** EFECTO DE LA DESCOLMATACIÓN DEL RÍO CHICAMA AGUAS ARRIBA DEL PUENTE VICTORIA EN LA SOCAVACIÓN DE SUS PILARES. Trujillo, Perú: UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO.

➤ **Felicísimo, A. (1994).** Modelos digitales del terreno: Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales. España: Pentalfa.

➤ **Arturo Rocha (2009).** LA MORFOLOGIA FLUVIAL Y SU INCIDENCIA EN LA ESTABILIDAD DE LAS OBRAS VIALES. Lima, Perú: INSTITUTO DE LA CONSTRUCCION Y GERENCIA.

➤ **Farfán, J., & Villena, K. (2021).** Evaluación de máximas avenidas para la estimación de áreas inundables en la subcuenca Pacherez-cuenca Chancay-Lambayeque. Lambayeque - Perú: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

➤ **Nava Olguin, M. G. (2013).** COMPARATIVA DEL ESTUDIO DE SOCAVACIÓN DEL PUENTE "TEAPA", EL REALIZADO EN 1986 Y SU COMPORTAMIENTO EN ESTE AÑO. MÉXICO, D. F: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

- **Campa Rodriguez, A., & Astorga Bustillos, F. R. (2015).** Métodos para el cálculo de la socavación local en pilas de puentes. Chihuahua, México: TECNOCENCIA Chihuahua.

- **Vide, J. (2003).** INGENIERIA DE RIOS. Barcelona, España: UPC.

- **Nilo Quispe Ccahuin (2019),** MODELAMIENTO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA CONTROL DE SOCAVACIÓN DE ESTRIBOS DEL PUENTE MARITA DE LA CARRETERA SANCOS SACCSAMARCA, PROVINCIA DE HUANCA SANCOS – AYACUCHO, Ayacucho – Perú: Universidad Nacional de San Cristóbal de Humanga.

- **ANA. (2020).** Resolución Jefatural N°151-2020-ANA. Memorandum N°1614-2020-ANA-OPP/UCI. Lima, Perú: Republica del Perú.

- **Te Chow, V. (1994).** HIDRAULICA DE CANALES ABIERTOS. Bogota, Colombia: Nomos S.A.

- **Villón Béjar, M. (2007).** HIDROLOGÍA ESTADISTICA. Lima, Perú: EDICIONES VILLÓN.

ANEXOS

ANEXO 1: Resolución y permisos

Solicito revisión de Proyecto de Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil

Señor

Ms. Ing. Jorge A. Vega Benites
Director del Programa de Estudio de Ingeniería Civil
Universidad Privada Antenor Orrego

Gabriel Alessandro Gutierrez Zapata identificado con ID: 000199172, email institucional ggutierrez1@upao.edu.pe, celular 974868808 y Alejandra Lucía Cueva Vazallo, identificado con ID:000200683, email institucional acuevav2@upao.edu.pe, celular 945061519; bachilleres del Programa de Estudio de Ingeniería sede Trujillo.

Que, siendo el desarrollo de una tesis, requisito para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, solicito a usted se sirva ordenar a quien corresponda la revisión del proyecto de tesis titulado:

Estudio de la socavación local en las subestructuras de los puentes Conache, Casique, Santa Rosa y Moche - Trujillo 2023, perteneciente a la línea de investigación: Ingeniería Civil y sub línea de investigación: Hidráulica, proponiendo como asesor al docente Ing. Juan Pablo García Rivera, con registro CIP N°68614 y de encontrarlo conforme, se sirva continuar con el proceso administrativo ante el Decano de la Facultad de Ingeniería para la designación de jurado evaluador y nombramiento del asesor.

Por lo expuesto, pido a Ud., acceder a mi solicitud por ser de justicia.

Trujillo, 5 de Junio del 2023



Br. Alejandra Lucía Cueva Vazallo
ID: 000200683



Br. Gabriel Alessandro Gutierrez Zapata
ID: 000199172

Adjunto:

- Proyecto de Tesis.
- Reporte de Turnitin completo firmado por asesor.
- Ficha de evaluación del proyecto de tesis firmada por el asesor.
- Declaración jurada de compromiso de asesor.
- Copia autenticada de grado bachiller de los bachilleres.
- Copia simple de DNI de los bachilleres.

ANEXO 1.1: Solicitud de revisión de proyecto de tesis.

Declaración Jurada de Compromiso de Asesor

Juan Pablo García Rivera, docente del Programa de Estudio de Ingeniería Civil identificado con ID 000029987, declaro bajo juramento que estoy debidamente colegiado y habilitado con registro CIP N° 68614 y me comprometo a asesorar el proyecto de tesis titulado "Estudio de la socavación local en las subestructuras de los puentes Conache, Casique, Santa Rosa y Moche - Trujillo 2023", cuyos autores son los bachilleres Gabriel Alessandro Gutierrez Zapata y Alejandra Lucía Cueva Vazallo; hasta la sustentación y defensa de la misma.

Trujillo, 5 de Junio del 2023.



Ms. Juan Pablo García Rivera
Docente asesor
Registro CIP: 68614

Trujillo, 09 de junio de 2023

OFICIO N° 0861-2023-INCI-FI-UPAO

Señor Doctor
ANGEL FREDY ALANOCA QUENTA
Decano de la Facultad de Ingeniería UPAO
Presente. -

**ASUNTO: PROPUESTA PARA DESIGNACIÓN DE ASESOR
Y JURADO DE PROYECTO DE TESIS**

De mi especial consideración:

Mediante el presente reciba mi cordial saludo y, a la vez, elevo a su superior Despacho, la propuesta para designación del Jurado Evaluador y Asesor del proyecto de tesis "ESTUDIO DE LA SOCAVACIÓN LOCAL EN LAS SUBESTRUCTURAS DE LOS PUENTES CONACHE, CASIQUE, SANTA ROSA Y MOCHE - TRUJILLO 2023", perteneciente a: **CUEVA VAZALLO, ALEJANDRA LUCIA y GUTIERREZ ZAPATA, GABRIEL ALESSANDRO** a fin que se sirva disponer la emisión de la Resolución respectiva, de ser conforme:

Línea de investigación: **HIDRAULICA**

		DOCENTE	CIP	LÍNEA DE INVESTIGACION
JURADO	Asesor	JUAN PABLO GARCIA RIVERA	68614	HIDRAULICA
	Presidente	GUILLERMO CABANILLAS QUIROZ	17902	HIDRAULICA
	Secretario	FIDEL SAGASTEGUI PLASENCIA	32720	HIDRAULICA
	Vocal	LUCIO MEDINA CARBAJAL	76695	GESTION DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN
	Accesitario	RICARDO NARVAEZ ARANDA	58776	HIDRAULICA

Agradeciéndole su atención al presente, es propicia la oportunidad para reiterarle mi estima.

Atentamente,


MS. **ANGELO ANTONIO VEGA BENITES**
DIRECTOR
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL

Cc. Archivo
Sarita Orbegoso

Trujillo

Av. América Sur 3145 Monserrate
Teléfono [+51] [044] 604444
anexos: 2242
Trujillo - Perú

ANEXO 1.3: Oficio para designación de propuesta de jurado.



Trujillo, 16 de junio del 2023

RESOLUCIÓN N° 1080-2023-FI-UPAO

VISTO, el **OFICIO N° 0861-2023-INCI-FI-UPAO**, del Director del Programa de Estudio de **INGENIERÍA CIVIL**, sobre **NOMBRAMIENTO DE ASESOR** y **DESIGNACIÓN DE JURADO** del Proyecto de Tesis presentado por los Bachilleres: **CUEVA VAZALLO, ALEJANDRA LUCIA** y **GUTIERREZ ZAPATA, GABRIEL ALESSANDRO**, y;

CONSIDERANDO:

Que, el Bachiller en mención presenta el Proyecto de Tesis y propuesta de docente asesor para la respectiva revisión, adjuntando los requisitos tanto académicos como administrativos, y;

Que, con el **OFICIO N° 0861-2023-INCI-FI-UPAO**, la Dirección del Programa de Estudio de Ingeniería Civil propone la designación de asesor y jurado del Proyecto de Tesis hasta la sustentación de la misma, según la línea de investigación correspondiente;

Que, de acuerdo con el Reglamento de Grados y Títulos de Pregrado de nuestra Universidad, la Facultad de Ingeniería considera apropiado aceptar la propuesta del Programa de Estudio de Ingeniería Civil y;

Estando de acuerdo al Estatuto de la Universidad, al Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad y a las atribuciones conferidas a éste Despacho; °

SE RESUELVE:

PRIMERO: **NOMBRAR** como **DOCENTE ASESOR** del Proyecto de Tesis hasta la sustentación de la misma, al docente: **Ms. JUAN PABLO GARCIA RIVERA**, con **CIP N° 68614**.

SEGUNDO: **DESIGNAR** como **MIEMBROS DEL JURADO** del Proyecto de Tesis, cuyo título propuesto es: **"ESTUDIO DE LA SOCAVACIÓN LOCAL EN LAS SUBSTRUCTURAS DE LOS PUENTES CONACHE, CASIQUE, SANTA ROSA Y MOCHE - TRUJILLO 2023"**, perteneciente a la Línea de Investigación: **HIDRAULICA**, hasta la sustentación de la misma, a los señores docentes:

Ms. GUILLERMO CABANILLAS QUIROZ	CIP N° 17902	PRESIDENTE
Ms. FIDEL SAGASTEGUI PLASENCIA	CIP N° 32720	SECRETARIO
Ms. LUCIO MEDINA CARBAJAL	CIP N° 76695	VOCAL
Ms. RICARDO NARVAEZ ARANDA	CIP N° 58776	ACCESITARIO

TERCERO: **ESTABLECER** que el título del Proyecto de Tesis podría cambiar según la evaluación respectiva del jurado, respetando siempre la línea de investigación.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE.



Dr. Ángel Alanca Quenta
DECANO

C. Copia
 Archivo
 Programa de Estudio de Ingeniería Civil
A.A.Q./° Karin

Trujillo, 26 de junio del 2023

OFICIO N° 0954-2023-INCI-FI-UPAO

Señor Doctor
ANGEL FREDY ALANOCA QUENTA
Decano de la Facultad de Ingeniería UPAO
Presente.-

ASUNTO: APROBACIÓN E INSCRIPCIÓN DE PROYECTO DE TESIS
Ref.: RESOLUCIÓN N° 1080-2023-FI-UPAO

De mi especial consideración:

Sirva la presente para saludarlo cordialmente y, a la vez, elevo a su superior Despacho, el siguiente expediente a fin que tenga a bien disponer la **Aprobación e Inscripción del proyecto de tesis** titulado:

"ESTUDIO DE LA SOCAVACIÓN LOCAL EN LAS SUBESTRUCTURAS DE LOS PUENTES CONACHE, CASIQUE, SANTA ROSA Y MOCHE - TRUJILLO 2023".

Según, el Dictamen Consensuado presentado por el Jurado Revisor designado mediante la Resolución de la referencia donde lo considera APROBADO:

Autor (es):

- **BR. CUEVA VAZALLO, ALEJANDRA LUCIA**
- **BR. GUTIERREZ ZAPATA, GABRIEL ALESSANDRO**

ASESOR: ING. **JUAN PABLO GARCIA RIVERA**

Sin otro particular, hago propicia la oportunidad para reiterarle mi estima personal.

Atentamente,



MS. SERGE ANTONIO VEGA BENITES
DIRECTOR
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL

C.c. Archivo
Sarita Orbegoso



Trujillo

Av. América Sur 3145 Manserrate
Teléfono [+51] (044) 604444
anexos: 2242
Trujillo - Perú

ANEXO 1.5: Aprobación e inscripción de proyecto de tesis.



Trujillo, 26 de junio de 2023

RESOLUCIÓN N° 1251-2023-FI-UPAO

VISTO, el informe favorable del Jurado Evaluador del Proyecto de Tesis, titulado: “**ESTUDIO DE LA SOCAVACIÓN LOCAL EN LAS SUBESTRUCTURAS DE LOS PUENTES CONACHE, CASIQUE, SANTA ROSA Y MOCHE - TRUJILLO 2023**”, de los Bachilleres: **CUEVA VAZALLO, ALEJANDRA LUCIA y GUTIERREZ ZAPATA, GABRIEL ALESSANDRO**, de la Carrera Profesional de Ingeniería Civil, y;

CONSIDERANDO:

Que, el Jurado Evaluador conformado por los señores docentes: **Ms. GUILLERMO CABANILLAS QUIROZ**, Presidente; **Ms. FIDEL SAGASTEGUI PLASENCIA**, Secretario; **Ms. LUCIO MEDINA CARBAJAL**, Vocal; han revisado el Proyecto de Tesis, encontrándolo conforme;

Que, el Proyecto de Tesis ha sido elaborado conforme a las exigencias prescritas por el Reglamento de Grados y Títulos de Pregrado de la Universidad, el mismo que fue sometido a evaluación por el mencionado jurado evaluador, quien por acuerdo unánime recomendó su aprobación, tal como se desprende del informe elevado a la Facultad de Ingeniería;

Que, de acuerdo al Artículo 28° del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad, el Proyecto de Tesis se inscribe en el libro de proyectos de tesis a cargo de la Secretaría Académica de la Facultad;

Estando al Estatuto de la Universidad, al Reglamento de Grados y Títulos la Universidad y a las atribuciones conferidas a éste Despacho;

SE RESUELVE:

PRIMERO: APROBAR la modalidad de titulación solicitada por los Bachilleres: **CUEVA VAZALLO, ALEJANDRA LUCIA y GUTIERREZ ZAPATA, GABRIEL ALESSANDRO**, consistente en presentación, ejecución y sustentación de una **TESIS** para optar el título profesional de **INGENIERO CIVIL**.

