

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



“EFECTO DE LA DESCOLMATACIÓN DEL RÍO CHICAMA AGUAS ARRIBA DEL
PUENTE VICTORIA EN LA SOCAVACIÓN DE SUS PILARES”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: HIDRÁULICA

AUTOR: Br. ARAUJO VAZALLO ALEXANDRA PATRICIA
Br. PEREZ MARIN DURBYS GERALDINE

ASESOR: MS. RICARDO ANDRÉS NARVÁEZ ARANDA

TRUJILLO - PERÚ

2019

DEDICATORIA

Este proyecto es dedicado a mi familia, en especial a mis padres. A mi papá que está en el cielo siempre guiándome y a mamá por su apoyo incondicional, sin ella nada de esto sería posible.

Alexandra Patricia, Araujo Vazallo

DEDICATORIA

*Este proyecto es dedicado a mi Mami Santos y
mi Papi Wildor, por su apoyo incondicional y por
el gran amor que me dan día a día, cumplí lo prometido
para que se sientan orgullosos de mí. Sin ellos,
este logro no sería una realidad.*

Durbys Geraldine, Pérez Marín

AGRADECIMIENTO

Agradecer principalmente al Ing. Juan Pablo

García Rivera por el apoyo en todo el

Transcurso de la tesis, su buena voluntad y

Asesoría del inicio hasta el final.

*A mi alma mater y los docentes que la conforman,
por todas las enseñanzas en los cinco
años académicos*

Alexandra Patricia Araujo Vazallo

AGRADECIMIENTO

*En primer lugar, agradezco a Dios y a mi
Jesús Nazareno, por permitir cumplir
cada una de mis metas y por siempre
protegerme ante la adversidad.*

*A mis padres Celia y Gerardo por su apoyo
incondicional a lo largo de esta carrera y a
mi hermanita Thefi quien día a día me llena de
alegría.*

*A mi novio Jean Marco por su comprensión y apoyo
en estos cuatro años y que con su amor es una pieza
fundamental para no desfallecer.*

*A mi Asesor Ing. Juan Pablo por su continua
guía y por compartir con nosotras su
conocimiento para hacer realidad este
proyecto.*

*A mi querida Universidad por albergarme
durante cinco largos años, por brindarme
buenos docentes y grandes amigos.*

Durbys Geraldine, Pérez Marín

INDICE

DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE GRÁFICOS	12
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN	15
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	16
1.1.Descripción del Problema:	17
1.2.Formulación del Problema:	19
1.3.Objetivos General:	19
1.4.Objetivos Específicos:	19
1.5.Justificación de la investigación:	19
1.6.Viabilidad de la investigación:	20
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	21
2.1.Antecedentes de la investigación:	22
2.2.Bases teóricas:	23
2.2.1. Geometría de los pilares:.....	23
2.2.2. Cálculo de la profundidad de socavación:	25
2.2.3. Profundidad de socavación en pilares circulares:	26
2.2.4. Profundidad de socavación bajo diversas condiciones:	27
2.2.5. Sedimentación:	27
2.3.Definiciones conceptuales:	28
2.3.1. Socavación:	28
2.3.2. Socavación local (en un solo pilar):.....	29
2.3.3. Socavación local: CSU:	30
2.3.4. Socavación general: MÉTODO DE LISCHTVAN-LEVEDIEV:.....	35
2.3.5. Flujo uniforme:.....	38
2.3.6. Sedimentos:	38
2.3.7. Coeficiente de Manning:.....	39
2.3.8. Modelo Unidimensional HEC-RAS:	44
2.3.9. Modelo bidimensional IBER:.....	44
2.4.Hipótesis:	45
2.5.Variables:	45
2.6.Operacionalización de variables:	45
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	46
3.1.Unidad de análisis:	47
3.2.Técnicas e instrumentos de recolección de datos:	47
3.2.1. Topografía del río:	47
3.2.2. Estudio de mecánica de suelos:	49
3.3.Técnicas para el procesamiento y análisis de información:	53

CAPÍTULO IV: RESULTADOS	58
4.1.Resultados Granulometría:	59
4.2.Hidrología:	70
4.3.Topografía:	70
4.4.Modelamiento Unidimensional:	72
4.4.1. Modelamiento:	72
4.4.2. Socavación local (CSU):.....	73
4.4.3. Socavación general (Levediev):	74
4.4.4. Socavación total:	80
4.5.Modelamiento Bidimensional:	82
4.5.1. Modelamiento:	82
4.5.2. Socavación local (CSU):.....	87
4.5.3. Socavación general (Levediev)	89
4.5.4. Socavación total	93
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	95
5.1 Topografía.....	96
5.2 Mecánica de suelos	96
5.3 Hidrología	96
5.3 Modelamientos:.....	97
5.3.1 Modelamiento Unidimensional:	97
5.3.2 Modelamiento Bidimensional:	98
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	100
6.1 CONCLUSIONES:	101
6.2 RECOMENDACIONES:	103
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	104
ANEXOS:	105
a. ANEXO 1:	105
b. ANEXO 2:	107
c. ANEXO 3:	110
d. ANEXO 4:	115
e. ANEXO 5:	116
f. ANEXO 6:	118
g. ANEXO 7:	118
h. ANEXO 8:	119
i. ANEXO 9:	124
PLANOS:	129

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Factor de corrección por la form del pilar K_f	32
Tabla 2: Factor de corrección por el ángulo de ataque del flujo K_ϕ	32
Tabla 3: Factor de corrección por la forma del lecho K_c	32
Tabla 4: Criterios para adoptar K_a	33
Tabla 5: Factor por contracción del cauce μ	37
Tabla 6: Calicata N°1 (Agua arriba)	59
Tabla 7: Calicata N°1 (Cálculo del D50)	60
Tabla 8: Calicata N°2 (Agua arriba)	62
Tabla 9: Calicata N°2 (Cálculo del D50)	63
Tabla 10: Calicata N°3 (Aguas abajo)	64
Tabla 11: Calicata N°3 (Cálculo del D50)	65
Tabla 12: Calicata N°4 (Aguas abajo)	66
Tabla 13: Calicata N°4 (Cálculo del D50)	67
Tabla 14: Cuadro Resumen de Estudio de Suelos	68
Tabla 15: Resumen de Distribuciones	70
Tabla 16: Método CSU. Socavación local (Ds) – 50 años periodo de retorno	73
Tabla 17: Método CSU. Socavación local (Ds) – 100 años periodo de retorno	74
Tabla 18: Método CSU. Socavación local (Ds) – 500 años periodo de retorno	74
Tabla 19: Método Levediev. Socavación general (Hs) – 50 años periodo de retorno ..	75
Tabla 20: Método Levediev. Socavación general (Hs) – 100 años periodo de retorno	76
Tabla 21: Método Levediev. Socavación general (Hs) – 50 años periodo de retorno ..	77
Tabla 22: Progresiva del río Vs. Socavación	78
Tabla 23: Progresiva del río Vs. Socavación	79
Tabla 24: Progresiva del río Vs. Socavación	79
Tabla 25: Socavación total modelamiento unidimensional – 50 años periodo de retorno	80
Tabla 26: Socavación total modelamiento unidimensional – 100 años periodo de retorno	81
Tabla 27: Socavación total modelamiento unidimensional – 500 años periodo de retorno	81
Tabla 28: Tirante, Froude y velocidad para período de retorno 50 años	82
Tabla 29: Tirante, Froude y velocidad para período de retorno 100 años	83
Tabla 30: Tirante, Froude y velocidad para período de retorno 500 años	84

Tabla 31: Método CSU. Socavación local (Ds) – 50 años periodo de retorno	87
Tabla 32: Método CSU. Socavación local (Ds) – 100 años periodo de retorno	87
Tabla 33: Método CSU. Socavación local (Ds) – 500 años periodo de retorno	88
Tabla 34: Método Lischtván Levediev. Socavación general (Hs). T = 50 años	90
Tabla 35: Método Lischtván Levediev. Socavación general (Hs). T = 100 años	91
Tabla 36: Método Lischtván Levediev. Socavación general (Hs). T = 500 años	92
Tabla 37: Socavación total T = 50 años	93
Tabla 38: Socavación total T = 100 años	93
Tabla 39: Socavación total T = 500 años	94
Tabla 40: Socavación total para los diferentes periodos de retorno. Modelo unidimensional	97
Tabla 41: Socavación total para los diferentes periodos de retorno. Modelo bidimensional	98
Tabla 42: Tabla de promedios de la socavación total (general + local) tanto en el modelo unidimensional (HEC RAS) como en el bidimensional (IBER)	102
Tabla 43: Descarga promedio del río Chicama	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Puente Victoria en 2017, fenómeno del niño costero	17
Figura 2: Cauce del Río Chicama aguas arriba. Año 2014	18
Figura 3: Cauce del Río Chicama aguas arriba. Año 2018	18
Figura 4: Formas de secciones transversales de pilares-pared.	24
Figura 5: Algunos tipos de sección transversal de columnas en puentes	25
Figura 6: Procesos naturales	28
Figura 7: Formas típicas de pilares de puentes.	31
Figura 8: Coeficiente de Manning	41
Figura 9: Coeficiente de Manning	42
Figura 10: Fotografía de acuerdo al USGS que corresponde a nuestro canal	43
Figura 11: Fotografía en campo de nuestro canal.	43
Figura 12: Ubicación del BM	47
Figura 13: Lectura de cota aguas abajo del puente Victoria.	48
Figura 14: Lectura de cota aguas arriba del puente Victoria.	48
Figura 15: Dron se dispone a sobrevolar el río Chicama.	49
Figura 16: Ubicación de las muestras extraídas	50
Figura 17: Ilustración del cuarteo realizado a las muestras.	50
Figura 18: Muestras a punto de ser sacadas del horno.	51
Figura 19: Muestras puestas en el horno luego de ser lavadas.	51
Figura 20: Proceso de tamizado de muestras.	52
Figura 21: Muestra retenida en tamiz siendo pesada.	52
Figura 22: Datos importados a ArcGis	54
Figura 23: Superficie para IBER	55
Figura 24: Creación de superficies	55
Figura 25: Creación de superficies	56
Figura 26: Manning en el IBER	56
Figura 27: N° de malla en IBER	57
Figura 28: Curvas de nivel del río Chicama, tramo Puente Victoria, 2404 m.	71
Figura 29: Modelamiento del cauce y pilares en HEC RAS.	72
Figura 30: Modelamiento del cauce y pilares en HEC RAS.	73
Figura 31: Tirantes de agua en modelamiento bidimensional para período de retorno de 50 años.	85