SEGUNDO: APROBAR y DISPONER la inscripción del Proyecto de Tesis titulado: titulado: “**ESTUDIO DE LA SOCAVACIÓN LOCAL EN LAS SUBESTRUCTURAS DE LOS PUENTES CONACHE, CASIQUE, SANTA ROSA Y MOCHE - TRUJILLO 2023**”.

TERCERO: COMUNICAR a los Bachilleres que tienen un plazo máximo de **UN AÑO** para desarrollar y sustentar su tesis, a cuyo vencimiento, se produce la caducidad del mismo, perdiendo el derecho exclusivo sobre el tema elegido.

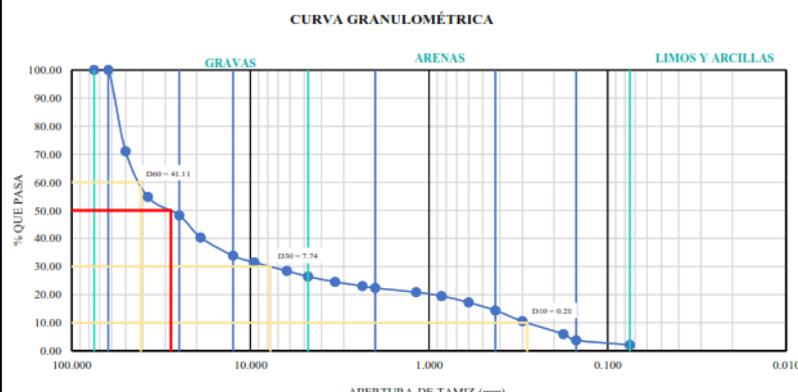
REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE.



Dr. Ángel Alandca Quenta
DECANO

C. Copia
 Archivo
 Escuela Profesional de Ingeniería Civil
 Interesados
e. A.A.Q. Karín

ANEXO 2: Resultados y ensayos

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL							
MÉTODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA EL ANÁLISIS DE TAMAÑO DE PARTICULAS DE SUELOS ASTM D - 422							
PROYECTO	ESTUDIO DE LA SOCAVACIÓN LOCAL EN LAS SUBESTRUCTURAS DE LOS PUENTES CONACHE, CACIQUE, SANTA ROSA Y MOCHE - TRUJILLO 2023						
SOLICITANTE	- CUEVA VAZALLO, ALEJANDRA LUCIA - GUTIERREZ ZAPATA, GABRIEL ALESSANDRO						
UBICACIÓN	- MOCHE - TRUJILLO - LA LIBERTAD - "PUENTE CONACHE"						
FECHA	12/03/2024						
COORDENADAS	LATITUD (8° 6'38.83"S) / LONGITUD (78°56'47.65"O)						
MUESTRA	C-1 / MUESTRA 1 / (MUESTRA EXTRAIDA Y TRASPORTADA POR EL SOLICITANTE)						
CALICATA	PROFUNDIDAD: 0.00 m - 0.95 m						
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA			CLASIFICACIÓN DE LA MUESTRA				
DESCRIPCIÓN		UNIDADES	Clas. SUCS : GW				
Peso después del secado:	5046.10	g	OBSERVACIONES Muestra tomada e identificada por solicitante.				
Peso tamizado:	4929.20	g					
Pérdida de lavado:	116.90	g					
% de finos que pasa tamiz N°200:	2.32	%					
TIPOS DE SUELO	MALLA O TAMIZ		MATERIAL RETENIDO		% RETENIDO ACUMULADO (R)	% QUE PASA (P)	
	ASTM	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (r) (%)			
GRAVA	GRUESA	3"	75.000	0.00	0.00	100.00	
		2 1/2"	62.500	0.00	0.00	100.00	
		2"	50.000	1605.00	28.91	28.91	71.09
		1 1/2"	37.500	905.00	16.30	45.21	54.79
		1"	25.000	364.00	6.56	51.77	48.23
	FINA	3/4"	19.000	437.00	7.87	59.64	40.36
		1/2"	12.500	360.80	6.50	66.14	33.86
		3/8"	9.500	132.10	2.38	68.52	31.48
		1/4"	6.250	167.70	3.02	71.54	28.46
		N° 4	4.750	111.80	2.01	73.55	26.45
ARENA	GRUESA	N°6	3.350	106.70	1.92	75.47	24.53
		N°8	2.360	81.30	1.46	76.94	23.06
		N°10	2.000	40.70	0.73	77.67	22.33
	MEDIA	N°16	1.180	81.00	1.46	79.13	20.87
		N°20	0.850	76.20	1.37	80.50	19.50
		N°30	0.600	127.00	2.29	82.79	17.21
		N°40	0.425	157.50	2.84	85.63	14.37
	FINA	N°50	0.300	213.40	3.84	89.47	10.53
		N°80	0.177	254.10	4.58	94.05	5.95
		N°100	0.150	122.00	2.20	96.25	3.75
FINO		< N° 200	PLATO	116.90	2.11	100.00	0.00
SUMATORIA			5551.70	100.00			
DIAMETROS							
D50	27.89						
D60	41.1117						
D30	7.7376						
D10	0.2822						
D95	60.1339						
Cu	145.667						
Cc	5.160						
Descripción de lamuestra :							
Grava bien gradada							
							

ANEXO 2.1: Estudio de granulometría de la C-1

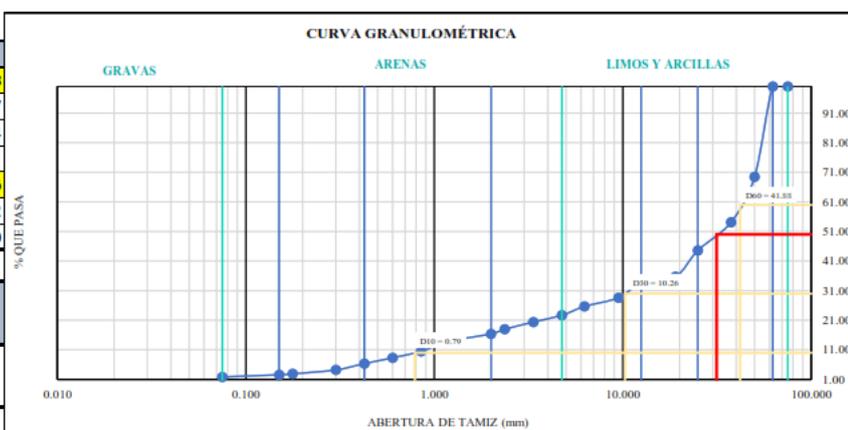
MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA EL ANÁLISIS DE TAMAÑO DE PARTICULAS DE SUELOS
ASTM D - 422

PROYECTO : ESTUDIO DE LA SOCAVACIÓN LOCAL EN LAS SUBESTRUCTURAS DE LOS PUENTES CONACHE, CACIQUE, SANTA ROSA Y MOCHE - TRUJILLO 2023
SOLICITANTE : - CUEVA VAZALLO, ALEJANDRA LUCIA
- GUTIERREZ ZAPATA, GABRIEL ALESSANDRO
UBICACIÓN : - MOCHE - TRUJILLO - LA LIBERTAD - "PUENTE FIERRO"
FECHA : 12/03/2024
COORDENADAS : LATITUD (8° 7'39.09"S) / LONGITUD (78°58'48.94"O)
MUESTRA : C-2 / MUESTRA 1 / (MUESTRA EXTRAIDA Y TRASPORTADA POR EL SOLICITANTE)
CALICATA : PROFUNDIDAD: 0.00 m - 0.95 m

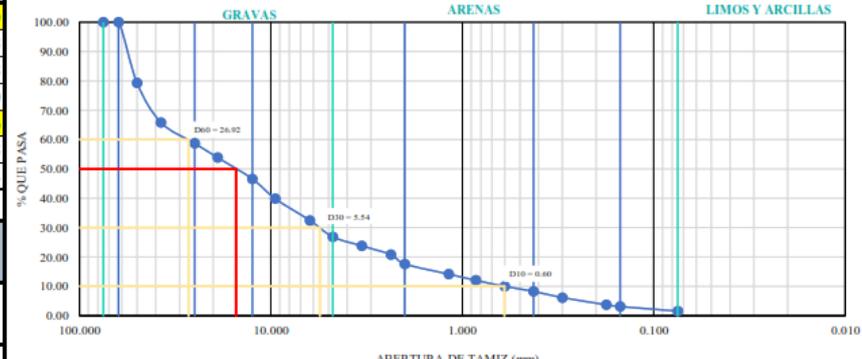
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA			CLASIFICACIÓN DE LA MUESTRA	
DESCRIPCIÓN	UNIDADES	Clas. SUCS : GW		
Peso después del secado:	5358.00	g	OBSERVACIONES Muestra tomada e identificada por solicitante.	
Peso tamizado:	5261.60	g		
Pérdida de lavado:	96.40	g		
% de finos que pasa tamiz N°200:	1.80	%		

TIPOS DE SUELO	MALLA O TAMIZ	MATERIAL RETENIDO				%RETENIDO ACUMULADO (R)	% QUE PASA (P)
		ASTM	ABERTURA	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO (r)		
			(mm)	(g)	(%)		
GRAVA	GRUESA	3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00
		2 1/2"	62.500	0.00	0.00	0.00	100.00
		2"	50.000	1605.00	30.55	30.55	69.45
		1 1/2"	37.500	806.00	15.34	45.89	54.11
		1"	25.000	500.00	9.52	55.41	44.59
	FINA	3/4"	19.000	467.00	8.89	64.30	35.70
		1/2"	12.500	111.00	2.11	66.41	33.59
		3/8"	9.500	262.00	4.99	71.40	28.60
		1/4"	6.250	157.00	2.99	74.38	25.62
		N° 4	4.750	155.00	2.95	77.33	22.67
ARENA	GRUESA	N°6	3.350	120.00	2.28	79.62	20.38
		N°8	2.360	130.00	2.47	82.09	17.91
		N°10	2.000	80.30	1.53	83.62	16.38
	MEDIA	N°16	1.180	137.00	2.61	86.23	13.77
		N°20	0.850	173.00	3.29	89.52	10.48
		N°30	0.600	116.00	2.21	91.73	8.27
		N°40	0.425	102.00	1.94	93.67	6.33
	FINA	N°50	0.300	112.50	2.14	95.81	4.19
		N°80	0.177	70.00	1.33	97.14	2.86
		N°100	0.150	16.10	0.31	97.45	2.55
N° 200	0.075	37.50	0.71	98.17	1.83		
FINO	< N° 200	PLATO	96.40	1.83	100.00	0.00	
SUMATORIA			5253.80	100.00			

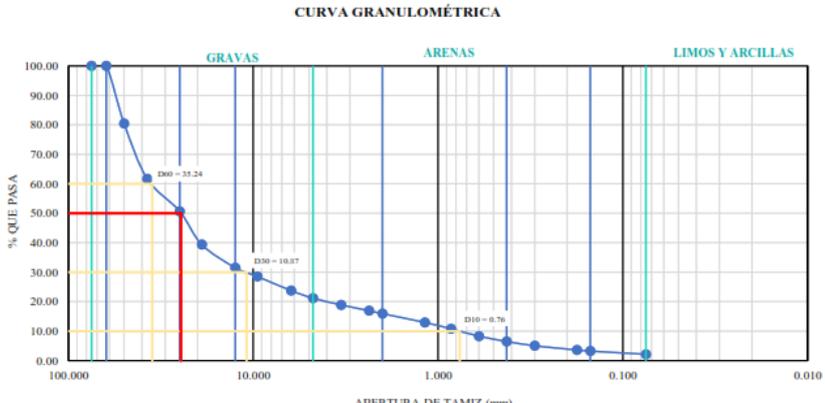
DIAMETROS	
D50	31.48
D60	41.8797
D30	10.2604
D10	0.7881
D95	60.2586
Cu	53.142
Cc	3.190
Descripción de la muestra :	
Grava bien graduado	