Figura 32: Tirantes de agua en modelamiento bidimensional para período de retorno de 100 años.	85
Figura 33: Tirantes de agua en modelamiento bidimensional para período de retorno de 500 años.	86
Figura 34: Vista frontal del puente en el cual se muestran sus pilares.	105
Figura 35: Medición del pilar tipo pila punta agua del puente Victoria	105
Figura 36: Medición del pilar tipo cilindro del puente Victoria.	106
Figura 37: Medición de la distancia entre pilares del puente Victoria	107
Figura 38: Extracción de muestra de suelo de una de las calicatas.	107
Figura 39: Medición de altura de fondo de una de las calicatas	108
Figura 40: Muestra puesta en saco para ser llevada al laboratorio.	108
Figura 41: Medición de tamaño predominante de muestra de grava.	109
Figura 42: Muestra en saco lista para proceder a hacer el cuarteo y pesaje.	110
Figura 43: Muestra cuarteada para proceder al pesaje respectivo.	110
Figura 44: Muestra puesta en la balanza para su pesaje antes de ser puesta en el horno.	111
Figura 45: Muestras puestas en el horno, rotuladas y clasificadas de acuerdo al peso y ubicación de su extracción.	111
Figura 46: Muestras por ser extraídas del horno luego de 24 horas.	112
Figura 47: Muestras sin humedad luego de ser retiradas del horno	112
Figura 48: Muestra siendo pasada por los tamices para la selección de tamaño nominal.	113
Figura 49: Muestra siendo agitada para que pase por todos los tamices.	113
Figura 50: Muestra que fue retenida por un tamiz, la cual fue pesada y clasificada	114
Figura 51: Puente Victoria	118
Figura 52: Modelamiento ArcGIS	118
Figura 53: Calado en Q1: 1052.42 y con período de retorno de 50 años en uno de sus lados	119
Figura 54: Froude en Q1: 1052.42 y con período de retorno de 50 años en uno de sus lados	119
Figura 55: Velocidad en Q1: 1052.42 y con período de retorno de 50 años en uno de sus lados	120
Figura 56: Calado en Q2: 1359.06 y con período de retorno de 100 años en uno de sus lados	120

Figura 57: Froude en Q2: 1359.06 y con período de retorno de 100 años en uno de sus lados.....	121
Figura 58: Velocidad en Q2: 1359.06 y con período de retorno de 100 años en uno de sus lados.....	121
Figura 59: Calado en Q3: 2295 y con período de retorno de 500 años en uno de sus lados.....	122
Figura 60: Froude en Q3: 2295 y con período de retorno de 500 años en uno de sus lados.....	122
Figura 61: Velocidad en Q3: 2295 y con período de retorno de 500 años en uno de sus lados.....	123
Figura 62: Datos geométricos del río Chicama y el puente Victoria.....	124
Figura 63: Sección aguas arriba del Puente Victoria con caudal Q1	125
Figura 64: Sección aguas abajo del Puente Victoria con caudal Q1	125
Figura 65: Sección aguas arriba del Puente Victoria con caudal Q2.....	126
Figura 66: Sección aguas abajo del Puente Victoria con caudal Q2	126
Figura 67: Sección aguas arriba del Puente Victoria con caudal Q3	127
Figura 68: Sección aguas abajo del Puente Victoria con caudal Q3	127
Figura 69: Perfil Longitudinal en HecRAS.....	128
Figura 70: Vista de Rio Chicama y Puente Victoria en perspectiva en HecRAS	128

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Calicata N°1 (Curva Granulométrica)	61
Gráfico 2: Calicata N°2 (Curva Granulométrica)	63
Gráfico 3: Calicata N°3 (Curva Granulométrica)	65
Gráfico 4: Calicata N°4 (Curva Granulométrica)	67
Gráfico 5: Cuadro Resumen de Curvas Granulométricas	69
Gráfico 6: Comportamiento de la socavación 3 caudales arriba y 3 caudales abajo con periodo de retorno 50 años.	78
Gráfico 7: Comportamiento de la socavación 3 caudales arriba y 3 caudales abajo con periodo de retorno 100 años.	79
Gráfico 8: Comportamiento de la socavación 3 caudales arriba y 3 caudales abajo con periodo de retorno 500 años.	80
Gráfico 9: Descarga promedio del río Chicama (1971-2017)	117

RESUMEN

El presente trabajo de investigación presenta la obtención y comparación de la profundidad de socavación que se genera en los pilares del Puente Victoria según las siguientes variables: topografía, la granulometría y 03 tipos de caudal con diferentes períodos de retorno, 50, 100 y 500 años.

Con estos datos se realizaron los modelos: unidimensional en el software Hec Ras y bidimensional en el software IBER. Se obtuvo la profundidad de socavación local y socavación general para ser sumadas y obtener la socavación total.

La investigación demostró que la descolmatación aguas arriba del río, más la construcción de un dique provoca una nueva corriente de agua que va a afectar principalmente a los pilares del margen izquierdo. Teniendo 02 tipos de pilar, pila punta aguda y grupo de cilindros, los más afectados fueron los pilares circulares. Estos alcanzan una profundidad de socavación total en el modelo unidimensional de 3.79 m para un caudal de 1052.42 m³/s con período de retorno de 50 años; 4.07 m para un caudal de 1359.06 m³/s con período de retorno de 100 años; 5.48 m para un caudal de 2295 m³/s con período de retorno de 500 años. Mientras que, para el modelo bidimensional alcanzan una profundidad de socavación total de 5.62 m para un caudal de 1052.42 m³/s con período de retorno de 50 años; 6.40 m para un caudal de 1359.06 m³/s con período de retorno de 100 años; 6.72 m para un caudal de 2295 m³/s con período de retorno de 500 años.

Se observó que el modelo bidimensional arroja profundidades de socavación más elevadas con respecto al modelo unidimensional, esto se debe a que el software IBER analiza el comportamiento del agua en 2 direcciones, siendo así un análisis más óptimo.

ABSTRACT

This research work presents the obtaining and comparison of the depth of the society that is generated in the Victoria Bridge according to the following variables: topography, granulometry and 03 types of flows with different return periods, 50, 100 and 500 years.

With these data, the models were published: one-dimensional in the Hec Ras software and two-dimensional in the IBER software. The depth of the local scour and the general scour was obtained to be added up and obtain the total scour.

The investigation showed that the decolonization upstream of the river, plus the construction of a dike causes a new water current that will affect mainly the pillars of the left margin. Having 02 types of pillar, sharp tip pile and group of cylinders. These reach a depth of total scour in the one-dimensional model of 3.79 m for a flow of 1052.42 m³ / s with a return period of 50 years; 4.07 m for a flow of 1359.06 m³ / s with a return period of 100 years; 5.48 m for a flow of 2295 m³ / s with a return period of 500 years. Meanwhile, for the two-dimensional model it will reach a total depth of 5.62 m for a flow of 1052.42 m³ / s with a return period of 50 years; 6.40 m for a flow of 1359.06 m³ / s with a return period of 100 years; 6.72 m for a flow of 2295 m³ / s with a return period of 500 years.

It was observed that the two-dimensional model showed higher depths of scour with respect to the one-dimensional model, this is because of the IBER software analyzes the behavior of water in 2 directions, thus being a more optimal analysis.

INTRODUCCIÓN

Es difícil precisar el concepto de socavación, aun cuando puede decirse que es una forma especial de erosión, donde las partículas que se mueven constituyen la base o el apoyo sobre el que gravitan otros materiales, que pueden ser naturales o de la acción del hombre. En nuestro caso la socavación en los pilares del puente Victoria se dio por las grandes avenidas del río Chicama en épocas de lluvia. La construcción de un puente reduce el área hidráulica del cauce, lo que provoca aumento en la velocidad de la corriente y, en consecuencia, una mayor capacidad de arrastre de sólidos.

El cálculo de la profundidad de socavación en un puente ha inquietado a los diseñadores por mucho tiempo y ha atraído considerable interés por la investigación en este campo. El enfoque dado al cálculo de las máximas profundidades de socavación en la actualidad, parte de suponer que ésta depende de variables que caracterizan al flujo, al material del lecho en el cauce y a la geometría del puente, para terminar con una ecuación empírica de tipo determinístico.

El problema de determinar la socavación local en una pila está más o menos resuelto, pero, todavía no existe una solución confiable y concisa para el caso de los estribos. Los métodos para evaluarla, superponen los efectos de la socavación por contracción y la socavación local lo cual es otro factor que lleva a sobre-estimar las profundidades de socavación puesto que, en la realidad, son acciones simultáneas. Las ecuaciones disponibles hasta la fecha para calcular socavaciones en las diferentes estructuras de un puente, tanto construido como por construir, dan solo un orden de magnitud para saber alrededor de qué valor va a estar la profundidad máxima de socavación real.

Esta investigación busca determinar la socavación local, socavación general y la socavación total en los pilares del puente Victoria ubicado en el río Chicama mediante dos modelos, uno bidimensional y el otro unidimensional, para lo cual no asociaremos de dos programas que son Iber y HecRAS los cuales trabajan correspondientemente, una vez teniendo resultados se analiza y procesa para luego dar una propuesta de solución, la cual permitirá que futuras investigaciones tengan una visión más clara de cómo se podría mejorar la situación actual del puente o evitar un posible colapso.

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del Problema:

Sin lugar a duda la primera mitad del año 2017, Perú sufrió uno de los peores impactos en lo que se refiere a fenómenos naturales. Según El Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (2017) en su revista menciona que: más de 1,900 kilómetros de carreteras están destruidos por las lluvias, huaicos e inundaciones producto del Fenómeno El Niño Costero. Además, más de 160 puentes están dañados o se han desplomado.

A nivel de la Libertad, la peor parte se la llevó la provincia de Trujillo, con carreteras destruidas y colapso de puentes debido al incremento de sus ríos. Un claro ejemplo de la problemática que se vivió en Trujillo, fue el colapso del puente Virú, que dejó a todo el norte incomunicado con el centro del país. El aumento del caudal ocasionó que la socavación en sus pilares aumentara provocando el colapso de estos.

Otro de los ríos que aumentaron su caudal y causaron daños en las vías de transporte principales, se encuentra el río Chicama, el cual ocasionó daños en el Puente Victoria y, además, arrastró sedimentos los cuales se acumularon en todo el cauce perjudicando la agricultura de la zona. *Ver Figura N°01.*



Figura 1: Puente Victoria en 2017, fenómeno del niño costero

Fuente: Diario La Industria

El puente Victoria cumple una función importante, ya que conecta a ciudades de la provincia de Gran Chimú y en sus alrededores existen campos agrícolas, las cuales son de gran aporte a la economía a nivel regional. En el año 2014 el cauce del río Chicama se encontraba con vegetación e incluso existían pobladores que hacían que sus ganados se alimenten de esta. *Ver Figura N°02.* Actualmente se han llevado a cabo trabajos de descolmatación, de los cuales aún no se sabe el efecto que causará,

así mismo se construyó un dique el cual se piensa ayudará a encauzar el río, pero del cual aún no se han hecho estudios. *Ver Figura N°03.*



Figura 2: Cauce del Río Chicama aguas arriba. Año 2014

Fuente: Google Maps



Figura 3: Cauce del Río Chicama aguas arriba. Año 2018

Fuente: Propia

Si el puente Victoria llegara a colapsar, agricultores de la zona se verían perjudicados afectando a la economía regional y nacional. También la salud de los pobladores quienes no podrían recibir atención especializada, a causa de la contaminación a la que estarían expuestos por el desborde del río y los residuos que este arrastra.

Para prever desastres futuros, se realizará un estudio al cauce descolmatado del río Chicama aguas arriba del puente Victoria para determinar la profundidad de socavación en sus pilares ante una nueva máxima avenida como la mencionada del Fenómeno del Niño Costero.

1.2. Formulación del Problema:

“¿Qué efecto causará la descolmatación del río Chicama aguas arriba del puente Victoria en la socavación de sus pilares?”

1.3. Objetivos General:

Determinar el efecto que causa la descolmatación del río Chicama aguas arriba del puente Victoria en la socavación de sus pilares.

1.4. Objetivos Específicos:

- Realizar el modelo digital de elevación.
- Realizar el estudio de mecánica de suelos (granulometría) del río Chicama a la altura del puente Victoria para determinar los parámetros que van a influir en la socavación de sus pilares.
- Realizar el análisis de máximas avenidas del río Chicama
- Realizar el modelamiento numérico unidimensional del tramo del río puente Victoria.
- Realizar el modelamiento numérico bidimensional del tramo del río puente Victoria.
- Comparar los resultados de los modelos.
- Calcular la profundidad de socavación general del río y local de los pilares.
- Proponer una solución ante la socavación producida en los pilares.

1.5. Justificación de la investigación:

- Por el beneficio: Beneficiará a los pobladores y a los transportistas, ya que brindará seguridad, puesto que al realizar un análisis previo al problema disminuye el riesgo de pérdidas humanas y materiales.
- Por la fuente de datos: Puesto que haremos un análisis de campo beneficiará con documentos teóricos que sustentarán el efecto que tendrán la descolmatación y el dique.
- Por la utilidad metodológica: Esta investigación servirá para obtener datos reales y verificables que me ayudarán como futuro ingeniero civil a diseñar puentes y pilares más estables y duraderos para el beneficio de la población del distrito de Trujillo.

- Por el resultado: Con el resultado de esta investigación se logrará prevenir problemas futuros esto dará como resultado un puente más estable y evitaría tragedias mayores al aumento del caudal del río Victoria.

1.6. Viabilidad de la investigación:

Este proyecto de investigación es viable puesto que se cuenta con los recursos humanos suficientes para participar en el estudio del caudal del río Chicama, así mismo se tienen los recursos financieros y materiales a disposición para aportar al trabajo, existe información y conocimientos previos que nos ayudarán a desarrollar con eficiencia la investigación necesaria para realizar la tesis.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación:

A) Jean Hilmer Vigil Cárdenas, Alonso Herbht Campos Chávez. (2014), realizaron el estudio titulado “Propuesta de un modelo hidráulico para los pilares del puente Reque empleando la superposición de los componentes de socavación”, En los laboratorios de la Universidad Señor De Sipan- Lambayeque. Con los resultados obtenidos concluyeron:

“Que en base a la formulación expuesta se desarrolló un modelo hidráulico para los pilares del puente Reque empleando la superposición de los compontes de socavación, que cumple con la metodología planteada por la HEC (Hidrologyc Engineering Center) de los Estados Unidos.”

B) Guy Grattesat (2010), este autor francés nos habla sobre la vida útil de un puente en Europa (100 años) con su investigación que lleva el título “Vida útil de puentes”. Con los resultados obtenidos concluyó:

“Que la vida útil de un puente depende de la calidad de inspección, conservación y reparaciones y de los futuros cambios de tráfico y medio ambiente del puente.”

C) Edgar E. Muñoz Diaz (2003), este autor evalúa las causas del colapso de los puentes en Colombia basado en 63 casos reales registrados en el año 1986 con el artículo titulado “Estudio de las causas del colapso de algunos puentes en Colombia” Con los resultados obtenidos concluyó:

“Que el 35% de las causas son de socavación, finalmente da algunas recomendaciones.”

D) Moncada, Alix; Aguirre-Pe, Julián; Bolívar, Juan y Flores, Edgar (2007), realizaron el estudio titulado “Efecto de un aro sobre la socavación en pilas circulares” realizada en la Universidad de los Andes, Merida, Venezuela, con los resultados obtenidos concluyeron que: la colocación de un aro alrededor de un pilar circular como dispositivo para controlar la profundidad de socavación la pila tenía un diámetro de 7.3 cm y el diámetro de los 2 aros que usaron fueron 14.6 y 21.9 de diámetro. Concluyeron que:

“Cuando el aro se coloca a nivel de fondo se produce menor profundidad de socavación, también se produce menos altura de socavación cuando el diámetro del aro aumenta.”

E) Ana Paola Coloma Iaimito; Lia Ramos Fernández (2016), realizaron el estudio titulado “Simulación hidrológica e hidráulica del río Tambo, sector Santa Rosa, Departamento De Arequipa, Perú” En la Universidad Nacional Agraria La Molina, con los resultados obtenidos concluyeron que:

“Mediante el modelo HEC – HMS, para periodos de retorno de 100, 500, 1000 y 1500 años, obteniéndose que los caudales máximos estimados fueron 754, 995, 1110 y 1171 m³/s respectivamente y que respecto al modelo hidráulico el tramo 600 m de longitud del río Tambo simulado, colindante al sector de riego Santa Rosa en el valle del Tambo, se tiene que los valores de los niveles de inundación resultantes varían en un rango promedio de 122.5 msnm (aguas arriba) a 118.6 msnm (aguas abajo), para los diferentes periodos de retorno, los cuales no presentan una variación significativa entre los niveles alcanzados para las distintas condiciones, y esto debido a que en el tramo se observan bancos de arena (llanuras de inundación), que conforman el cauce del río, los cuales ante un evento de máximas avenidas, el nivel de agua supera todo el ancho del río.”

2.2. Bases teóricas:

2.2.1. Geometría de los pilares:

La estructura de un puente de fábrica consta de cimentación, pilas, bóvedas y cepas o estribos (en los extremos del puente). Hay otros elementos secundarios: los tímpanos, el relleno y la calzada. El puente debe disponer, además, de pretilos y sistemas de desagüe. Finalmente, puede ir adornado con distintos motivos compositivos (impostas, columnas) o escultóricos. (Santiago Huerta Fernández, 2000).

Los pilares son elementos de apoyo intermedios los cuales conducen los esfuerzos de la superestructura hacia las fundaciones están diseñados para resistir presiones hidráulicas, cargas de viento, cargas de impacto, etc., son más susceptibles a los de la socavación por lo que las fundaciones deberán estar por debajo de la altura máxima de socavación.

Pueden ser de concreto o acero, aun en puentes de acero los pilares de concreto son a menudo adoptados, en algunos casos los pilares muy altos son elaborados en segmentos de concreto prefabricado.

Los pilares pueden ser de una sección transversal constante o variable eso dependerá de la altura del pilar, también pueden tener una sección llena o una sección hueca la elección de los pilares depende de la constructibilidad y la estética. Podemos clasificar a los pilares en dos tipos:

Los Pilares-pared: son muy aconsejables por razones hidráulicas. Para ríos navegables, en general llegan a ser muy gruesos para su seguridad en casos de colisión de barcos. En cuanto a su configuración, se debe prevenir contra la adopción de pilares-pared demasiado delgados. En la Figura N°04 se presenta diferentes posibilidades de forma para la sección transversal. (Tesis: Br. César Laurente Jimenez; Br. Steven Salvador Murga)

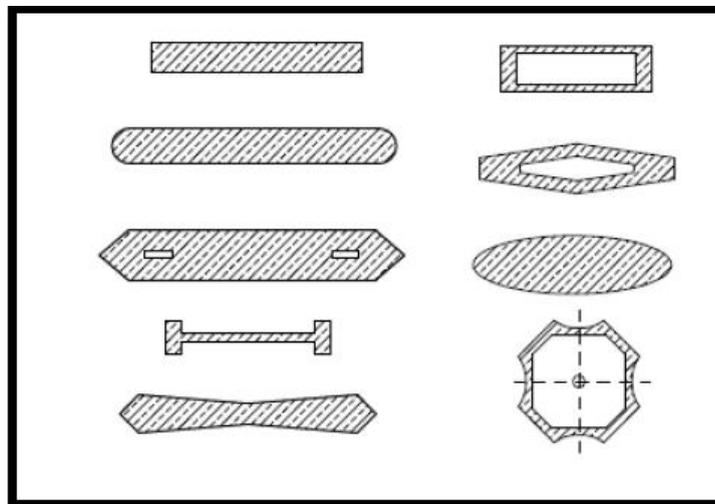


Figura 4: Formas de secciones transversales de pilares-pared.

Fuente: Tesis: Br. César Laurente Jimenez; Br. Steven Salvador Murga

Pilares-columna: las columnas ofrecen muchas ventajas frente a los pilares-pared debido a su módica necesidad de materiales, visión casi libre debajo del puente, mejor posibilidad de cruces oblicuos, aspecto más liviano. Se utiliza generalmente para carreteras elevadas y puentes en rampa. Las posibilidades de sustentación y forma son numerosas, ver Figura N°05 (Tesis Br. César Laurente Jimenez Br. Steven Salvador Murga)

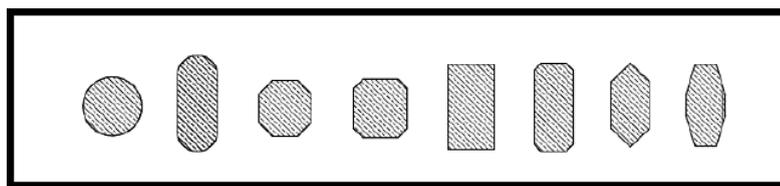


Figura 5: Algunos tipos de sección transversal de columnas en puentes

Fuente: Tesis: Br. César Laurente Jimenez; Br. Steven Salvador Murga

2.2.2. Cálculo de la profundidad de socavación:

Una vez calculada la socavación general y, si fuese el caso, la producida por un eventual estrechamiento del cauce, se procede a determinar la erosión local originada por pilares y estribos. La erosión local, o socavación, es la remoción que realiza el agua del material sólido constituyente del lecho fluvial en los alrededores de ciertas estructuras como los pilares y estribos. En los estudios de un puente es importante efectuar un cálculo, lo más preciso posible, acerca de la profundidad de la erosión local producida por pilares y estribos, pues ella determinará la de la cimentación, la que debe estar debajo de la máxima profundidad de socavación. En algunas publicaciones, como las mexicanas, a la profundidad de socavación se le llama “profundidad de desplante”. Desplantar significa arrancar de raíz. Una subestimación de la máxima profundidad de socavación podría conducir a la falla de la estructura y, en cambio, una sobrestimación llevaría a costos innecesariamente altos. En los ríos que tienen áreas de inundación no se debe descartar la posibilidad de que el río, mediante un desplazamiento lateral, altere su curso y ataque los pilares ubicados en ellas por lo que su profundidad de cimentación debe prever este caso. (ARTURO ROCHA 2014).

La socavación, o erosión local que se produce en el lecho fluvial como consecuencia de los pilares y estribos se debe a que aparecen velocidades locales mucho mayores que la velocidad media de la corriente y a generación de vórtices en diferentes direcciones del escurrimiento. Los vórtices desplazan el material constituyente del lecho, aun cuando la velocidad media de la corriente, o la fuerza tractiva, no fuesen suficientemente grandes para hacerlo.

Naturalmente que la socavación tiene características particulares según se trate de lechos cohesivos o no cohesivos. En los lechos de arena o grava la socavación puede producirse muy rápidamente, a veces en sólo unas horas. En cambio, en los lechos cohesivos la erosión es más lenta, pero puede alcanzar finalmente valores tan altos como aquellos de

los lechos no cohesivos. A continuación, se examina el desarrollo de la erosión local en los lechos no cohesivos (granulares).