ANEXO 2.2: Estudio de granulometría de la C-2

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL							
MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA EL ANÁLISIS DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS DE SUELOS ASTM D - 422							
PROYECTO	ESTUDIO DE LA SOCAVACIÓN LOCAL EN LAS SUBESTRUCTURAS DE LOS PUENTES CONACHE, CACIQUE, SANTA ROSA Y MOCHE - TRUJILLO 2023						
SOLICITANTE	- CUEVA VAZALLO, ALEJANDRA LUCIA - GUTIERREZ ZAPATA, GABRIEL ALESSANDRO						
UBICACIÓN	- MOCHE - TRUJILLO - LA LIBERTAD - "PUENTE SANTA ROSA"						
FECHA	12/03/2024						
COORDENADAS	LATITUD (8° 7'39.33"S) / LONGITUD (78°59'47.80"O)						
MUESTRA	C-3 / MUESTRA 1 / (MUESTRA EXTRAIDA Y TRASPORTADA POR EL SOLICITANTE)						
CALICATA	PROFUNDIDAD: 0.00 m - 085 m						
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA			CLASIFICACIÓN DE LA MUESTRA				
DESCRIPCIÓN			UNIDADES		Clas. SUCS : GW		
Peso después del secado:	5424.50	g	OBSERVACIONES Muestra tomada e identificada por solicitante.				
Peso tamizado:	5343.10	g					
Pérdida de lavado:	81.40	g					
% de finos que pasa tamiz N°200:	1.50	%					
TIPOS DE SUELO	MALLA O TAMIZ		MATERIAL RETENIDO		%RETENIDO ACUMULADO (R)	% QUE PASA (P)	
	ASTM	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (r) (%)			
GRAVA	GRUESA	3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00
		2 1/2"	62.500	0.00	0.00	0.00	100.00
		2"	50.000	1080.00	20.74	20.74	79.26
		1 1/2"	37.500	700.00	13.44	34.19	65.81
		1"	25.000	370.00	7.11	41.30	58.70
	FINA	3/4"	19.000	250.00	4.80	46.10	53.90
		1/2"	12.500	380.00	7.30	53.40	46.60
		3/8"	9.500	350.00	6.72	60.12	39.88
		1/4"	6.250	388.00	7.45	67.57	32.43
		N° 4	4.750	290.00	5.57	73.14	26.86
ARENA	GRUESA	N°6	3.350	160.00	3.07	76.21	23.79
		N°8	2.360	156.00	3.00	79.21	20.79
		N°10	2.000	165.00	3.17	82.38	17.62
	MEDIA	N°16	1.180	180.00	3.46	85.84	14.16
		N°20	0.850	110.00	2.11	87.95	12.05
		N°30	0.600	108.50	2.08	90.03	9.97
		N°40	0.425	86.80	1.67	91.70	8.30
	FINA	N°50	0.300	112.00	2.15	93.85	6.15
		N°80	0.177	124.80	2.40	96.25	3.75
		N°100	0.150	32.50	0.62	96.87	3.13
FINO	N° 200	0.075	81.40	1.56	98.44	1.56	
SUMATORIA			5206.40	100.00			
DIAMETROS		CURVA GRANULOMÉTRICA					
D50	15.19						
D60	26.9238						
D30	5.5448						
D10	0.6030						
D95	59.2266						
Cu	44.648						
Cc	1.894						
Descripción de lamuestra :							
Grava bien graduado							

ANEXO 2.3: Estudio de granulometría de la C-3

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL							
MÉTODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA EL ANALISIS DE TAMANO DE PARTICULAS DE SUELOS ASTM D - 422							
PROYECTO : ESTUDIO DE LA SOCAVACIÓN LOCAL EN LAS SUBESTRUCTURAS DE LOS PUEBLOS CONACHE, CACIQUE, SANTA ROSA Y MOCHE - TRUJILLO 2023 SOLICITANTE : - CUEVA VAZALLO, ALEJANDRA LUCIA - GUTIERREZ ZAPATA, GABRIEL ALESSANDRO UBICACIÓN : - MOCHE - TRUJILLO - LA LIBERTAD - "PUENTE MOCHE" FECHA : 12/03/2024 COORDENADAS : LATITUD (8° 8'35.24"S) / LONGITUD (79° 0'45.65"O) MUESTRA : C-4 / MUESTRA 1 / (MUESTRA EXTRAIDA Y TRASPORTADA POR EL SOLICITANTE) CALICATA : PROFUNDIDAD: 0.00 m - 0.95 m							
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA			CLASIFICACIÓN DE LA MUESTRA				
DESCRIPCIÓN		UNIDADES	Clas. SUCS : GP				
Peso despues del secado:	5046.10	g	OBSERVACIONES				
Peso tamizado:	4929.20	g					
Pérdida de lavado:	116.90	g					
% de finos que pasa tamiz N°200:	2.32	%					
Muestra tomada e identificada por solicitante.							
TIPOS DE SUELO	MALLA O TAMIZ		MATERIAL RETENIDO		%RETENIDO ACUMULADO (R)	% QUE PASA (P)	
	ASTM	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (r) (%)			
GRAVA	GRUESA	3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00
		2 1/2"	62.500	0.00	0.00	0.00	100.00
		2"	50.000	1068.40	19.55	19.55	80.45
		1 1/2"	37.500	1025.00	18.76	38.31	61.69
		1"	25.000	602.00	11.02	49.33	50.67
	FINA	3/4"	19.000	618.30	11.32	60.64	39.36
		1/2"	12.500	428.40	7.84	68.49	31.51
		3/8"	9.500	162.70	2.98	71.46	28.54
		1/4"	6.250	260.30	4.76	76.23	23.77
		N° 4	4.750	141.00	2.58	78.81	21.19
ARENA	GRUESA	N°6	3.350	124.70	2.28	81.09	18.91
		N°8	2.360	108.50	1.99	83.07	16.93
		N°10	2.000	54.20	0.99	84.07	15.93
	MEDIA	N°16	1.180	162.70	2.98	87.04	12.96
		N°20	0.850	119.30	2.18	89.23	10.77
		N°30	0.600	135.60	2.48	91.71	8.29
		N°40	0.425	97.50	1.78	93.49	6.51
	FINA	N°50	0.300	81.30	1.49	94.98	5.02
		N°80	0.177	75.90	1.39	96.37	3.63
		N°100	0.150	21.70	0.40	96.77	3.23
FINO	< N° 200	PLATO	116.90	1.09	97.86	2.14	
SUMATORIA			5464.10	100.00	100.00	0.00	
DIAMETROS		CURVA GRANULOMÉTRICA					
D50	24.60						
D60	35.2392						
D30	10.8721						
D10	0.7629						
D95	59.0330						
Cu	46.193						
Cc	4.397						
Descripción de lamuestra :		Grava mal graduado					

ANEXO 2.4: Estudio de granulometría de la C-4

ANEXO 3: Resultados del cálculo de socavación de forma empírica.

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO		
TESIS: Estudio de la socavación local en las subestructuras de los puentes Conache, Casique, Santa Rosa y Moche - Trujillo 2023		
Elaborado:	- Cueva Vazallo Alejandra Lucia - Gutierrez Zapata Gabriel Alessandro	Ubicación: Rio Moche PUENTE: PUENTE CONACHE

CALCULO DE LA SOCAVACIÓN LOCAL MEDIANTE:
 Método de la Universidad Estatal de Colorado (CSU)

I. FORMULA GENERAL

$$\frac{y_s}{h} = 2.0 * K_f * K_{\emptyset} * K_c * K_a * \left(\frac{a}{h}\right)^{0.65} * F_r^{0.43}$$

Donde:

- Ys** = Profundidad que presenta la socavación local expresada en (m).
- h** = Profundidad del flujo del pilar aguas arriba expresada en (m).
- Kf** = Factor que toma en cuenta la forma que tiene el pilar.
- K \emptyset** = Factor que toma en cuenta el ángulo del ataque de flujo.
- Kc** = Factor que toma en cuenta la forma que se presenta del lecho.
- Ka** = Factor que toma en cuenta el acorazamiento del sedimento de lecho.
- a** = Se determina como el ancho de pilar expresada en (m).
- l** = Se determina como la longitud de la pila expresada en (m).
- Fr** = Es el número de Froude en el pilar dentro de la sección aguas arriba.
- v** = Velocidad media del flujo directamente aguas arriba de la pila en (m/s)

* Para pilas con punta circular alineadas con el flujo se tiene un rango aproximado para el calculo de la socavación local:

$$ds \leq 2.4a \text{ para } Fr \leq 0.8$$

$$ds \leq 3.0a \text{ para } Fr > 0.8$$

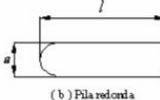
II. FACTOR DE CORRECIÓN POR LA FORMA DEL PILAR Kf METODO DE CSU

Se debe tener en cuenta:

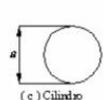
FORMA DE LA PILA	Kf
Nariz cuadrada	1.1
Nariz redonda	1
Cilíndrica	1
Punta aguda	0.9
Grupo de cilindros	1



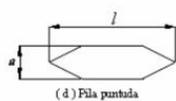
(a) Pila cuadrada



(b) Pila redonda



(c) Cilindro



(d) Pila puntada



(# de Pilas): (a) = l
(e) Grupo de cilindros

Kf = 1

ANEXO 3.1: Calculo de socavación local en el puente Conache mediante el método CSU.

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO			
TESIS: Estudio de la socavación local en las subestructuras de los puentes Conache, Casique, Santa Rosa y Moche - Trujillo 2023			
Elaborado:	- Cueva Vazallo Alejandra Lucia	Ubicación: Rio Moche	
	- Gutierrez Zapata Gabriel Alessandro	PUENTE:	PUENTE CONACHE

V. CRITERIOS PARA ADOPTAR K_a

$D_{50} < 2 \text{ mm}$ o $D_{95} < 20 \text{ mm}$	$K_a = 1.0$
$D_{50} \geq 2 \text{ mm}$ y $D_{95} \geq 20 \text{ mm}$	$K_a = 0.4 (V_R)^{0.15}$

Con respecto al segundo caso:

$$K_a = 0.4 (V_R)^{0.15}$$

* Donde V_R :

$$V_R = \left[\frac{V_1 - V_{icD50}}{V_{cD50} - V_{icD95}} \right] > 0$$

* Ademas V_{icDx} :

$$V_{icDx} = 0.645 \left(\frac{D_x}{a} \right)^{0.053} V_{cDx}$$

* Por ultimo V_{cDx} :

$$V_{cDx} = 6.19h^{1/6} D_x^{1/3}$$

Donde:

- V_R = Relación de velocidad
- V_1 = Velocidad de aproximación inmediatamente aguas arriba del pilar
- V_{icDx} = Velocidad de aproximación requerida para iniciar socavación en el pilar para el tamaño D_x de las partículas de sedimento (m/s)
- V_{icD95} = Velocidad de aproximación requerida para iniciar socavación en el pilar para el tamaño D_{95} de las partículas de sedimento (m/s).
- V_{icD50} = Velocidad de aproximación requerida para iniciar socavación en el pilar para el tamaño D_{50} de las partículas de sedimento (m/s).
- V_{cDx} = Velocidad crítica para iniciar movimiento de partículas de tamaño D_x del material del lecho (m/s).
- V_{cD50} = Velocidad crítica para iniciar movimiento de partículas de tamaño D_{50} del material del lecho (m/s)
- a = Ancho del pilar (m).
- D_x = Tamaño de la partícula de tal manera que el x por ciento del material del lecho más fino.
- h = Profundidad del agua aguas arriba del pilar sin incluir la socavación local (m)

ANEXO 3.2: Calculo de socavación local en el puente Conache mediante el método CSU.



Elaborado:	- Cueva Vazallo Alejandra Lucia	Ubicación: Rio Moche	
	- Gutierrez Zapata Gabriel Alessandro	PUENTE:	PUENTE CONACHE

**III. FACTOR DE CORRECCIÓN POR EL ÁNGULO DE ATAQUE DEL FLUJO $K\phi$
MÉTODO DE CSU**

Para hallar el angulo de ataque nos basamos de la siguiente tabla:

Angulo de ataque	l/a		
	4	8	12
0°	1.00	1.00	1.00
15°	1.50	2.00	2.50
30°	2.00	2.75	3.50
45°	2.30	3.30	4.30
90°	2.50	3.90	5.00

Siendo:

- a = Se determina como el ancho de pilar expresada en (m).
- l = Se determina como la longitud de la pila expresada en (m).
- ϕ = Angulo de ataque

* A excepción que si l/a es mayor que 12, se usan los valores correspondientes a l/a = 12 como maximos, ademas se usa la siguiente formula:

$$K_{\phi} = \left(\cos \phi + \frac{l}{a} \sin \phi \right)^{0.65}$$

Calculando:

a (Ancho de pila)	l (Longitud de pila)	ϕ (Angulo de ataque)
1	2.6	0

l/a =	2.6	↔	3
-------	-----	---	---

K_{ϕ}	=	1
------------	---	---

IV. FACTOR DE CORRECCIÓN POR LA FORMA DEL LECHO K_c

Condición del lecho	Altura de la duna H [pies]	K_c
Socavación en aguas claras	N/A	1.1
Lecho plano y antidunas	N/A	1.1
Dunas pequeñas	2 < H < 10	1.1
Dunas medianas	10 < H < 30	1.1 a 1.2
Dunas grandes	H > 30	1.3

$K_c =$ 1.1

Se recomienda usar un valor de K_c de 1.1 considerando que el lecho tiende a ser plano durante crecientes.