Puede ser que para un caudal determinado no se produzca desplazamiento de las partículas del fondo, pero al colocar un pilar (es decir, un obstáculo) aparezcan corrientes vorticosas que muevan las partículas del lecho y se presente la socavación. La erosión local se desarrolla en el tiempo, muy rápidamente, y avanza hasta llegar a una situación de equilibrio sedimentológico. Como se dijo antes, la socavación no es indefinida. (ARTURO ROCHA 2014)

2.2.3. Profundidad de socavación en pilares circulares:

En el apartado anterior se ha mencionado que existen numerosas fórmulas para el cálculo de la socavación en pilares y estribos. A continuación, se examina las de Shen y Laursen obtenidas para pilares circulares. Los pilares circulares tienen la ventaja de que la socavación es independiente del ángulo de ataque de la corriente, pues la sección transversal del pilar es simétrica en todas direcciones. Para pilares no circulares y condiciones más complejas se recomienda la fórmula de Colorado State University (CSU), que se presenta más adelante.

- Fórmulas de Shen

Las fórmulas de Shen se refieren al cálculo de la profundidad de socavación producida por pilares circulares de puentes en lechos arenosos, con flujos subcríticos, cuyos Números de Froude estén comprendidos entre 0,5 y 0,8. Para flujos sin transporte de sedimentos la fórmula de Shen es:

$$y_s = 1.17 V^{0.62} D^{0.62}$$

Para flujos con transporte de sedimentos será:

$$y_s = 1.59 V^{0.67} D^{0.67}$$

Expresiones en las que Y_s es la socavación debida (exclusivamente) al pilar, V es la velocidad media del escurrimiento correspondiente a la Avenida de Diseño y D es el diámetro del pilar. Todas las dimensiones están en metros.

- Fórmula de Laursen

Esta fórmula se originó en las investigaciones realizadas en Iowa por E. M. Laursen y A. Tosch. En una de sus versiones para pilares circulares la fórmula tiene la forma siguiente:

$$y_s = 1.11 (y)^{0.5} (D)^{0.5}$$

Expresión en la que y_s es la socavación debida (exclusivamente) al pilar, y es el tirante del escurrimiento y D es el diámetro del pilar. Todas las dimensiones están en metros. La fórmula de Laursen fue establecida para:

$$\frac{y_s}{D} = 1.15 \left(\frac{y}{D} \right)^{0.45}$$

2.2.4. Profundidad de socavación bajo diversas condiciones:

En el apartado anterior se ha presentado algunas fórmulas que bajo determinadas condiciones podrían utilizarse para el cálculo de la socavación en pilares circulares. Sin embargo, muchas veces los pilares no son circulares, la corriente presenta un ángulo con respecto al pilar, el transporte sólido tiene ciertas características que deben tomarse en cuenta y, eventualmente, puede producirse el acorazamiento del lecho. A partir de los trabajos de un grupo de investigadores de Colorado State University (CSU) se estableció una importante fórmula, de carácter bastante general, que tiene una sólida base teórica y que está sustentada en investigaciones de laboratorio, la que puede aplicarse en lechos no cohesivos (arenosos), con Números de Froude menores que 0,8. Esta fórmula de CSU es la que se usa en el HEC-18. La fórmula de CSU cubre la posibilidad de diversas secciones transversales del pilar y otras condiciones particulares (ARTURO ROCHA 2014)

2.2.5. Sedimentación:

Los granos de sedimentos que se encuentran en el suelo se ponen en movimiento cuando se excede la tensión de corte crítica del fondo. Se diferencia entre tres posibilidades:

- Exceso frecuente o permanente: formación de ripples o dunas en el fondo
- Exceso solo en casos extremos como marejadas o inundaciones: cambio repentino del fondo

- Ningún exceso: depósito del material en suspensión, el fondo puede enlodarse a medio plazo.

Normalmente, los sedimentos constan de granos de distinto tamaño. Los granos grandes están más expuestos al flujo y resisten mayores fuerzas de flujo que los granos pequeños. Los granos pequeños pueden ser protegidos por los granos grandes (efecto de escondido) y empiezan a moverse con fuerzas de flujo mayores como granos no protegidos. (Gunt Hamburg, pag. 153)

2.3. Definiciones conceptuales:

2.3.1. Socavación:

Pierre And Julien mencionan en la primera página de su libro “Erosión and sedimentación” que la socavación se refiere al movimiento de partículas sólidas, llamadas sedimentos. Los procesos naturales de erosión, transporte y sedimentación, dibujados en la figura N°06, han sido activos a lo largo del tiempo geológico y han modelado el paisaje actual de nuestro planeta. (Pierre And Julien, 2010, 2da Edición).

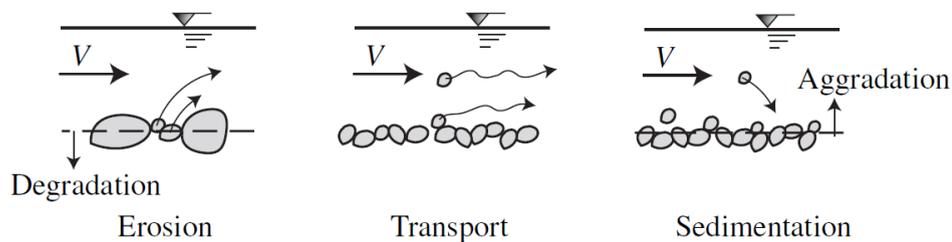


Figura 6: Procesos naturales

Fuente: Pier and Julien (“Erosión and sedimentación”)

Hoy en día pueden causar graves problemas de ingeniería y medio ambiente. Las actividades humanas suelen acelerar los procesos de erosión, transporte y sedimentación. Por ejemplo, la erosión del suelo se ve reforzada por el arado y la labranza. La cubierta protectora se debilita al arrancar, cortar o quemar la vegetación existente. Además de producir sedimentos nocivos, la erosión puede causar serios daños a las tierras agrícolas al reducir la productividad de los suelos fértiles.

Por otro lado, el Departamento de Transportes de Florida (EEUU), menciona en la página 2-1 de su manual publicado en 2005, “Bridge Scour Manual” que la socavación general se refiere a los cambios en la elevación del fondo del río como producto de la inestabilidad lateral de la vía acuática. Los lugares del puente son clasificados de acuerdo

a la naturaleza de los flujos encontrados. Los meandros en los ríos resultan de la oscilación transversal de “thalweg” la parte más profunda del canal, dentro de uno recto. Esta oscilación inicia la formación de curvas con auto perpetuación. Aunque la literatura contiene relativamente poca investigación con respecto a los meandros de los ríos, las observaciones indican características asociadas con el flujo en curvas. (Pierre And Julien, 2010, 2da Edición).

Desde el punto de vista de esta autora, para fines del análisis, es conveniente dividir la socavación del puente en las siguientes categorías: 1) inundación general, 2) gradación/degradación a largo plazo, 3) escurrimiento, 4) rotura de pilares y pilotes inducidos por la estructura. Un mecanismo adicional sería la propagación de la forma del fondo a través del lugar donde está ubicado el puente, el cual también juega un papel importante. La suma total de los cinco componentes determina el desgaste total en un muelle o el pilar de un puente. Aunque la mayoría de estos procesos tienen lugar simultáneamente, para los propósitos del cálculo de la socavación local, las ecuaciones se desarrollan bajo la suposición de que las tres primeras categorías más las amplitudes de la forma del fondo del río se han producido antes del inicio de la socavación local y en el pilar. (Pierre And Julien, 2010, 2da Edición).

2.3.2. Socavación local (en un solo pilar):

En la literatura hay muchas ecuaciones de predicción de la profundidad de socavación local, así como una serie de artículos de revisión que comparan las diversas ecuaciones y metodologías [ej. Breusers (1977), Jones (1983), Lander and Mueller (1996)]. La mayoría de estas ecuaciones son empíricas y se basan principalmente en datos de laboratorio a pequeña escala. Mientras que muchas de estas ecuaciones producen resultados razonables para estructuras y sedimentos a escala de laboratorio, pueden diferir significativamente en su predicción de las profundidades de socavación a gran escala, es decir, un prototipo de estructura. (Breusers and Jones, 1997-1983).

- Descripción del campo de flujo alrededor de un solo pilar:

El campo de flujo en los alrededores de una estructura es bastante complejo, incluso para estructuras simples como sería un pilar circular. Una de las características dominantes del campo del flujo local es la información de flujos secundarios en forma de vórtices. Muchos investigadores (por ejemplo, Shen et al., 1966, Melville, 1975) creen que estos vórtices son los mecanismos más importantes de escurrimiento local (al menos durante

ciertas fases de la evolución de la socavación). Los vórtices, con ejes casi horizontales, se forman en el fondo y cerca de la superficie del agua, aguas arriba de la estructura. A estos se les conoce como "herradura" y "superficiales" respectivamente. El término "herradura" se deriva de la forma que toma el vórtice cuando se enrolla alrededor de la pila y los caminos río abajo. Shen et al. (1966) describió el sistema de vórtice en herradura con detalle. El vórtice de herradura se inicia por el gradiente de presión de estancamiento, en el borde delantero de la estructura, que es resultante de la capa límite inferior del flujo de aproximación. Es decir, la variación en la velocidad de flujo en el fondo (desde cero), hasta el valor en la superficie, provoca una variación en la presión de estancamiento en el borde delantero de la estructura. La mayor presión de estancamiento se produce a la elevación de la velocidad más alta. En su forma más simple, el sistema de vórtice de herradura se compone de dos vórtices, uno grande junto a la estructura y un vórtice de contra-rotación adyacente al pequeño. Para flujos y formas de estructura más complejos, se forman múltiples vórtices inestables que periódicamente se desprenden y se barren aguas abajo. Evidentemente, la geometría de la estructura es importante para determinar la resistencia del sistema de vórtice. Las estructuras con punta redonda crean los sistemas de vórtice más enérgicos. Aunque el vórtice de herradura se considera el mecanismo de socavación más importante para flujos estacionarios, el sistema de vórtice de estela también es importante. Los vórtices de la estela se crean por separación del flujo en la estructura. Con su componente vertical del flujo, los vórtices de la estela actúan como un tornado. Ponen el material del fondo en suspensión, donde es transportado aguas abajo por el flujo medio. (Breusers and Jones, 1997-1983).

2.3.3. Socavación local: CSU:

La Universidad Estatal de Colorado (CSU) desarrolló una ecuación que sirve para calcular socavación local en pilares, ya sea en agua clara o en el llamado lecho móvil. Es el método más usado en los Estados Unidos de América (HEC-18, 1993, 1995) y es una de las dos que usa el programa HEC-RAS (1998). (Tomás Ochoa 1999)

El Desarrollo de la ecuación del método CSU se realiza de la siguiente manera:

➤ ECUACIÓN PRINCIPAL:

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

Donde:

$Y_s = D_s$: Profundidad de socavación local (m).

h : Profundidad de flujo aguas arriba del pilar (m).

K_f : También denominado K_1 es el factor que toma en cuenta la forma del pilar.

K_ϕ : También denominado K_2 es el factor que toma en cuenta el ángulo de ataque del flujo.

K_c : También denominado K_3 es el factor que toma en cuenta la forma del lecho.