ANEXO 3.3: Calculo de socavación local en el puente Conache mediante el método CSU.

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO			
TESIS: Estudio de la socavación local en las subestructuras de los puentes Conache, Casique, Santa Rosa y Moche - Trujillo 2023			
Elaborado:	- Cueva Vazallo Alejandra Lucia	Ubicación: Rio Moche	
	- Gutierrez Zapata Gabriel Alessandro	PUENTE:	PUENTE CONACHE

Para el calculo de V_R se necesita los siguientes datos:

DATOS:	
a	= 2.6
h	= 7.6
D₅₀	= 27.89
D₉₅	= 60.13
V1	= 5.31

$$V_R = \left[\frac{V_1 - V_{icD50}}{V_{cD50} - V_{icD95}} \right] > 0$$

$V_{cDx} = 6.19h^{1/6} D_x^{1/3}$	$V_{icDx} = 0.645 \left(\frac{D_x}{a} \right)^{0.853} V_{cDx}$
V_{cD50} = 72.89206444	V_{icD50} = 53.31570409

$V_{cDx} = 6.19h^{1/6} D_x^{1/3}$	$V_{icDx} = 0.645 \left(\frac{D_x}{a} \right)^{0.853} V_{cDx}$
V_{cD95} = 157.1530956	V_{icD95} = 119.7239125

V_R = 1.025065336

Por ultimo se calcula el Ka

$$K_a = 0.4 (V_R)^{0.15}$$

Ka = 0.40

VI. CALCULO DE Fr

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gh}} = 0.614968996$$

Donde:

- V = Velocidad media del flujo directamente aguas arriba de la pila
- g = Gravedad equivale a 9.81 m/s²
- h = Profundidad del agua aguas arriba del pilar sin incluir la socavación local (m)

ANEXO 3.4: Calculo de socavación local en el puente Conache mediante el método CSU.

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO		
TESIS: Estudio de la socavación local en las subestructuras de los puentes Conache, Casique, Santa Rosa y Moche - Trujillo 2023		
Elaborado:	- Cueva Vazallo Alejandra Lucia - Gutierrez Zapata Gabriel Alessandro	Ubicación: Rio Moche PUENTE: PUENTE CONACHE

VI. SOLUCIÓN

$$\frac{y_s}{h} = 2.0 * K_f * K_\phi * K_c * K_a * \left(\frac{a}{h}\right)^{0.65} * Fr^{0.43}$$

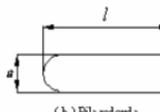
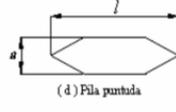
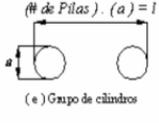
Donde:

h	=	7.60
Kf	=	1.00
Kϕ	=	1.00
Kc	=	1.10
Ka	=	0.40
a	=	2.60
Fr	=	0.61

Por lo que la socavacion local mediante el metodo CSU:

Fr	=	2.71
-----------	---	------

ANEXO 3.5: Calculo de socavación local en el puente Conache mediante el método CSU.

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO														
TESIS: Estudio de la socavación local en las subestructuras de los puentes Conache, Casique, Santa Rosa y Moche - Trujillo 2023														
Elaborado:	- Cueva Vazallo Alejandra Lucia	Ubicación: Río Moche												
	- Gutierrez Zapata Gabriel Alessandro	PUENTE: PUENTE SANTA ROSA												
CALCULO DE LA SOCAVACIÓN LOCAL MEDIANTE: Método de la Universidad Estatal de Colorado (CSU)														
<p>I. FORMULA GENERAL</p> $\frac{y_s}{h} = 2.0 * K_f * K_{\phi} * K_c * K_a * \left(\frac{a}{h}\right)^{0.65} * F_r^{0.43}$ <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> y_s = Profundidad que presenta la socavación local expresada en (m). h = Profundidad del flujo del pilar aguas arriba expresada en (m). K_f = Factor que toma en cuenta la forma que tiene el pilar. K_{ϕ} = Factor que toma en cuenta el ángulo del ataque de flujo. K_c = Factor que toma en cuenta la forma que se presenta del lecho. K_a = Factor que toma en cuenta el acorazamiento del sedimento de lecho. a = Se determina como el ancho de pilar expresada en (m). l = Se determina como la longitud de la pila expresada en (m). F_r = Es el número de Froude en el pilar dentro de la sección aguas arriba. v = Velocidad media del flujo directamente aguas arriba de la pila en (m/s) <p>* Para pilas con punta circular alineadas con el flujo se tiene un rango aproximado para el calculo de la socavación local:</p> $ds \leq 2.4a \text{ para } Fr \leq 0.8$ $ds \leq 3.0a \text{ para } Fr > 0.8$ <p>II. FACTOR DE CORRECCIÓN POR LA FORMA DEL PILAR K_f METODO DE CSU</p> <p>Se debe tener en cuenta:</p> <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>FORMA DE LA PILA</th> <th>K_f</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Nariz cuadrada</td> <td style="text-align: center;">1.1</td> </tr> <tr> <td>Nariz redonda</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td>Cilíndrica</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td>Punta aguda</td> <td style="text-align: center;">0.9</td> </tr> <tr> <td>Grupo de cilindros</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> </tbody> </table> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>(a) Pila cuadrada</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(b) Pila redonda</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(c) Cilindro</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>(d) Pila puntada</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(e) Grupo de cilindros</p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px; background-color: #ffffcc; padding: 5px;"> $K_f = 1.1$ </div>			FORMA DE LA PILA	K_f	Nariz cuadrada	1.1	Nariz redonda	1	Cilíndrica	1	Punta aguda	0.9	Grupo de cilindros	1
FORMA DE LA PILA	K_f													
Nariz cuadrada	1.1													
Nariz redonda	1													
Cilíndrica	1													
Punta aguda	0.9													
Grupo de cilindros	1													

ANEXO 3.6: Calculo de socavación local en el puente Santa Rosa mediante el método CSU.



Elaborado:	- Cueva Vazallo Alejandra Lucia	Ubicación: Rio Moche	
	- Gutierrez Zapata Gabriel Alessandro	PUENTE:	PUENTE SANTA ROSA

**III. FACTOR DE CORRECCIÓN POR EL ÁNGULO DE ATAQUE DEL FLUJO K_{ϕ}
MÉTODO DE CSU**

Para hallar el angulo de ataque nos basamos de la siguiente tabla:

Angulo de ataque	l/a		
	4	8	12
0°	1.00	1.00	1.00
15°	1.50	2.00	2.50
30°	2.00	2.75	3.50
45°	2.30	3.30	4.30
90°	2.50	3.90	5.00

Siendo:

- a = Se determina como el ancho de pilar expresada en (m).
- l = Se determina como la longitud de la pila expresada en (m).
- ϕ = Angulo de ataque

* A excepción que si l/a es mayor que 12, se usan los valores correspondientes a l/a = 12 como maximos, ademas se usa la siguiente formula:

$$K_{\phi} = \left(\cos \phi + \frac{l}{a} \sin \phi \right)^{0.65}$$

Calculando:

a (Ancho de pila)	l (Longitud de pila)	ϕ (Angulo de ataque)
1.9	7.3	0

$$l/a = 3.842105263 \Leftrightarrow 4$$

$$K_{\phi} = 1$$

IV. FACTOR DE CORRECCIÓN POR LA FORMA DEL LECHO K_c

Condición del lecho	Altura de la duna H [pies]	K_c
Socavación en aguas claras	N/A	1.1
Lecho plano y antidunas	N/A	1.1
Dunas pequeñas	2 < H < 10	1.1
Dunas medianas	10 < H < 30	1.1 a 1.2
Dunas grandes	H > 30	1.3

$$K_c = 1.1$$

Se recomienda usar un valor de K_c de 1.1 considerando que el lecho tiende a ser plano durante crecientes.

ANEXO 3.7: Calculo de socavación local en el puente Santa Rosa mediante el método CSU.

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO							
TESIS: Estudio de la socavación local en las subestructuras de los puentes Conache, Casique, Santa Rosa y Moche - Trujillo 2023							
Elaborado:	- Cueva Vazallo Alejandra Lucia	Ubicación: Rio Moche					
	- Gutierrez Zapata Gabriel Alessandro	PUENTE:	PUENTE SANTA ROSA				
V. CRITERIOS PARA ADOPTAR K_a							
<table border="1"> <tr> <td>$D_{50} < 2 \text{ mm}$ o $D_{95} < 20 \text{ mm}$</td> <td>$K_a = 1.0$</td> </tr> <tr> <td>$D_{50} \geq 2 \text{ mm}$ y $D_{95} \geq 20 \text{ mm}$</td> <td>$K_a = 0.4 (V_R)^{0.15}$</td> </tr> </table>				$D_{50} < 2 \text{ mm}$ o $D_{95} < 20 \text{ mm}$	$K_a = 1.0$	$D_{50} \geq 2 \text{ mm}$ y $D_{95} \geq 20 \text{ mm}$	$K_a = 0.4 (V_R)^{0.15}$
$D_{50} < 2 \text{ mm}$ o $D_{95} < 20 \text{ mm}$	$K_a = 1.0$						
$D_{50} \geq 2 \text{ mm}$ y $D_{95} \geq 20 \text{ mm}$	$K_a = 0.4 (V_R)^{0.15}$						
Con respecto al segundo caso:							
$K_a = 0.4 (V_R)^{0.15}$							
* Donde V_R :							
$V_R = \left[\frac{V_1 - V_{icD50}}{V_{cD50} - V_{icD95}} \right] > 0$							
* Ademas V_{icDx} :							
$V_{icDx} = 0.645 \left(\frac{D_x}{a} \right)^{0.053} V_{cDx}$							
* Por ultimo V_{cDx} :							
$V_{cDx} = 6.19h^{1/6} D_x^{1/3}$							
Donde:							
V_R	=	Relación de velocidad					
V_1	=	Velocidad de aproximación inmediatamente aguas arriba del pilar					
V_{icDx}	=	Velocidad de aproximación requerida para iniciar socavación en el pilar para el tamaño D_x de las partículas de sedimento (m/s)					
V_{icD95}	=	Velocidad de aproximación requerida para iniciar socavación en el pilar para el tamaño D_{95} de las partículas de sedimento (m/s).					
V_{icD50}	=	Velocidad de aproximación requerida para iniciar socavación en el pilar para el tamaño D_{50} de las partículas de sedimento (m/s).					
V_{cDx}	=	Velocidad crítica para iniciar movimiento de partículas de tamaño D_x del material del lecho (m/s).					
V_{cD50}	=	Velocidad crítica para iniciar movimiento de partículas de tamaño D_{50} del material del lecho (m/s)					
a	=	Ancho del pilar (m).					
D_x	=	Tamaño de la partícula de tal manera que el x por ciento del material del lecho más fino.					
h	=	Profundidad del agua aguas arriba del pilar sin incluir la socavación local (m)					

ANEXO 3.8: Calculo de socavación local en el puente Santa Rosa mediante el método CSU.

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO		
TESIS: Estudio de la socavación local en las subestructuras de los puentes Conache, Casique, Santa Rosa y Moche - Trujillo 2023		
Elaborado:	- Cueva Vazallo Alejandra Lucia	Ubicación: Rio Moche
	- Gutierrez Zapata Gabriel Alessandro	PUENTE: PUENTE SANTA ROSA

Para el calculo de V_R se necesita los siguientes datos:

DATOS:		
a	=	1.9
h	=	6.5
D₅₀	=	15.19
D₉₅	=	59.23
V1	=	4.01

$$V_R = \left[\frac{V_1 - V_{icD50}}{V_{cd50} - V_{icD95}} \right] > 0$$

$V_{cdx} = 6.19h^{1/6}D_x^{1/3}$	$V_{icdx} = 0.645 \left(\frac{D_x}{a} \right)^{0.053} V_{cdx}$
V_{cd50} = 33.95386944	V_{icD50} = 24.45105543

$V_{cdx} = 6.19h^{1/6}D_x^{1/3}$	$V_{icdx} = 0.645 \left(\frac{D_x}{a} \right)^{0.053} V_{cdx}$
V_{cd95} = 132.3955028	V_{icD95} = 102.4716475

V_R = 0.298332141

Por ultimo se calcula el K_a

$$K_a = 0.4 (V_R)^{0.15}$$

Ka = 0.33

VI. CALCULO DE Fr

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gh}} = 0.502172806$$

Donde:

- V = Velocidad media del flujo directamente aguas arriba de la pila
- g = Gravedad equivale a 9.81 m/s²
- h = Profundidad del agua aguas arriba del pilar sin incluir la socavación local (m)

ANEXO 3.9: Calculo de socavación local en el puente Santa Rosa mediante el método CSU.

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO		
TESIS: Estudio de la socavación local en las subestructuras de los puentes Conache, Casique, Santa Rosa y Moche - Trujillo 2023		
Elaborado:	- Cueva Vazallo Alejandra Lucia	Ubicación: Rio Moche
	- Gutierrez Zapata Gabriel Alessandro	PUENTE: PUENTE SANTA ROSA

VI. SOLUCIÓN

$$\frac{y_s}{h} = 2.0 * K_f * K_\phi * K_c * K_a * \left(\frac{a}{h}\right)^{0.65} * F_r^{0.43}$$

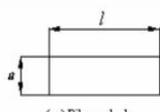
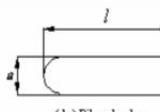
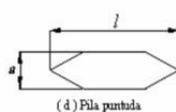
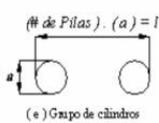
Donde:

h	=	6.50
Kf	=	1.10
K ϕ	=	1.00
Kc	=	1.10
Ka	=	0.33
a	=	1.90
Fr	=	0.50

Por lo que la socavacion local mediante el metodo CSU:

Fr	=	1.75
-----------	---	------

ANEXO 3.10: Calculo de socavación local en el puente Santa Rosa mediante el método CSU.

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO														
TESIS: Estudio de la socavación local en las subestructuras de los puentes Conache, Casique, Santa Rosa y Moche - Trujillo 2023														
Elaborado:	- Cueva Vazallo Alejandra Lucia	Ubicación: Rio Moche												
	- Gutierrez Zapata Gabriel Alessandro	PUENTE: PUENTE SANTA ROSA												
CALCULO DE LA SOCAVACIÓN LOCAL MEDIANTE: Método de la Universidad Estatal de Colorado (CSU)														
<p>I. FORMULA GENERAL</p> $\frac{y_s}{h} = 2.0 * K_f * K_{\phi} * K_c * K_a * \left(\frac{a}{h}\right)^{0.65} * F_r^{0.43}$ <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> Y_s = Profundidad que presenta la socavación local expresada en (m). h = Profundidad del flujo del pilar aguas arriba expresada en (m). K_f = Factor que toma en cuenta la forma que tiene el pilar. K_φ = Factor que toma en cuenta el ángulo del ataque de flujo. K_c = Factor que toma en cuenta la forma que se presenta del lecho. K_a = Factor que toma en cuenta el acorazamiento del sedimento de lecho. a = Se determina como el ancho de pilar expresada en (m). l = Se determina como la longitud de la pila expresada en (m). Fr = Es el número de Froude en el pilar dentro de la sección aguas arriba. v = Velocidad media del flujo directamente aguas arriba de la pila en (m/s) <p>* Para pilas con punta circular alineadas con el flujo se tiene un rango aproximado para el calculo de la socavación local:</p> $ds \leq 2.4a \text{ para } Fr \leq 0.8$ $ds \leq 3.0a \text{ para } Fr > 0.8$ <p>II. FACTOR DE CORRECIÓN POR LA FORMA DEL PILAR K_f METODO DE CSU</p> <p>Se debe tener en cuenta:</p> <table border="1" style="display: inline-table; margin-right: 20px;"> <thead> <tr> <th>FORMA DE LA PILA</th> <th>K_f</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Nariz cuadrada</td> <td style="text-align: center;">1.1</td> </tr> <tr> <td>Nariz redonda</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td>Cilíndrica</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td>Punta aguda</td> <td style="text-align: center;">0.9</td> </tr> <tr> <td>Grupo de cilindros</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> </tbody> </table> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>(a) Pila cuadrada</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(b) Pila redonda</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(c) Cilindro</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>(d) Pila puntada</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(e) Grupo de cilindros</p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px; background-color: #ffffcc; padding: 5px;"> K_f = 1.1 </div>			FORMA DE LA PILA	K _f	Nariz cuadrada	1.1	Nariz redonda	1	Cilíndrica	1	Punta aguda	0.9	Grupo de cilindros	1
FORMA DE LA PILA	K _f													
Nariz cuadrada	1.1													
Nariz redonda	1													
Cilíndrica	1													
Punta aguda	0.9													
Grupo de cilindros	1													

ANEXO 3.11: Calculo de socavación local en el puente Moche mediante el método CSU.

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO		
TESIS: Estudio de la socavación local en las subestructuras de los puentes Conache, Casique, Santa Rosa y Moche - Trujillo 2023		
Elaborado:	- Cueva Vazallo Alejandra Lucia	Ubicación: Rio Moche
	- Gutierrez Zapata Gabriel Alessandro	PUENTE: PUENTE SANTA ROSA

III. FACTOR DE CORRECCIÓN POR EL ÁNGULO DE ATAQUE DEL FLUJO $K\phi$
MÉTODO DE CSU

Para hallar el angulo de ataque nos basamos de la siguiente tabla:

Angulo de ataque	l/a		
	4	8	12
0°	1.00	1.00	1.00
15°	1.50	2.00	2.50
30°	2.00	2.75	3.50
45°	2.30	3.30	4.30
90°	2.50	3.90	5.00

Siendo:

- a = Se determina como el ancho de pilar expresada en (m).
- l = Se determina como la longitud de la pila expresada en (m).
- ϕ = Angulo de ataque

* A excepción que si l/a es mayor que 12, se usan los valores correspondientes a l/a = 12 como maximos, ademas se usa la siguiente formula:

$$K_{\phi} = \left(\cos \phi + \frac{l}{a} \text{sen} \phi \right)^{0.65}$$

Calculando:

a (Ancho de pila)	l (Longitud de pila)	ϕ (Angulo de ataque)
1.9	7.3	0

l/a = 3.842105263	↔	4
-------------------	---	---

$K_{\phi} = 1$

IV. FACTOR DE CORRECCIÓN POR LA FORMA DEL LECHO K_c

Condición del lecho	Altura de la duna H [pies]	K_c
Socavación en aguas claras	N/A	1.1
Lecho plano y antidunas	N/A	1.1
Dunas pequeñas	2 < H < 10	1.1
Dunas medianas	10 < H < 30	1.1 a 1.2
Dunas grandes	H > 30	1.3

$K_c =$ 1.1

Se recomienda usar un valor de K_c de 1.1 considerando que el lecho tiende a ser plano durante crecientes.

ANEXO 3.12: Calculo de socavación local en el puente Moche mediante el método CSU.



Elaborado:	- Cueva Vazallo Alejandra Lucia	Ubicación: Rio Moche	
	- Gutierrez Zapata Gabriel Alessandro	PUENTE:	PUENTE SANTA ROSA

V. CRITERIOS PARA ADOPTAR K_a

$D_{50} < 2 \text{ mm}$ o $D_{95} < 20 \text{ mm}$	$K_a = 1.0$
$D_{50} \geq 2 \text{ mm}$ y $D_{95} \geq 20 \text{ mm}$	$K_a = 0.4 (V_R)^{0.15}$

Con respecto al segundo caso:

$$K_a = 0.4 (V_R)^{0.15}$$

* Donde V_R :

$$V_R = \left[\frac{V_1 - V_{icD50}}{V_{cD50} - V_{icD95}} \right] > 0$$

* Ademas V_{icDx} :

$$V_{icDx} = 0.645 \left(\frac{D_x}{a} \right)^{0.053} V_{cDx}$$

* Por ultimo V_{cDx} :

$$V_{cDx} = 6.19h^{1/6} D_x^{1/3}$$

Donde:

- V_R = Relación de velocidad
- V_1 = Velocidad de aproximación inmediatamente aguas arriba del pilar
- V_{icDx} = Velocidad de aproximación requerida para iniciar socavación en el pilar para el tamaño D_x de las partículas de sedimento (m/s)
- V_{icD95} = Velocidad de aproximación requerida para iniciar socavación en el pilar para el tamaño D_{95} de las partículas de sedimento (m/s).
- V_{icD50} = Velocidad de aproximación requerida para iniciar socavación en el pilar para el tamaño D_{50} de las partículas de sedimento (m/s).
- V_{cDx} = Velocidad crítica para iniciar movimiento de partículas de tamaño D_x del material del lecho (m/s).
- V_{cD50} = Velocidad crítica para iniciar movimiento de partículas de tamaño D_{50} del material del lecho (m/s)
- a = Ancho del pilar (m).
- D_x = Tamaño de la partícula de tal manera que el x por ciento del material del lecho más fino.
- h = Profundidad del agua aguas arriba del pilar sin incluir la socavación local (m)

ANEXO 3.13: Calculo de socavación local en el puente Moche mediante el método CSU.

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO			
TESIS: Estudio de la socavación local en las subestructuras de los puentes Conache, Casique, Santa Rosa y Moche - Trujillo 2023			
Elaborado:	- Cueva Vazallo Alejandra Lucia	Ubicación: Rio Moche	
	- Gutierrez Zapata Gabriel Alessandro	PUENTE:	PUENTE SANTA ROSA

Para el calculo de V_R se necesita los siguientes datos:

DATOS:		
a	=	1.9
h	=	6.5
D₅₀	=	15.19
D₉₅	=	59.23
V1	=	4.01

$$V_R = \left[\frac{V_1 - V_{icD50}}{V_{cd50} - V_{icD95}} \right] > 0$$

$V_{cdx} = 6.19h^{1/6} D_x^{1/3}$	$V_{icx} = 0.645 \left(\frac{D_x}{a} \right)^{0.053} V_{cdx}$
V_{cd50} = 33.95386944	V_{ic50} = 24.45105543

$V_{cdx} = 6.19h^{1/6} D_x^{1/3}$	$V_{icx} = 0.645 \left(\frac{D_x}{a} \right)^{0.053} V_{cdx}$
V_{cd95} = 132.3955028	V_{ic95} = 102.4716475

V_R = 0.298332141

Por ultimo se calcula el Ka

$$K_a = 0.4 (V_R)^{0.15}$$

Ka = 0.33

VI. CALCULO DE Fr

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gh}} = 0.502172806$$

Donde:

- V = Velocidad media del flujo directamente aguas arriba de la pila
- g = Gravedad equivale a 9.81 m/s²
- h = Profundidad del agua aguas arriba del pilar sin incluir la socavación local (m)

ANEXO 3.14: Calculo de socavación local en el puente Moche mediante el método CSU.

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO																											
TESIS: Estudio de la socavación local en las subestructuras de los puentes Conache, Casique, Santa Rosa y Moche - Trujillo 2023																											
Elaborado:	- Cueva Vazallo Alejandra Lucia	Ubicación: Rio Moche																									
	- Gutierrez Zapata Gabriel Alessandro	PUENTE:	PUENTE SANTA ROSA																								
<p>VI. SOLUCIÓN</p> $\frac{y_s}{h} = 2.0 * K_f * K_\phi * K_c * K_a * \left(\frac{a}{h}\right)^{0.65} * F_r^{0.43}$ <p>Donde:</p> <table border="1"> <tr><td>h</td><td>=</td><td>6.50</td></tr> <tr><td>Kf</td><td>=</td><td>1.10</td></tr> <tr><td>Kϕ</td><td>=</td><td>1.00</td></tr> <tr><td>Kc</td><td>=</td><td>1.10</td></tr> <tr><td>Ka</td><td>=</td><td>0.33</td></tr> <tr><td>a</td><td>=</td><td>1.90</td></tr> <tr><td>Fr</td><td>=</td><td>0.50</td></tr> </table> <p>Por lo que la socavacion local mediante el metodo CSU:</p> <table border="1"> <tr><td>Fr</td><td>=</td><td>1.75</td></tr> </table>				h	=	6.50	Kf	=	1.10	Kϕ	=	1.00	Kc	=	1.10	Ka	=	0.33	a	=	1.90	Fr	=	0.50	Fr	=	1.75
h	=	6.50																									
Kf	=	1.10																									
Kϕ	=	1.00																									
Kc	=	1.10																									
Ka	=	0.33																									
a	=	1.90																									
Fr	=	0.50																									
Fr	=	1.75																									

ANEXO 3.15: Calculo de socavación local en el puente Moche mediante el método CSU.