K_a : También denominado K_4 es el factor que toma el acorazamiento del sedimento del lecho.

a : Ancho del pilar (m)

l : Longitud del pilar (m)

F_r : Número de Froude en la sección aguas arriba del pilar igual

$$a \frac{V}{\sqrt{gh}}$$

V: Velocidad media del flujo directamente aguas arriba del pilar

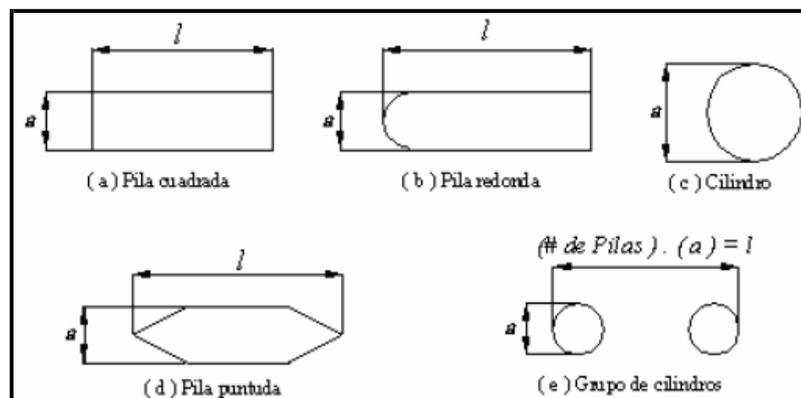


Figura 7: Formas típicas de pilares de puentes.

Fuente: (Tomás Ochoa 1999)

Tabla 1: Factor de corrección por la form del pilar K_f

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: Hidráulica, hidrología y Socavación, Tomás Ochoa 1999.

Tabla 2: Factor de corrección por el ángulo de ataque del flujo K_ϕ

Ángulo de ataque	$l/a = 4$	$l/a = 8$	$l/a = 12$
0°	1.0	1.00	1.0
15°	1.5	2.00	2.5
30°	2.0	2.75	3.5
45°	2.3	3.30	4.3
90°	2.5	3.90	5.0

Fuente: Hidráulica, hidrología y Socavación, Tomás Ochoa 1999.

Tabla 3: Factor de corrección por la forma del lecho K_c .

Condición del lecho	Altura de la duna H (pies)	K_c
Socavación en agua clara	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

Fuente: Hidráulica, hidrología y Socavación, Tomás Ochoa 1999.

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

El factor de corrección K_a disminuye la profundidad de socavación por acorazamiento del hoyo de socavación para materiales del lecho con D_{50} mayor o igual a 2 mm o D_{95} mayor o igual a 20 mm ($D_{50} \geq 0.002$ m o $D_{95} \geq 0.02$ m).

Tabla 4: Criterios para adoptar K_a .

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

Fuente: Hidráulica, hidrología y Socavación, Tomás Ochoa 1999.

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

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

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

$$V_{cDx} = 0.19 h^{1/6} \cdot D_x^{1/3}$$

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_{icDx} : Velocidad crítica para iniciar movimiento de partículas de tamaño D_x del material del lecho (m/s).
- V_{icD50} : 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)

2.3.4. Socavación general: MÉTODO DE LISCHTVAN-LEVEDIEV:

El método propuesto por Lischtván-Levediev es el más usado en Colombia para el cálculo de la socavación general incluyendo el efecto de la contracción de un puente. Se fundamenta en el equilibrio que debe existir entre la velocidad media real de la corriente (V_r) y la velocidad media erosiva (V_e). La velocidad erosiva no es la que da inicio al movimiento de las partículas en suelos sueltos, sino la velocidad mínima que mantiene un movimiento generalizado del material del fondo. Si el suelo es cohesivo, es la velocidad que es capaz de levantar y poner el sedimento en suspensión.

La velocidad erosiva es función de las características del sedimento de fondo y de la profundidad del agua. La velocidad real está dada principalmente en función de las características del río: pendiente, rugosidad y tirante o profundidad del agua.

El método se basa en suponer que el caudal unitario correspondiente a cada franja elemental en que se divide el cauce natural permanece constante durante el proceso erosivo y puede aplicarse, con los debidos ajustes, para casos de cauces definidos o no, materiales de fondo cohesivos o friccionantes y para condiciones de distribución de los materiales del fondo del cauce homogénea o heterogénea. (Mario Schreider, 2001)

El Desarrollo de la ecuación del método de LISCHTVAN-LEVEDIEV se realiza de la siguiente manera:

➤ **Velocidad media real:**

$$Q_d = \frac{A}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Q_d : Caudal de Diseño

A : Área hidráulica

R : Radio Hidráulico

S : Pendiente hidráulica

n : Coeficiente de rugosidad de Manning

$$\alpha = \frac{Q_d}{AR^{2/3}} = \frac{S^{1/2}}{n}$$

α : Coeficiente de sección dependiente de las características hidráulicas.

➤ **Cálculo de la socavación:**

$$R = \frac{A}{P}$$

$$A = B_e h$$

$$P = B_e + 2h$$

$R = h$, asumiendo que el perímetro mojado es igual al ancho libre de la superficie del agua, lo cual es válido para cauces muy anchos.

$$\alpha = \frac{S^{1/2}}{n} \cong \frac{Q_d}{B_e h^{5/3}} \cong \frac{Q_d}{B_e h_m^{5/3}}$$

$$h = h_m = (A|B_e)$$

$$Q_d = \alpha B_e h_m^{5/3}$$

Ahora:

$$Q_d = \alpha h^{5/3} B_e = V_r H_s B_e$$

$$V_r = \frac{\alpha h^{5/3}}{H_s}$$

V_r = Velocidad real del flujo

Existe una condición de equilibrio, la cual se obtiene cuando la velocidad erosiva y la velocidad real son iguales.

Hallaremos la velocidad erosiva para suelos granulares, la cual es la que mantiene al material en movimiento.

$$V_e = 0.68 \beta D_m^{0.28} H_s^z$$

V_e : Velocidad erosiva.

β : Coeficiente de frecuencia.

D_m : Diámetro medio de las partículas del material granular

Z : Exponente variable en función del diámetro medio de la Partícula.

$$\beta = 0.7929 + 0.0973 \text{Log} D_m - 0.00891 \text{Log}^2 D_m$$

T_r : Tiempo de retorno

$$D_m = \sum D_i P_i$$

$$z = 0.394557 - 0.04136 \text{Log} D_m - 0.00891 \text{Log}^2 D_m$$

Para determinar la profundidad de socavación en suelos homogéneos y granulares tenemos:

$$H_s = \left[\frac{\alpha h^{5/3}}{0.68 \beta D_m^{0.28}} \right]^{1/1+z}$$

El factor de corrección por contracción μ es menor que 1 y contribuye al aumento de la profundidad de socavación.

Tabla 5: Factor por contracción del cauce μ

V (m/s)	Luz Libre (m)												
	10	13	16	18	21	25	30	42	52	63	106	124	200
<1.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.0	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.5	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
2.0	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
2.5	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
3.0	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.5	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
>4.0	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99

Fuente: Elaboración propia

V : Velocidad media en la sección transversal.

μ : 1.0 si no hay obstáculos

ϕ : 1.0

γ_m : Peso específico

ϕ : $-0.54 + 1.5143 \gamma_m$

LA ECUACIÓN FINAL PARA EL CÁLCULO DE LA SOCAVACIÓN

$$H_s = \left[\frac{\alpha h^{5/3}}{0.68 \beta \mu \phi D_m^{0.28}} \right]^{1/1+z}$$

- γ_s : Peso específico
- β : Coeficiente de frecuencia
- μ : Factor de corrección por contracción del cauce.
- φ : Factor de corrección de transporte de sedimentos.

2.3.5. Flujo uniforme:

El Departamento de Transportes de Florida (EEUU), menciona en la página 2-7 de su manual publicado en 2005, “Bridge Scour Manual” que, para establecer situaciones de flujo constante y uniforme, los modelos de flujo computarizado son frecuentemente los más adecuados para estimar velocidades de flujo de diseño. Si, adicionalmente, el diseño del flujo es de larga duración, como una tormenta en un terreno relativamente plano, las ecuaciones de socavación por contracción de equilibrio pueden estimar las profundidades de tal socavación. Las ecuaciones de socavación por contracción de Laursen (1960) fueron desarrolladas para este tipo de situaciones. Sin embargo, las predicciones que utilizan estas ecuaciones tienden a ser conservadoras, incluso para el flujo de larga duración, ya que el valor de erosión disminuye significativamente con el aumento de la profundidad de socavación por contracción. Es decir, a menos que la duración del flujo sea extremadamente larga, el equilibrio de profundidad no se alcanzan. Laursen desarrolló diferentes ecuaciones para los regímenes de flujo de aguas residuales, de las aguas claras y vivas. Ambas ecuaciones están diseñadas para situaciones con límites de flujo simples para facilitar la determinación de valores para los términos de las ecuaciones. (Departamento de Transportes de Florida, 2005)

2.3.6. Sedimentos:

Material sólido que se acumula en la superficie terrestre y que surge por la acción de diversos fenómenos naturales que actúan en la atmósfera, la hidrosfera y la biosfera. Los vientos, las precipitaciones y los cambios de temperatura son algunos de los factores vinculados al desarrollo de sedimentos.

La sedimentación ocurre cuando un material sólido es transportado por una corriente de agua y se posa en el fondo del río, embalse, etc. Las corrientes de agua tienen la capacidad de transportar materia sólida en suspensión y de generar sedimentos por sus propias características o a través de la erosión de los cauces.

2.3.7. Coeficiente de Manning:

La obtención de la cantidad de agua disponible o caudal, se puede obtener por varios métodos, entre los cuales uno de los más conocidos es la ecuación 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 de su valor. La ecuación de Manning es el resultado de un proceso de ajuste de curvas de caudales y desarrollada para flujo uniforme en canales abiertos, con el transcurso del tiempo se ha utilizado para corrientes en flujo natural, pero a pesar que se utiliza en distintas regiones, los valores del coeficiente de rugosidad n se desarrollaron en una región específica, por lo que se debe de desarrollar una evaluación de los valores de coeficientes de rugosidad para la región centroamericana. (Ven The Chow, 2004)

2.3.7.1. Factores que afectan el coeficiente de rugosidad de Manning son:

- a) Rugosidad de la superficie: Se representa por el tamaño y la forma de los granos del material que forma el perímetro mojado y que producen un efecto retardante sobre el flujo. En general, los granos finos resultan en un valor relativamente bajo de n y los granos gruesos dan lugar a un valor alto de n .
- b) Vegetación: Puede ser vista como una clase de rugosidad superficial. Este efecto depende principalmente de la altura, densidad, distribución y tipo de vegetación, y es muy importante en el diseño de canales pequeños de drenaje, ya que por lo común éstos no reciben mantenimiento regular.
- c) Irregularidad del canal: Se refiere a las variaciones en las secciones transversales de los canales, su forma y su perímetro mojado a lo largo de su eje longitudinal. En canales naturales, tales irregularidades por lo general son producidas por la presencia de barras de arena, ondas de arena, cresta y depresiones y fosos y montículos en el lecho del canal. En general, un cambio gradual y uniforme en la sección transversal o en su tamaño y forma no produce efectos apreciables en el valor de n , pero cambios abruptos o alteraciones de secciones pequeñas y grandes requieren el uso de un valor grande de n .
- d) Alineamiento del canal: Curvas suaves con radios grandes producirán valores de n relativamente bajos, en tanto que curvas bruscas con meandros severos incrementarán el n .
- e) Sedimentación y erosión: En general la sedimentación y erosión activa, dan variaciones al canal que ocasionan una disminución o incremento en el valor de

n. Urquhart (1975) 8 señaló que es importante considerar si estos dos procesos están activos y si es probable que permanezcan activos en el futuro.