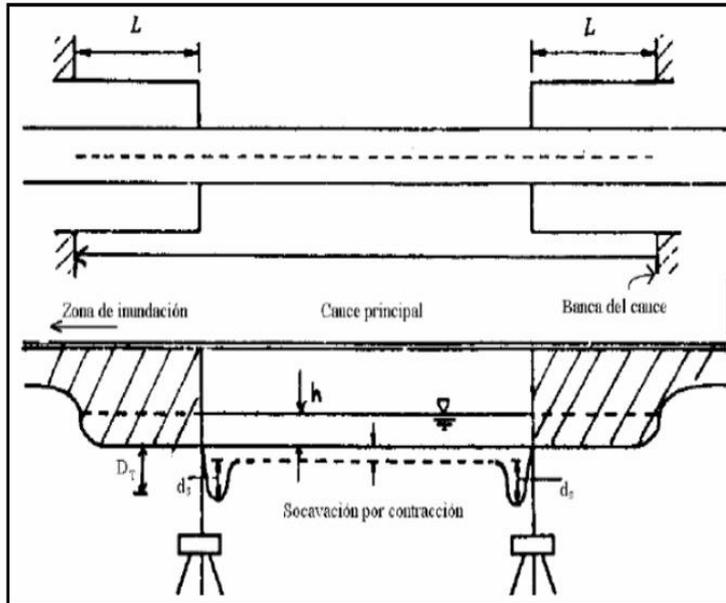
ANEXO 4: Resultados del cálculo de socavación local en estribos de forma empírica.

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO			
TESIS: Estudio de la socavación local en las subestructuras de los puentes Conache, Casique, Santa Rosa y Moche - Trujillo 2023			
Elaborado:	- Cueva Vazallo Alejandra Lucia	Ubicación: Río Moche	
	- Gutierrez Zapata Gabriel Alessandro	PUENTE:	PUENTE CONACHE
CALCULO DE LA SOCAVACIÓN LOCAL EN ESTRIBOS MEDIANTE: Método de Liu, Chang y Skinner			
I. FORMULA GENERAL			
$\frac{y_s}{h} = K_f \left(\frac{L}{h} \right)^{0.4} F_r^{0.33}$			
Donde:			
y_s	=	Profundidad de socavación	
h	=	Profundidad de flujo en el cauce principal	
L	=	Longitud del estribo y accesos al puente que se opone al paso del agua	
Fr	=	Numero de Froude, aguas arriba	
K_f	=	Coeficiente de corrección por fomra de estribo	
II. SOLUCIÓN			
TABLA DE DATOS			
h	7.6 m	Profundidad de flujo en el cauce principal	
L	0.1 m	Longitud del estribo y accesos al puente	
1. Factor de correccion			
Descripción		Kf	
Estribos con pared inclinada hacia el cauce		1.1	
Estribo con pared vertical		2.15	
K_f		1.1	

ANEXO 4.1: Calculo de socavación local en estribos del puente Conache mediante el método de Liu, Chang y Skinner.



Elaborado:	- Cueva Vazallo Alejandra Lucia	Ubicación: Rio Moche	
	- Gutierrez Zapata Gabriel Alessandro	PUENTE:	PUENTE CONACHE



2. Velocidad del flujo

$$V_e = \frac{Q_e}{A_e}$$

<i>V_e</i>	5.31 m/s
----------------------	----------

3. Número de Froude en la sección directamente aguas arriba de la pila

$$F_{re} = \frac{V_e}{\sqrt{gh_e}}$$

<i>F_{re}</i>	0.6150
-----------------------	--------

Profundidad de socavación local en estribos

$$\frac{y_s}{h} = K_f \left(\frac{L}{h} \right)^{0.4} F_r^{0.33}$$

<i>Y_s</i>	1.260 m
----------------------	---------

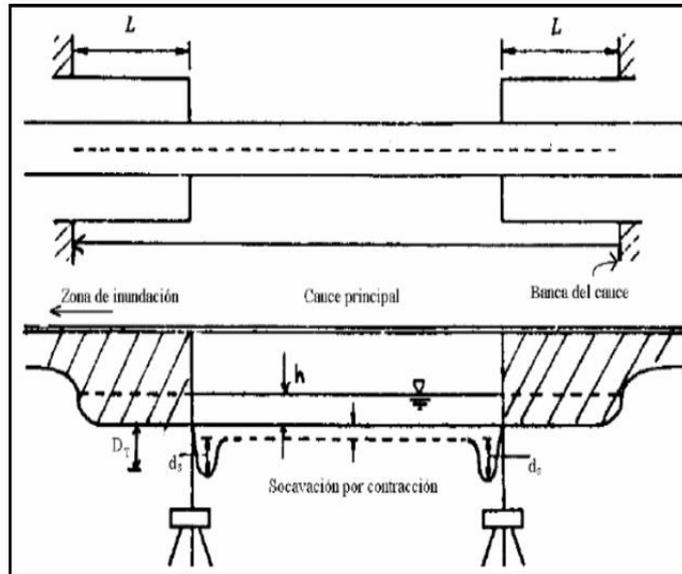
ANEXO 4.2: Calculo de socavación local en estribos del puente Conache mediante el método e Liu, Chang y Skinner.

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO								
TESIS: Estudio de la socavación local en las subestructuras de los puentes Conache, Casique, Santa Rosa y Moche - Trujillo 2023								
Elaborado:	- Cueva Vazallo Alejandra Lucia	Ubicación: Rio Moche						
	- Gutierrez Zapata Gabriel Alessandro	PUENTE: PUENTE CACIQUE						
CALCULO DE LA SOCAVACIÓN LOCAL EN ESTRIBOS MEDIANTE: Método de Liu, Chang y Skinner								
I. FORMULA GENERAL								
$\frac{y_s}{h} = K_f \left(\frac{L}{h} \right)^{0.4} F_r^{0.33}$								
Donde:								
y_s	=	Profundidad de socavación						
h	=	Profundidad de flujo en el cauce principal						
L	=	Longitud del estribo y accesos al puente que se opone al paso del agua						
Fr	=	Numero de Froude, aguas arriba						
K_f	=	Coefficiente de corrección por fomra de estribo						
II. SOLUCIÓN								
TABLA DE DATOS								
h	5.36 m	Profundidad de flujo en el cauce principal						
L	0.1 m	Longitud del estribo y accesos al puente						
 1. Factor de correccion								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 70%;">Descripcion</th> <th style="width: 30%;">Kf</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Estribos con pared inclinada hacia el cauce</td> <td style="text-align: center;">1.1</td> </tr> <tr> <td>Estribo con pared vertical</td> <td style="text-align: center;">2.15</td> </tr> </tbody> </table>			Descripcion	Kf	Estribos con pared inclinada hacia el cauce	1.1	Estribo con pared vertical	2.15
Descripcion	Kf							
Estribos con pared inclinada hacia el cauce	1.1							
Estribo con pared vertical	2.15							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="width: 60%; text-align: center;">K_f</td> <td style="text-align: center;">2.15</td> </tr> </tbody> </table>			K_f	2.15				
K_f	2.15							

ANEXO 4.3: Calculo de socavación local en estribos del puente Cacique mediante el método e Liu, Chang y Skinner.



Elaborado:	- Cueva Vazallo Alejandra Lucia	Ubicación: Rio Moche	
	- Gutierrez Zapata Gabriel Alessandro	PUENTE:	PUENTE CACIQUE



2. Velocidad del flujo

$$V_e = \frac{Q_e}{A_e}$$

<i>V_e</i>	4.09 m/s
----------------------	----------

3. Número de Froude en la sección directamente aguas arriba de la pila

$$F_{re} = \frac{V_e}{\sqrt{gh_e}}$$

<i>F_{re}</i>	0.5640
-----------------------	--------

Profundidad de socavación local en estribos

$$\frac{y_s}{h} = K_f \left(\frac{L}{h} \right)^{0.4} F_r^{0.33}$$

<i>y_s</i>	1.940 m
----------------------	---------

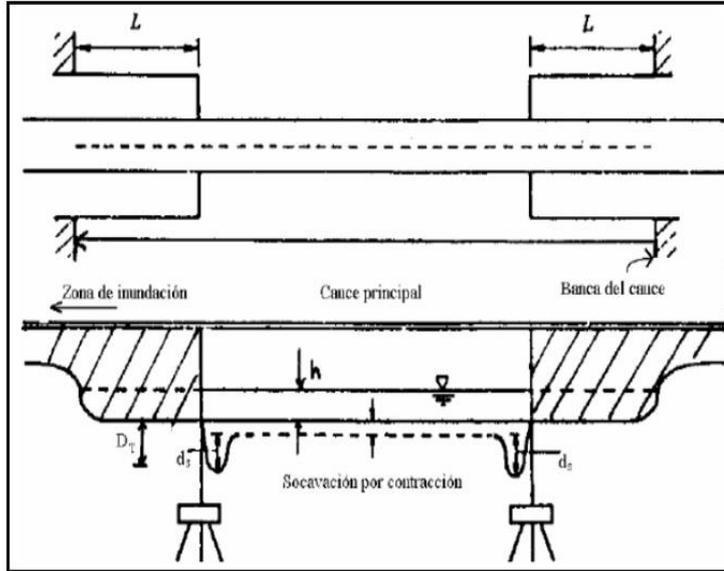
ANEXO 4.4: Calculo de socavación local en estribos del puente Cacique mediante el método e Liu, Chang y Skinner.

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO																			
TESIS: Estudio de la socavación local en las subestructuras de los puentes Conache, Casique, Santa Rosa y Moche - Trujillo 2023																			
Elaborado:	- Cueva Vazallo Alejandra Lucia - Gutierrez Zapata Gabriel Alessandro	Ubicación: Rio Moche PUENTE: PUENTE SANTA ROSA																	
CALCULO DE LA SOCAVACIÓN LOCAL EN ESTRIBOS MEDIANTE: Método de Liu, Chang y Skinner																			
<p>I. FORMULA GENERAL</p> $\frac{y_s}{h} = K_f \left(\frac{L}{h} \right)^{0.4} F_r^{0.33}$ <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> y_s = Profundidad de socavación h = Profundidad de flujo en el cauce principal L = Longitud del estribo y accesos al puente que se opone al paso del agua Fr = Numero de Froude, aguas arriba K_f = Coeficiente de corrección por fomra de estribo <p>II. SOLUCIÓN</p> <table border="1" style="margin: 10px auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3" style="background-color: #f2f2f2;">TABLA DE DATOS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">h</td> <td style="text-align: center;">6.5 m</td> <td>Profundidad de flujo en el cauce principal</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">L</td> <td style="text-align: center;">0.1 m</td> <td>Longitud del estribo y accesos al puente</td> </tr> </tbody> </table> <p style="margin-top: 20px;">1. Factor de correccion</p> <table border="1" style="margin: 10px auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #4f81bd; color: white;">Descripcion</th> <th style="background-color: #4f81bd; color: white;">Kf</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Estribos con pared inclinada hacia el cauce</td> <td style="text-align: center;">1.1</td> </tr> <tr> <td>Estribo con pared vertical</td> <td style="text-align: center;">2.15</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="margin: 10px auto; border-collapse: collapse; width: 50%;"> <tr> <td style="background-color: #4f81bd; color: white; text-align: center; width: 60%;">K_f</td> <td style="text-align: center;">1.1</td> </tr> </table>			TABLA DE DATOS			h	6.5 m	Profundidad de flujo en el cauce principal	L	0.1 m	Longitud del estribo y accesos al puente	Descripcion	Kf	Estribos con pared inclinada hacia el cauce	1.1	Estribo con pared vertical	2.15	K_f	1.1
TABLA DE DATOS																			
h	6.5 m	Profundidad de flujo en el cauce principal																	
L	0.1 m	Longitud del estribo y accesos al puente																	
Descripcion	Kf																		
Estribos con pared inclinada hacia el cauce	1.1																		
Estribo con pared vertical	2.15																		
K_f	1.1																		

ANEXO 4.5: Calculo de socavación local en estribos del puente Santa Rosa mediante el método e Liu, Chang y Skinner.