- f) Obstrucción: La presencia de obstrucciones tales como troncos de árbol, desechos de flujos, atascamientos, pueden tener un impacto significativo sobre el valor de n. El grado de los efectos de tales obstrucciones dependen del número y tamaño de ellas.
- g) Tamaño y forma del canal: No existe evidencia definitiva acerca del tamaño y la forma del canal como factores importantes que afecten el valor del coeficiente de rugosidad n. un incremento en el radio hidráulico puede aumentar o disminuir el n, según la condición del canal.
- h) Nivel y caudal: En la mayor parte de las corrientes el valor de n disminuye con el aumento en el nivel y en el caudal. Cuando el agua es poco profunda, las irregularidades del fondo del canal quedan expuestas y sus efectos se vuelven pronunciados. Sin embargo, el valor de n puede ser grande en niveles altos si las bancas están cubiertas por pastos o son rugosas.
- i) Cambio estacional: Debido al crecimiento estacional de planta acuáticas, hierbas, malezas, sauces y árboles en el canal o en la banca, el valor de n puede aumentar en la estación de crecimiento y disminuir en la estación inactiva; además este factor puede producir cambios en otros factores.
- j) Material en suspensión y carga de lecho: El material en suspensión y la carga de lecho, ya sea en movimiento o no, consumirá energía y causa una pérdida de altura e incrementa la rugosidad aparente del canal.

2.3.7.2. Método analítico para la determinación del coeficiente de rugosidad de Manning:

El coeficiente de Manning se puede obtener de manera analítica, conociendo los parámetros que involucra la ecuación, son: el caudal (Q), el área (A), la velocidad (V), la media (V_m), el radio hidráulico (R_m) y a pendiente media (S). Una vez teniendo todos los valores hallamos **n**. (Ven The Chow, 2004)

FÓRMULA:

$$n = \frac{(A \times R^{2/3}) \times (S^{1/2})}{Q}$$

2.3.7.3. Métodos visuales para la determinación del coeficiente de rugosidad de Manning:

a. Tablas de coeficiente de rugosidad de Manning:

Tabla 5-6. Valores del coeficiente de rugosidad n (las cifras en negritas son los valores generalmente recomendados para el diseño)				Tabla 5-6. Valores del coeficiente de rugosidad n (continuación) (las cifras en negritas son los valores generalmente recomendados para el diseño)			
108				109			
HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS				DESARROLLO DEL FLUJO UNIFORME Y DE SUS ECUACIONES			
Mínimo				Mínimo			
Normal				Normal			
Máximo				Máximo			
Tipo de canal y descripción				Tipo de canal y descripción			
A. Conductos cerrados que fluyen parcialmente llenos				B. Canales revestidos o desarmables			
A-1. Metal				B-1. Metal			
<i>a. Latón, liso</i>				<i>a. Superficie lisa de acero</i>			
0.009 0.010 0.013				0.011 0.012 0.014			
<i>b. Acero</i>				0.012 0.013 0.017			
1. Estriado y soldado				0.013 0.016 0.017			
2. Riveteado y en espiral				0.021 0.025 0.030			
<i>c. Hierro fundido</i>				<i>b. Corrugado</i>			
1. Recubierto				<i>a. Cemento</i>			
0.010 0.013 0.014				1. Superficie pulida			
2. No recubierto				0.010 0.011 0.013			
0.011 0.014 0.016				2. Mortero			
<i>d. Hierro forjado</i>				0.010 0.011 0.013			
1. Negro				0.011 0.013 0.015			
2. Galvanizado				0.012 0.014 0.015			
0.013 0.016 0.017				3. Sin cepillar			
<i>e. Metal corrugado</i>				4. Láminas con listones			
1. Subdrenaje				0.012 0.015 0.018			
2. Drenaje de aguas lluvias				5. Forrada con papel impermeabilizante			
0.017 0.019 0.021				0.010 0.014 0.017			
0.021 0.024 0.030				<i>c. Concreto</i>			
A-2. No metal				1. Terminado con llana metálica (palustre)			
<i>a. Lucita</i>				0.011 0.013 0.015			
0.008 0.009 0.010				2. Terminado con llana de madera			
<i>b. Vidrio</i>				0.013 0.015 0.016			
0.009 0.010 0.013				3. Pulido, con gravas en el fondo			
<i>c. Cemento</i>				0.015 0.017 0.020			
1. Superficie pulida				4. Sin pulir			
0.010 0.011 0.013				0.014 0.017 0.020			
2. Mortero				5. Lanzado, sección buena			
0.011 0.013 0.015				0.016 0.019 0.023			
<i>d. Concreto</i>				6. Lanzado, sección ondulada			
1. Alcantarilla, recta y libre de basuras				0.018 0.022 0.025			
2. Alcantarilla con curvas, conexiones y algo de basuras				7. Sobre roca bien excavada			
0.011 0.013 0.014				0.017 0.020			
3. Bien terminado				8. Sobre roca irregularmente excavada			
0.011 0.012 0.014				0.022 0.027			
4. Alcantarillado de aguas residuales, con pozos de inspección, entradas, etc., recto				<i>d. Fondo de concreto terminado con llana de madera y con lados de</i>			
0.013 0.015 0.017				1. Piedra labrada, en mortero			
5. Sin pulir, formaleta o encofrado metálico				0.015 0.017 0.020			
0.012 0.013 0.014				2. Piedra sin seleccionar, sobre mortero			
6. Sin pulir, formaleta o encofrado en madera lisa				0.017 0.020 0.024			
0.012 0.014 0.016				3. Mampostería de piedra cementada, recubierta			
7. Sin pulir, formaleta o encofrado en madera rugosa				0.016 0.020 0.024			
0.015 0.017 0.020				4. Mampostería de piedra cementada			
<i>e. Madera</i>				0.020 0.025 0.030			
1. Machihembrada				5. Piedra suelta o <i>riprap</i>			
0.010 0.012 0.014				0.020 0.030 0.035			
2. Laminada, tratada				<i>e. Fondo de gravas con lados de</i>			
0.015 0.017 0.020				1. Concreto encofrado			
<i>f. Arcilla</i>				0.017 0.020 0.025			
1. Canaleta común de baldosas				2. Piedra sin seleccionar, sobre mortero			
0.011 0.013 0.017				0.020 0.023 0.026			
2. Alcantarilla vitrificada				3. Piedra suelta o <i>riprap</i>			
0.011 0.014 0.017				0.023 0.033 0.036			
3. Alcantarilla vitrificada con pozos de inspección, entradas, etc.				<i>f. Ladrillo</i>			
0.013 0.015 0.017				1. Barnizado o lacado			
4. Subdrenaje vitrificado con juntas abiertas				0.011 0.013 0.015			
0.014 0.016 0.018				2. En mortero de cemento			
<i>g. Mampostería en ladrillo</i>				0.012 0.015 0.018			
1. Barnizada o lacada				<i>g. Mampostería</i>			
0.011 0.013 0.015				1. Piedra partida cementada			
2. Revestida con mortero de cemento				0.017 0.025 0.030			
0.012 0.015 0.017				2. Piedra suelta			
<i>h. Alcantarillados sanitarios recubiertos con limos y babas de aguas residuales, con curvas y conexiones</i>				0.023 0.032 0.035			
0.012 0.013 0.016				0.013 0.015 0.017			
<i>i. Alcantarillado con batea pavimentada, fondo liso</i>				<i>h. Bloques de piedra labrados</i>			
0.016 0.019 0.020				<i>i. Asfalto</i>			
<i>j. Mampostería de piedra, cementada</i>				1. Liso			
0.018 0.025 0.030				0.013 0.013			
				2. Rugoso			
				0.016 0.016			
				<i>j. Revestimiento vegetal</i>			
				0.030 0.500			

Figura 8: Coeficiente de Manning

Fuente: Hidráulica de canales de Vem Te Chow

Tabla 5-6. Valores del coeficiente de rugosidad *n* (continuación)
(las cifras en **negritas** son los valores generalmente recomendados para el diseño)

Tabla 5-6. Valores del coeficiente de rugosidad *n* (continuación)
(las cifras en **negritas** son los valores generalmente recomendados para el diseño)

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo	Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
C. Excavado o dragado				b. Corrientes montañosas, sin vegetación en el canal, bancas usualmente empinadas, árboles y matorrales a lo largo de las bancas sumergidas en niveles altos			
a. En tierra, recto y uniforme				1. Fondo: gravas, cantos rodados y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
1. Limpio, recientemente terminado	0.016	0.018	0.020	2. Fondo: cantos rodados con rocas grandes	0.040	0.050	0.070
2. Limpio, después de exposición a la intemperie	0.018	0.022	0.025	D-2. Planicies de inundación			
3. Con gravas, sección uniforme, limpio	0.022	0.025	0.030	a. Pastizales, sin matorrales			
4. Con pastos cortos, algunas malezas	0.022	0.027	0.033	1. Pasto corto	0.025	0.030	0.035
b. En tierra, serpenteante y lento				2. Pasto alto	0.030	0.035	0.050
1. Sin vegetación	0.023	0.025	0.030	b. Áreas cultivadas			
2. Pastos, algunas malezas	0.025	0.030	0.033	1. Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
3. Malezas densas o plantas acuáticas en canales profundos	0.030	0.035	0.040	2. Cultivos en líneas maduros	0.025	0.035	0.045
4. Fondo en tierra con lados en piedra	0.028	0.030	0.035	3. Campos de cultivo maduros	0.030	0.040	0.050
5. Fondo pedregoso y bancas con malezas	0.025	0.035	0.040	c. Matorrales			
6. Fondo en cantos rodados y lados limpios	0.030	0.040	0.050	1. Matorrales dispersos, mucha maleza	0.035	0.050	0.070
c. Excavado con pala o dragado				2. Pocos matorrales y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
1. Sin vegetación	0.025	0.028	0.033	3. Pocos matorrales y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
2. Matorrales ligeros en las bancas	0.035	0.050	0.060	4. Matorrales medios a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
d. Cortes en roca				5. Matorrales medios a densos, en verano	0.070	0.100	0.160
1. Lños y uniformes	0.025	0.035	0.040	d. Árboles			
2. Afilados e irregulares	0.035	0.040	0.050	1. Sauces densos, rectos y en verano	0.110	0.150	0.200
e. Canales sin mantenimiento, malezas y matorrales sin cortar				2. Terreno limpio, con troncos sin retoños	0.030	0.040	0.050
1. Malezas densas, tan altas como la profundidad de flujo	0.050	0.080	0.120	3. Igual que el anterior, pero con una gran cantidad de retoños	0.050	0.060	0.080
2. Fondo limpio, matorrales en los lados	0.040	0.050	0.080	4. Gran cantidad de árboles, algunos troncos caídos, con poco crecimiento de matorrales, nivel del agua por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
3. Igual, nivel máximo de flujo	0.045	0.070	0.110	5. Igual al anterior, pero con nivel de creciente por encima de las ramas	0.100	0.120	0.160
4. Matorrales densos, nivel alto	0.080	0.100	0.140	D-3. Corrientes mayores (ancho superficial en nivel de creciente > 100 pies). El valor de <i>n</i> es menor que el correspondiente a corrientes menores con descripción similar, debido a que las bancas ofrecen resistencia menos efectiva.			
D. Corrientes naturales				a. Sección regular, sin cantos rodados ni matorrales	0.025	0.060
D-1. Corrientes menores (ancho superficial en nivel creciente < 100 pies)				b. Sección irregular y rugosa	0.035	0.100
a. Corrientes en planicies							
1. Limpias, rectas, máximo nivel, sin montículos ni pozos profundos	0.025	0.030	0.033				
2. Igual al anterior, pero con más piedras y malezas	0.030	0.035	0.040				
3. Limpio, serpenteante, algunos pozos y bancos de arena	0.033	0.040	0.045				
4. Igual al anterior, pero con algunos matorrales y piedras	0.035	0.045	0.050				
5. Igual al anterior, niveles bajos, pendientes y secciones más ineficientes	0.040	0.048	0.055				
6. Igual al 4, pero con más piedras	0.045	0.050	0.060				
7. Tramos lentos, con malezas y pozos profundos	0.050	0.070	0.080				
8. Tramos con muchas malezas, pozos profundos o canales de crecientes con muchos árboles con matorrales bajos	0.075	0.100	0.150				