Elaborado:	- Cueva Vazallo Alejandra Lucia	Ubicación: Río Moche	
	- Gutierrez Zapata Gabriel Alessandro	PUENTE:	PUENTE SANTA ROSA



2. Velocidad del flujo

$$V_e = \frac{Q_e}{A_e}$$

<i>V_e</i>	4.01 m/s
----------------------	----------

3. Número de Froude en la sección directamente aguas arriba de la pila

$$F_{re} = \frac{V_e}{\sqrt{gh_e}}$$

<i>F_{re}</i>	0.5022
-----------------------	--------

Profundidad de socavación local en estribos

$$\frac{y_s}{h} = K_f \left(\frac{L}{h} \right)^{0.4} F_r^{0.33}$$

<i>y_s</i>	1.073 m
----------------------	---------

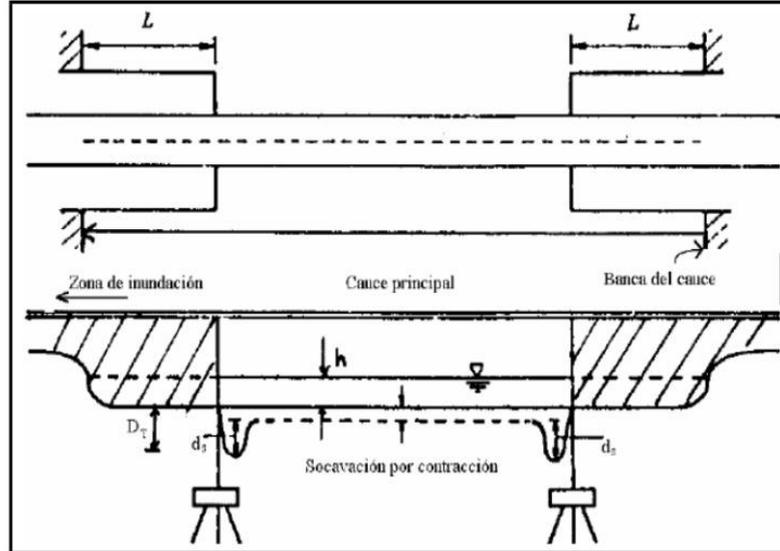
ANEXO 4.6: Calculo de socavación local en estribos del puente Santa Rosa mediante el método e Liu, Chang y Skinner.

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO			
TESIS: Estudio de la socavación local en las subestructuras de los puentes Conache, Casique, Santa Rosa y Moche - Trujillo 2023			
Elaborado:	- Cueva Vazallo Alejandra Lucia	Ubicación: Rio Moche	
	- Gutierrez Zapata Gabriel Alessandro	PUENTE:	PUENTE MOCHE
CALCULO DE LA SOCAVACIÓN LOCAL EN ESTRIBOS MEDIANTE: Método de Liu, Chang y Skinner			
I. FORMULA GENERAL			
$\frac{y_s}{h} = K_f \left(\frac{L}{h} \right)^{0.4} F_r^{0.33}$			
Donde:			
y_s	=	Profundidad de socavación	
h	=	Profundidad de flujo en el cauce principal	
L	=	Longitud del estribo y accesos al puente que se opone al paso del agua	
Fr	=	Numero de Froude, aguas arriba	
K_f	=	Coeficiente de corrección por fomra de estribo	
II. SOLUCIÓN			
TABLA DE DATOS			
h	7.03 m	Profundidad de flujo en el cauce principal	
L	0.1 m	Longitud del estribo y accesos al puente	
1. Factor de correccion			
Descripcion		Kf	
Estribos con pared inclinada hacia el cauce		1.1	
Estribo con pared vertical		2.15	
K_f		1.1	

ANEXO 4.7: Calculo de socavación local en estribos del puente Moche mediante el método e Liu, Chang y Skinner.



Elaborado:	- Cueva Vazallo Alejandra Lucia	Ubicación: Rio Moche	
	- Gutierrez Zapata Gabriel Alessandro	PUENTE:	PUENTE MOCHE



2. Velocidad del flujo

$$V_e = \frac{Q_e}{A_e}$$

V_e	4.57 m/s
-------	----------

3. Número de Froude en la sección directamente aguas arriba de la pila

$$F_{re} = \frac{V_e}{\sqrt{gh_e}}$$

F_{re}	0.5503
----------	--------

Profundidad de socavación local en estribos

$$\frac{y_s}{h} = K_f \left(\frac{L}{h} \right)^{0.4} F_r^{0.33}$$

y_s	1.159 m
-------	---------

ANEXO 4.8: Calculo de socavación local en estribos del puente Moche mediante el método e Liu, Chang y Skinner.

ANEXO 5: Panel fotográfico



ANEXO 5.1: Fotografía tomada en el puente - Rio Moche



ANEXO 5.2: Fotografía tomada en el puente - Rio Moche



ANEXO 5.3: Fotografía tomada en el puente - Rio Moche



ANEXO 5.4: Fotografía tomada en el puente - Rio Moche



ANEXO 5.5: Fotografía tomada en el puente - Rio Moche



ANEXO 5.6: Fotografía tomada en el puente - Rio Moche



ANEXO 5.7: Fotografía tomada en el puente - Rio Santa Rosa



ANEXO 5.8: Fotografía tomada en el puente - Rio Santa Rosa



ANEXO 5.9: Fotografía tomada en el puente - Rio Santa Rosa



ANEXO 5.10: Fotografía tomada en el puente - Rio Santa Rosa



ANEXO 5.11: Fotografía tomada en el puente - Rio Santa Rosa



ANEXO 5.12: Fotografía tomada en el puente - Rio Santa Rosa



ANEXO 5.13: Fotografía tomada en el puente - Rio Cacique



ANEXO 5.14: Fotografía tomada en el puente - Rio Cacique



ANEXO 5.15: Fotografía tomada en el puente - Rio Cacique



ANEXO 5.16: Fotografía tomada en el puente - Rio Cacique



ANEXO 5.17: Fotografía tomada en el puente - Rio Cacique



ANEXO 5.18: Fotografía tomada en el puente - Rio Cacique



ANEXO 5.19: Fotografía tomada en el puente - Rio Conache

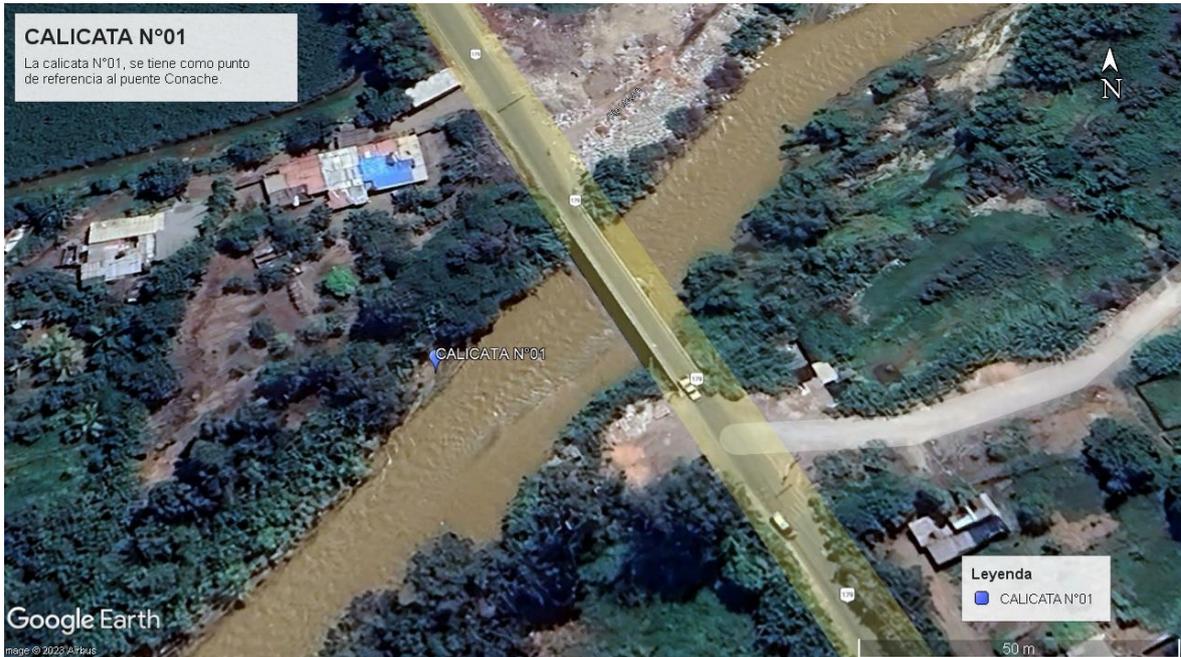


ANEXO 5.20: Fotografía tomada en el puente - Rio Conache

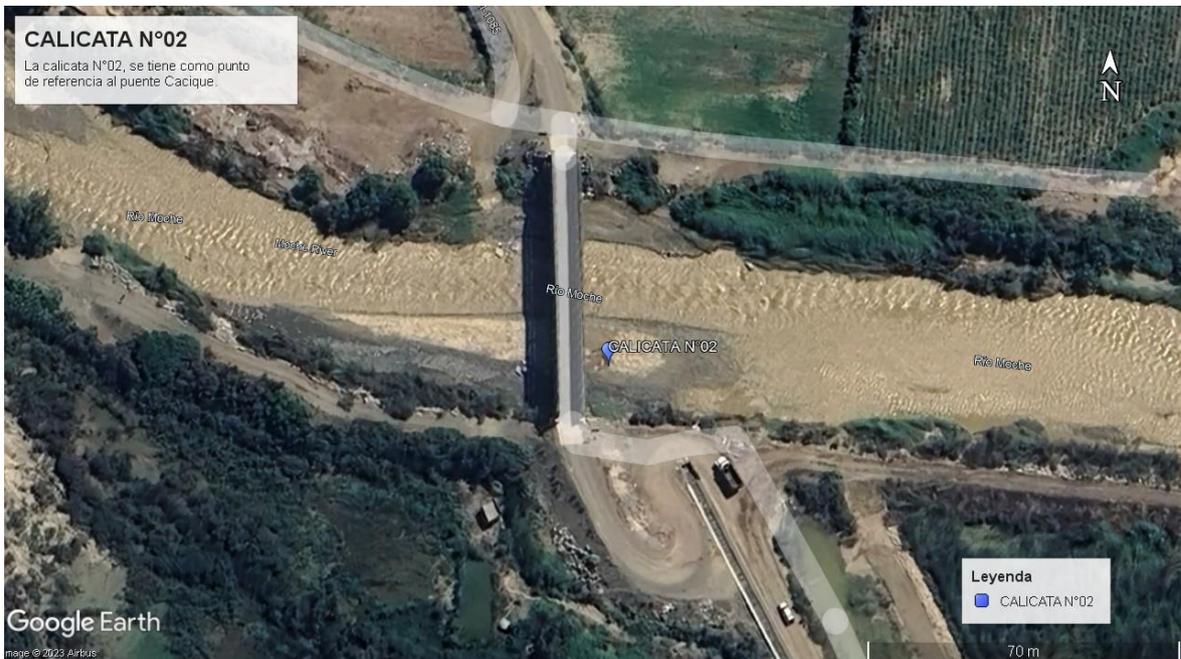


ANEXO 5.21: Fotografía tomada en el puente - Rio Conache

ANEXO 6: Otros



ANEXO 6.1: Ubicación de C-01



ANEXO 6.2: Ubicación de C-02



ANEXO 6.3: Ubicación de C-03



ANEXO 6.4: Ubicación de C-04

DESCARGAS MÁXIMAS MENSUALES DEL RIO MOCHE

(m3/s)

ESTACION: Quirihua (Código: 201401)

WGS 84 Geográficas: Latitud: -8.083333 / Longitud: -78.866667 / Altitud(msnm): 200

Altitud: 196 m.s.n.m.