Figura 9: Coeficiente de Manning

Fuente: Hidráulica de canales de Ven Te Chow

b. Ilustraciones de canales con rugosidades diferentes:

En Roughness Characteristics of Natural Channels – USGS, se encuentran fotografías para cierto número de canales comunes, incluyen una descripción de los valores correspondientes al coeficiente de Manning (**n**) y las condiciones del canal. A continuación, mostramos la imagen que coincide con la característica de nuestro canal, el Manning es de **0.033**. (Ven The Chow, 2004)

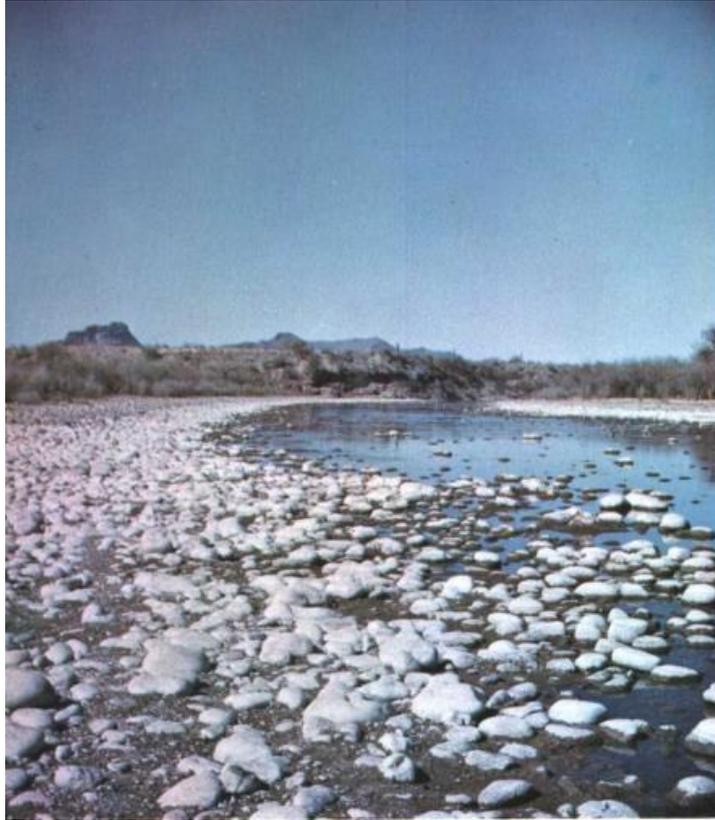


Figura 10:Fotografía de acuerdo al USGS que corresponde a nuestro canal

Fuente: Roughnes Characteris of Natural Channels



Figura 11:Fotografía en campo de nuestro canal.

Fuente: Propia

2.3.8. Modelo Unidimensional HEC-RAS:

El programa fue diseñado para calcular líneas de agua en ríos y canales en caso de movimiento gradualmente variado. El procedimiento de cálculo se basa en la resolución de la ecuación unidimensional de la energía usando el método del "Standard step".

Este programa se puede utilizar para planificar los usos del suelo y para elaborar estudios de seguros frente a inundaciones, ya que permite evaluar el efecto de los obstáculos sobre la capacidad de desagüe, así como deslindar las zonas inundables. Asimismo, también se puede usar en proyectos de encauzamientos, acondicionamiento de márgenes, sustitución de puentes o azudes, etc., puesto que permite determinar la influencia de cada actuación sobre los niveles de lámina.

El objetivo primordial del programa HEC-RAS es calcular la cota de agua en los puntos de interés en función del caudal circulante a lo largo del río o canal.

Los cálculos comienzan en una sección transversal con condiciones iniciales conocidas o estimadas y se procede hacia aguas arriba si el régimen es lento o hacia aguas abajo si, por el contrario, el régimen es rápido. Los calados para cálculos en régimen lento están constreñidos al calado crítico o menores. (SAITEC, Estudio hidráulico de la apertura del Canal de Deusto, 2010)

2.3.9. Modelo bidimensional IBER:

En dos dimensiones el río se discretiza como una malla formada por una serie de celdas poligonales que representan la topografía del cauce y llanuras de inundación. Dicha malla puede ser regular o irregular, estructurada o no estructurada. La mayor flexibilidad para una buena representación de la geometría y contornos se suele conseguir con una malla irregular. Lo habitual es que las mallas estén formadas por triángulos o cuadriláteros. (Bladé Castellet, Cea & Corestein, 2014)

Iber es un modelo numérico de simulación de flujo turbulento en lámina libre en régimen no permanente, y de procesos medioambientales en hidráulica fluvial. El rango de aplicación de Iber abarca la hidrodinámica fluvial, la simulación de rotura de presas, la evaluación de zonas inundables, el cálculo de transporte de sedimentos y el flujo de marea en estuarios. En el módulo hidrodinámico, que constituye la base de Iber, se resuelven las ecuaciones de aguas someras bidimensionales promediadas en profundidad (ecuaciones de St. Venant 2D), estas ecuaciones asumen una distribución de presión hidrostática y una distribución relativamente uniforme de la velocidad en profundidad.

La hipótesis de presión hidrostática se cumple razonablemente en el flujo en ríos, así como en las corrientes generadas por la marea en estuarios. (CEDEX, CIMNE, Flumen, 2010)

2.4. Hipótesis:

Si el efecto de la descolmatación produce un aumento de la velocidad del río Chicama, generaría el aumento de la profundidad de la socavación de los pilares del puente Victoria.

2.5. Variables:

- Variable dependiente :
 - Profundidad de socavación.
- Variables independientes :
 - Descolmatación: Caudal
Granulometría
Pendiente
Ancho del río

2.6. Operacionalización de variables:

- Variable dependiente :
Profundidad de socavación: Se mide en metros (m).
- Variables independientes :
Caudal: Se mide en metros por segundo (m/s).
Granulometría: Se mide en milímetros (mm).
Pendiente: Se mide en porcentaje (%).
Ancho del río: Se mide en metros (m).

**CAPÍTULO III:
METODOLOGÍA DE LA
INVESTIGACIÓN**

3.1. Unidad de análisis:

El diseño hidráulico del río Chicama, tramo puente Victoria, lo analizaremos mediante el uso de programas unidimensional y bidimensional.

3.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos:

3.2.1. Topografía del río:

Se inició colocando puntos de referencia sobre el cauce del río para poder tener nuestras cotas de nivel. Nuestro BM lo ubicamos en el puente Victoria. Para la lectura de puntos para la obtención de cotas, se utilizó un GPS diferencial. Se tomaron 4 y 6 puntos en aguas abajo y aguas arriba del puente, respectivamente.



Figura 12: Ubicación del BM

Fuente: Propia



Figura 13: Lectura de cota aguas abajo del puente Victoria.

Fuente: Propia



Figura 14: Lectura de cota aguas arriba del puente Victoria.

Fuente: Propia

A continuación, con dron, sobrevolamos el río Chicama para la obtención de imágenes y toma de datos del cauce del río. Recorrimos 600 metros del puente hacia aguas abajo y 1.2 km aguas arriba.



Figura 15: Dron se dispone a sobrevolar el río Chicama.

Fuente: Propia

3.2.2. Estudio de mecánica de suelos:

- Extracción de muestras:

Se realizaron 4 calicatas en diferentes puntos del cauce del río, 2 aguas arriba y otras 2 aguas abajo del puente, cada una de las calicatas tuvo de profundidad 1.5 m y cada muestra fue de 8 kg.

Una vez rotuladas, cada muestra fue se trató y analizó mediante los ensayos de laboratorio de acuerdo a la norma ASTM D-422, para así poder determinar el tamaño determinante de las partículas del suelo, el cual es fundamental para el desarrollo de nuestro trabajo de investigación.

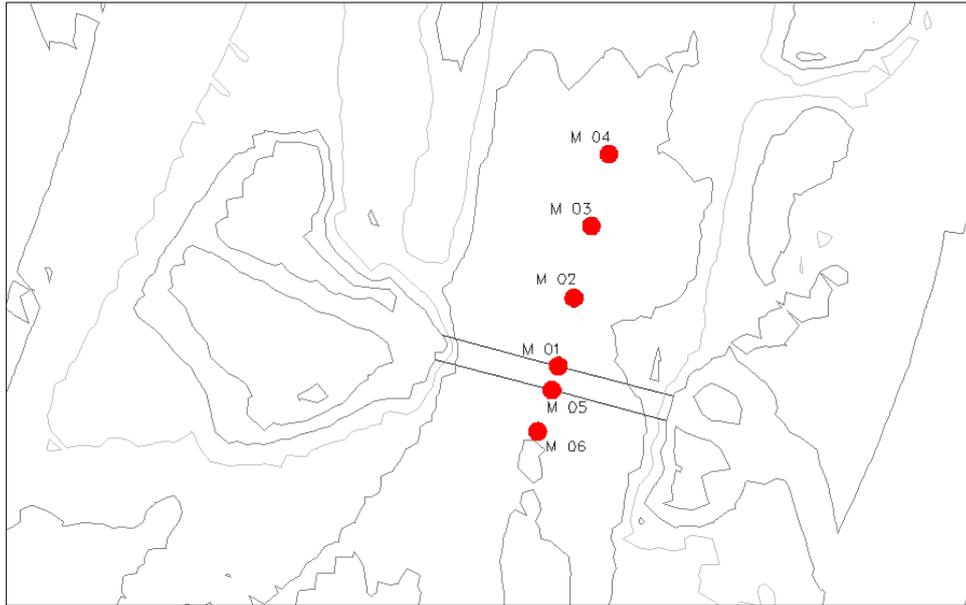


Figura 16: Ubicación de las muestras extraídas

Fuente: Propia

Lo desarrollamos de la siguiente manera:

- Para cada muestra se realizó un cuarteo, en el cual tomamos muestras de más de 1Kg de peso para así llevarlo al horno por 24 horas para eliminar así la humedad y poder tener una muestra más exacta.



Figura 17: Ilustración del cuarteo realizado a las muestras.

Fuente: Propia

- Luego se sacó las muestras del horno para que seguidamente sean pesadas, este último peso sería el que utilizaremos para los siguientes estudios.



Figura 18: Muestras a punto de ser sacadas del horno.

Fuente: Propia

- Posteriormente se lava la muestra para poder quitar los finos que se adhieren al agregado y así poder calcular su peso.
- Por segunda vez se lleva al horno por 24 horas para poder eliminar toda la humedad ganada por el lavado anterior.



Figura 19: Muestras puestas en el horno luego de ser lavadas.

Fuente: Propia

Cuando la muestra se encuentra totalmente seca, se procede a tamizar pasando la muestra por los siguientes tamices: 2 ½, 2", 1 ½, 1", ¾", ½", ⅜", ¼", N°4, N°10, N°10, N°10, N°20, N°30, N°40, N°50, N°60, N°80, N°100, N°200.