Norte: 9,106,094 m / Este: 734,385 m

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom.
1950	3.35	17.02	15.40	21.45	4.38	1.04	0.51	0.22	0.13	2.07	2.85	56.00	10.37
1951	9.55	30.80	27.50	23.62	3.31	1.16	0.59	0.12	-	10.13	21.04	48.26	16.01
1952	37.93	90.67	170.17	116.87	20.53	3.51	1.20	0.62	-	1.08	0.56	8.15	41.03
1953	31.60	94.33	77.00	79.30	15.79	4.23	1.42	0.86	5.02	1.67	21.39	26.09	29.89
1954	35.37	16.00	93.26	17.93	9.56	2.42	1.02	0.43	1.38	28.85	15.79	8.32	19.19
1955	22.16	86.45	132.75	24.37	16.94	8.24	1.12	0.54	1.09	14.79	2.40	6.89	26.48
1956	86.49	102.33	212.88	87.43	29.23	3.76	1.01	0.49	1.00	9.40	1.06	0.57	44.64
1957	6.72	58.75	168.60	197.93	43.18	5.66	1.37	0.51	1.10	1.44	3.32	4.65	41.10
1958	32.24	22.62	88.33	34.26	12.41	2.91	0.63	0.45	0.35	2.72	0.37	1.28	16.55
1959	0.51	48.86	76.86	117.50	36.03	2.94	1.93	0.87	2.28	6.58	6.38	15.25	26.33
1960	30.87	66.21	198.63	33.07	6.27	1.64	0.53	1.45	0.85	4.08	2.47	7.85	29.49
1961	30.56	14.12	43.92	31.32	13.37	4.71	0.95	0.29	0.12	1.24	4.24	6.30	12.60
1962	67.42	78.51	180.31	117.73	20.98	4.62	1.40	0.65	0.67	0.52	3.55	1.27	39.80
1963	1.86	1.09	41.35	117.57	23.24	1.15	0.48	0.29	0.15	2.70	4.17	16.19	17.52
1964	17.49	51.08	85.27	119.19	34.44	3.64	1.85	2.31	2.32	8.48	18.63	2.31	28.92
1965	7.79	19.16	78.40	37.36	15.87	2.46	0.99	0.66	1.23	6.55	9.72	14.17	16.20
1966	58.45	22.01	22.67	20.33	10.29	2.38	0.51	0.26	0.59	14.09	15.20	1.86	14.05
1967	93.31	336.80	129.45	34.80	9.61	2.59	2.36	0.53	0.31	9.74	4.50	3.46	52.27
1968	1.43	5.31	23.42	13.92	1.25	0.45	0.20	0.43	1.14	12.70	8.49	2.92	5.97
1969	4.80	13.88	82.67	91.81	9.80	3.50	1.27	0.24	0.15	4.01	21.74	24.41	21.52
1970	96.10	13.68	31.62	38.45	31.28	5.30	1.94	1.72	4.47	21.34	18.83	25.54	24.19
1971	17.59	42.95	117.63	70.98	11.65	3.88	1.53	2.15	4.09	8.52	5.23	11.59	24.82
1972	20.86	34.59	138.25	58.07	13.52	5.28	1.85	0.88	0.82	6.16	3.86	14.03	24.85
1973	32.80	23.32	43.76	152.96	49.96	13.60	15.55	1.97	4.67	16.56	8.08	19.59	31.90
1974	28.61	47.90	50.29	31.28	7.89	4.32	1.92	0.53	1.12	12.38	2.08	2.08	15.87
1975	20.51	58.61	170.88	51.65	17.26	8.32	1.76	4.35	10.16	22.00	11.68	2.19	31.61
1976	19.84	23.20	112.85	26.05	12.37	7.92	1.79	0.69	0.51	0.27	0.29	1.38	17.26
1977	27.07	201.52	40.00	27.00	7.23	1.76	0.85	0.72	0.45	1.60	1.04	6.32	26.30
1978	1.52	4.00	11.20	11.68	24.00	1.04	0.29	0.13	1.28	0.40	8.00	4.00	5.63
1979	9.20	17.84	54.88	24.80	8.00	2.08	0.29	0.24	0.96	0.32	0.16	0.13	9.91
1980	0.59	0.96	16.00	14.93	1.12	0.16	0.08	0.06	0.05	13.60	25.60	56.00	10.76
1981	11.20	160.00	75.00	15.20	4.00	2.00	0.48	0.32	0.20	3.62	11.20	16.00	24.94
1982	15.16	25.60	15.20	28.00	8.48	1.79	0.66	0.37	0.88	14.48	16.00	90.00	18.05
1983	120.00	24.00	240.00	280.00	28.80	11.20	4.00	1.20	1.60	3.20	2.40	19.10	61.29
1984	8.32	97.60	152.00	12.24	21.12	12.56	3.02	2.37	1.25	3.20	14.40	15.92	28.67
1985	9.18	10.43	19.20	20.80	6.83	2.14	0.45	0.26	8.64	3.39	0.56	8.64	7.54
1986	72.00	16.75	29.70	38.94	19.62	2.08	0.64	0.37	0.77	1.44	6.78	23.23	17.69
1987	30.91	42.02	19.81	64.00	15.90	1.44	0.80	0.64	1.60	0.64	6.88	1.60	15.52
1988	27.84	32.29	16.32	98.53	39.52	8.90	1.18	0.48	0.22	6.40	14.48	6.08	21.02
1989	19.31	34.54	28.38	40.00	18.61	2.40	0.88	0.54	0.51	23.09	9.22	0.88	14.86
1990	1.60	9.28	21.38	5.20	2.40	1.41	0.48	0.20	0.26	6.88	22.64	21.38	7.76
1991	9.60	17.92	41.50	18.99	14.22	1.54	0.54	0.24	0.13	2.40	16.00	8.00	10.92
1992	6.48	1.66	18.46	26.06	11.84	2.02	0.32	0.13	0.06	0.54	0.64	0.05	5.69
1993	6.40	61.20	66.97	40.00	19.20	8.00	1.28	0.80	9.84	12.80	24.00	18.88	22.45
1994	24.80	204.80	44.80	42.40	28.00	9.60	4.32	1.84	5.12	0.80	6.00	15.20	32.31
1995	10.40	12.80	15.20	23.84	7.28	3.36	1.04	0.77	0.56	2.78	9.60	16.00	8.64
1996	21.60	64.00	56.00	28.80	14.40	4.80	2.88	0.72	0.27	4.80	6.08	0.48	17.07
1997	0.24	24.00	11.20	10.20	0.64	0.24	0.12	0.11	0.40	0.40	5.12	200.00	21.87
1998	220.00	750.00	1000.00	122.83	62.00	14.00	4.33	3.30	3.18	6.17	5.83	1.62	182.77
1999	41.88	240.36	28.58	38.00	54.00	10.47	5.83	2.56	9.74	12.58	6.02	14.60	38.72
2000	12.34	63.01	68.58	71.02	44.30	10.06	7.08	3.05	2.06	2.96	1.89	8.45	24.55
2001	51.07	56.06	150.00	126.82	19.73	14.28	3.55	2.42	9.73	15.97	24.07	18.58	41.02
2002	11.38	28.97	98.55	109.46	18.19	8.25	5.51	1.31	0.64	8.67	11.65	18.14	26.73
2003	17.47	42.51	25.30	28.68	18.19	4.60	1.07	0.51	0.40	0.17	0.16	13.98	12.75
2004	4.12	26.34	39.41	17.96	5.44	2.34	0.13	0.10	0.07	16.96	17.14	38.36	14.03
2005	15.15	26.68	38.96	38.03	6.46	0.44	0.10	0.08	0.08	0.07	0.06	5.60	10.98
2006	14.57	40.17	46.60	45.08	6.23	2.93	0.28	0.10	0.09	0.08	3.10	18.97	14.85
2007	29.59	39.65	32.08	46.68	36.74	2.12	0.23	0.12	0.08	1.55	6.33	7.45	16.89
2008	12.63	69.55	52.87	43.04	23.29	5.89	1.24	0.38	0.14	16.66	20.28	2.66	20.72
2009	43.16	40.95	55.03	61.01	18.61	5.39	1.83	0.35	0.15	13.78	27.54	25.83	24.47
2010	17.60	39.35	32.85	62.80	42.66	2.40	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.49
2011	25.32	17.94	29.07	61.28	23.44	0.35	0.08	0.06	0.06	0.06	0.06	18.41	14.68
2012	7.07	48.33	125.00	21.64	6.23	2.90	0.27	0.15	0.10	5.92	3.33	7.23	19.01
2013	7.07	48.33	125.00	21.64	6.23	2.90	0.27	0.15	0.10	1.54	3.33	7.23	18.65
2014	13.17	35.90	65.13	58.37	39.87	3.80	0.25	0.17	0.07	2.02	14.67	22.47	21.32
2015	76.67	77.93	203.33	52.00	17.37	5.07	0.33	0.05	0.05	0.64	16.00	32.20	40.14
2016	23.03	33.45	43.30	42.01	7.61	0.52	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	12.51
2017	16.00	22.37	187.13	95.27	24.87	6.50	1.00	0.60	0.80	1.50	1.00	6.13	30.26
2018	11.73	20.47	12.80	32.50	31.43	9.60	0.40	0.25	0.10	0.05	0.05	19.97	11.61
2019	4.17	36.10	51.27	46.17	19.43	2.77	0.20						22.87
2020	24.00	8.83	20.00	31.00	10.17	0.037						9.00	14.72
2021	23.00	15.00	32.83	35.00	6.67	1.50	0.40		0.10	40.00	18.33	17.33	17.29
2022	11.33	36.33	46.67	58.33	16.67	3.33	0.20						24.69

ANEXO 6.5: Descargas máximas anuales.

PRUEBA CHI-CUADRADO						
All data - T(Max)= 500.000 y	Value	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	Pearson Param.
Normal	479.382	REJECT	REJECT	REJECT	%	74.9014
Normal (L-Moments)	365.877	REJECT	REJECT	REJECT	0.00%	33.3239
LogNormal	1005.52	REJECT	REJECT	REJECT	0.73%	17.6056
Galton	1024.6	ACCEPT	REJECT	REJECT	1.12%	14.8169
Exponential	775.309	REJECT	REJECT	REJECT	0.00%	37.6338
Exponential (L-Moments)	628.051	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	13.57%	9.74648
Gamma	802.613	REJECT	REJECT	REJECT	0.00%	34.338
Pearson III	1107.24	REJECT	REJECT	REJECT	%	112.169
Log Pearson III	1010.02	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	1.38%	14.3099
EV1-Max (Gumbel)	671.677	REJECT	REJECT	REJECT	0.00%	42.9577
EV2-Max	963.519	REJECT	REJECT	REJECT	%	43.4648
EV1-Min (Gumbel)	352.35	REJECT	REJECT	REJECT	%	71.6056
EV3-Min (Weibull)	821.128	REJECT	REJECT	REJECT	0.01%	28
GEV-Max	958.554	REJECT	REJECT	REJECT	0.12%	20.1408
GEV-Min	1080.87	REJECT	REJECT	REJECT	0.00%	40.4225
Pareto	996.591	REJECT	REJECT	REJECT	0.16%	19.3803
GEV-Max (L-Moments)	1047.15	ACCEPT	ACCEPT	REJECT	8.27%	9.74648
GEV-Min (L-Moments)	727.631	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	13.17%	8.47887
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	514.989	REJECT	REJECT	REJECT	0.01%	28.7606
EV2-Max (L-Moments)	1539.24	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	17.44%	8.98592
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	285.518	REJECT	REJECT	REJECT	%	54.8732
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	537.624	REJECT	REJECT	REJECT	0.89%	17.0986
Pareto (L-Moments)	826.549	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	12.02%	8.73239
GEV-Max (kappa specified)	850.152	REJECT	REJECT	REJECT	0.13%	21.9155
GEV-Min (kappa specified)	409.98	REJECT	REJECT	REJECT	%	91.6338
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	691.005	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	24.02%	7.97183
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	318.979	REJECT	REJECT	REJECT	0.00%	37.8873

PRUEBA Kolmogorov-Smirnov						
All data - T(Max)= 500.000 y	Value	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	Dmax
Normal	479.382	REJECT	REJECT	REJECT	0.28%	0.215
Normal (L-Moments)	365.877	ACCEPT	ACCEPT	REJECT	5.14%	0.16058
LogNormal	1005.52	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	34.79%	0.11081
Galton	1024.6	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	59.64%	0.09118
Exponential	775.309	REJECT	REJECT	REJECT	0.22%	0.21915
Exponential (L-Moments)	628.051	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	56.36%	0.09353
Gamma	802.613	REJECT	REJECT	REJECT	0.22%	0.21923
Pearson III	1107.24	REJECT	REJECT	REJECT	0.41%	0.20882
Log Pearson III	1010.02	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	94.73%	0.06207
EV1-Max (Gumbel)	671.677	REJECT	REJECT	REJECT	0.21%	0.21961
EV2-Max	963.519	REJECT	REJECT	REJECT	0.13%	0.227
EV1-Min (Gumbel)	352.35	REJECT	REJECT	REJECT	0.17%	0.22281
EV3-Min (Weibull)	821.128	REJECT	REJECT	REJECT	0.33%	0.21263
GEV-Max	958.554	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	16.44%	0.13263
GEV-Min	1080.87	ACCEPT	REJECT	REJECT	2.39%	0.17655
Pareto	996.591	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	28.89%	0.11664
GEV-Max (L-Moments)	1047.15	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	93.66%	0.06355
GEV-Min (L-Moments)	727.631	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	87.34%	0.07037
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	514.989	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	31.45%	0.11401
EV2-Max (L-Moments)	1539.24	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	27.73%	0.11787
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	285.518	REJECT	REJECT	REJECT	0.17%	0.22339
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	537.624	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	44.25%	0.10269
Pareto (L-Moments)	826.549	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	87.34%	0.07037
GEV-Max (kappa specified)	850.152	ACCEPT	REJECT	REJECT	1.68%	0.18345
GEV-Min (kappa specified)	409.98	REJECT	REJECT	REJECT	0.49%	0.20571
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	691.005	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	59.09%	0.09157
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	318.979	ACCEPT	REJECT	REJECT	1.39%	0.18707

ANEXO 6.6: Resultados de la prueba de bondad.

ANEXO 7: Planos