Figura 20: Proceso de tamizado de muestras.

Fuente: Propia

- Cada muestra retenida en los diferentes tamices se pesa para así procedes a realizar la curva granulométrica, la cual determinará que diámetro será utilizado para los siguientes cálculos.



Figura 21: Muestra retenida en tamiz siendo

Fuente: Propia

- Granulometría:

Con respecto a la granulometría se procedió a elaborar las curvas granulométricas PORCENTAJE QUE PASA vs DIÁMETRO DE LAS PARTÍCULAS (% vs mm.). De acuerdo a la recolección de pesos se realiza una tabla con la cual haremos los gráficos, los cuales nos ayudarán a determinar la descripción de la muestra, su clasificación S.U.C.S., su diámetro predominante y sus coeficientes. Esto nos ayudará para determinar el D_{50} , el cual nos servirá para nuestros modelos UNIDIMENSIONAL Y BIDIMENSIONAL.

- Peso específico

Agregado grueso: Saturamos nuestras muestras dejándolas por 24 hrs en recipientes llenos de agua. Posteriormente procedimos a secar las muestras superficialmente con un trapo, para ser sumergidas en la canastilla y obtener el peso del agregado sumergido. Pusimos al horno por 24 hrs a 110 °C para obtener el peso en seco.

3.3. Técnicas para el procesamiento y análisis de información:

Para realizar el estudio hidrológico, se estudiarán los caudales formativos del río Chicama. Éstos son obtenidos del registro histórico de las estaciones hidrológicas cercanas, datos que serán ordenados en Excel para poder hallar el caudal constante con el que analizaremos. Además, con esto se calculará el caudal máximo con un período de retorno de 50, 100 y 500 años.

Realizaremos el modelo unidimensional con el software Hec Ras, para el cálculo de los elementos hidrodinámicos del río.

Realizaremos el modelo bidimensional con el software Iber

De los resultados de la hidrodinámica de los 2 modelos se evaluará para identificar los datos más correctos.

Realizaremos el cálculo de la socavación general y socavación local considerando la geometría del puente.

a. **MODELAMIENTO UNIDIMENSIONAL:**

Se realizó el modelamiento del cauce del río en HEC RAS agregando el puente y sus pilares los cuales se encuentran presentes en el cauce del río. Actualmente se encuentra activo. Se realizará de acuerdo a las siguientes especificaciones:

1. Utilizando el caudal 1052.42 m³/s con un periodo de retorno de 50 años.
2. Utilizando el caudal 1359.06 m³/s con un periodo de retorno de 100 años.
3. Utilizando el caudal 2295.00 m³/s con un periodo de retorno de 500 años.

b. **MODELAMIENTO BIDIMENSIONAL CON PUENTE:**

Se realizó el modelamiento del cauce del río en IBER agregando el puente y sus pilares los cuales se encuentran presentes en el cauce del río. Actualmente se encuentra activo. Se realizará de acuerdo a las siguientes especificaciones:

1. Utilizando el caudal 1052.42 m³/s con un periodo de retorno de 50 años.
2. Utilizando el caudal 1359.06 m³/s con un periodo de retorno de 100 años.
3. Utilizando el caudal 2295.00 m³/s con un periodo de retorno de 500 años.

Teniendo identificados los modelamientos y procesos a seguir, realizamos lo siguiente:

a. **Importamos el modelo digital de elevación (DEM) al programa ArcGis**

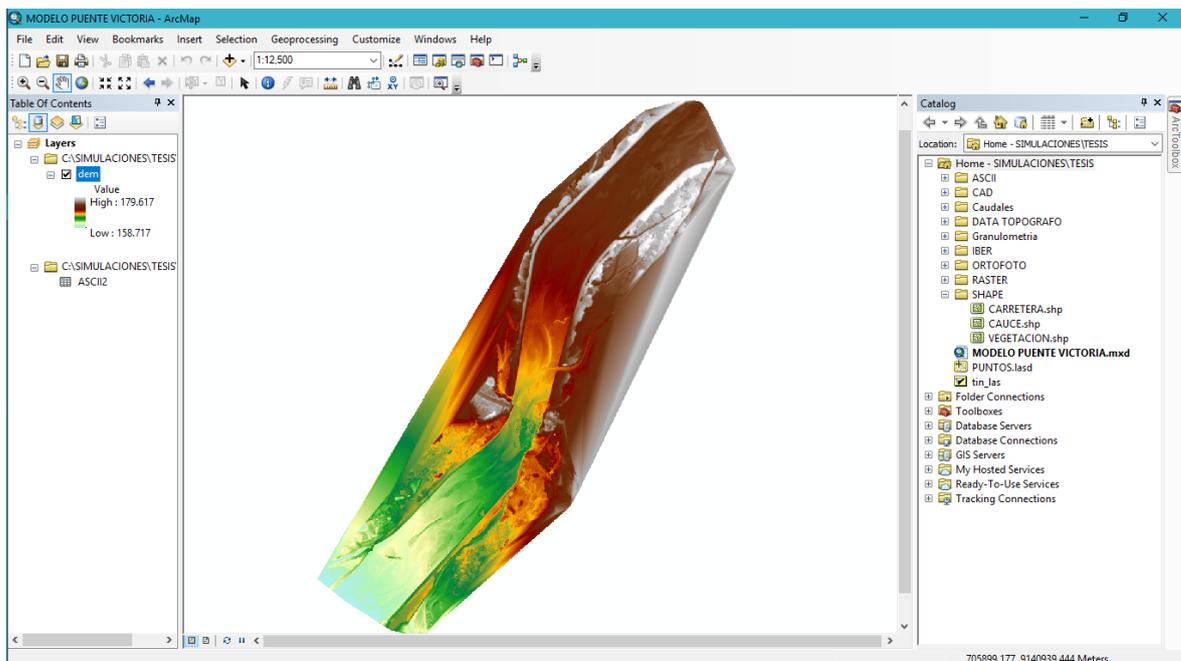


Figura 22: Datos importados a ArcGis

Fuente: Propia

- b. Creamos las superficies, que nos servirán posteriormente para exportar al CAD y así insertar el puente y así trabajar en el IBER.

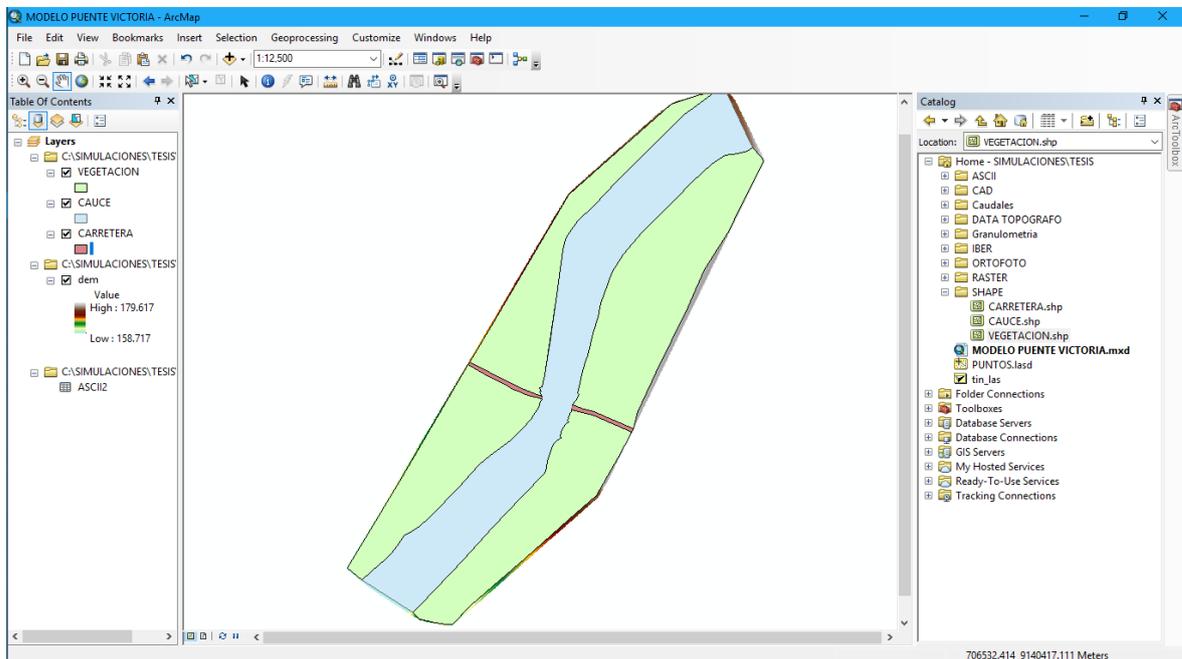


Figura 23: Superficie para IBER

Fuente: Propia

- c. Una vez en IBER creamos las superficies como se muestran a continuación:

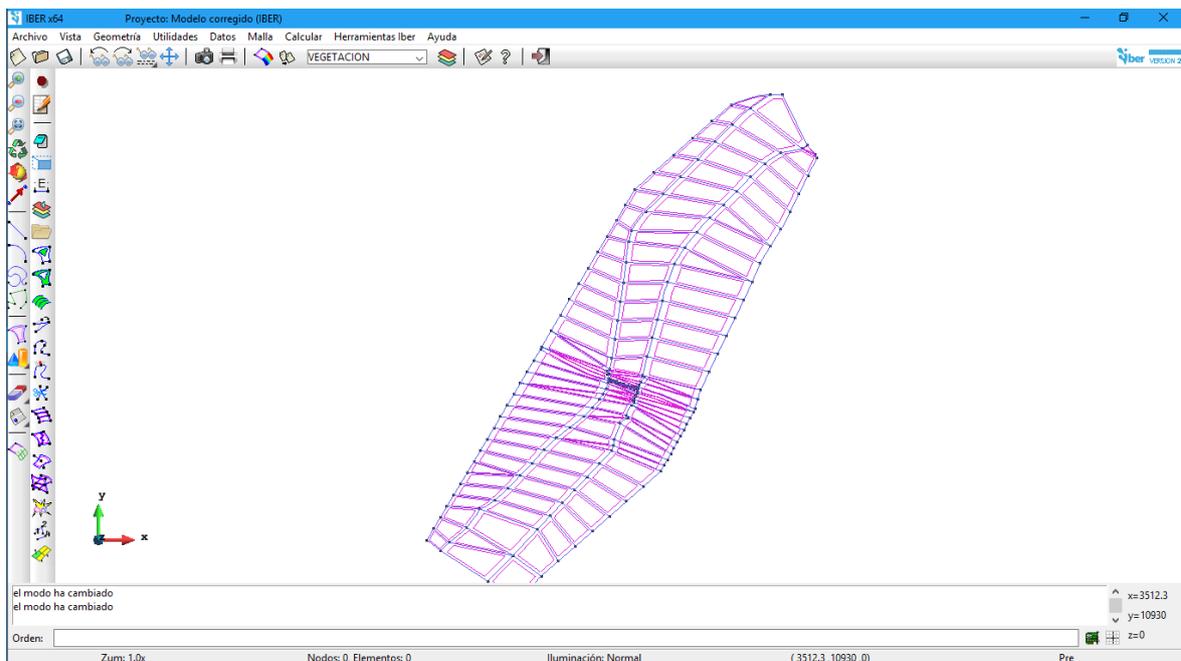


Figura 24: Creación de superficies

Fuente: Propia

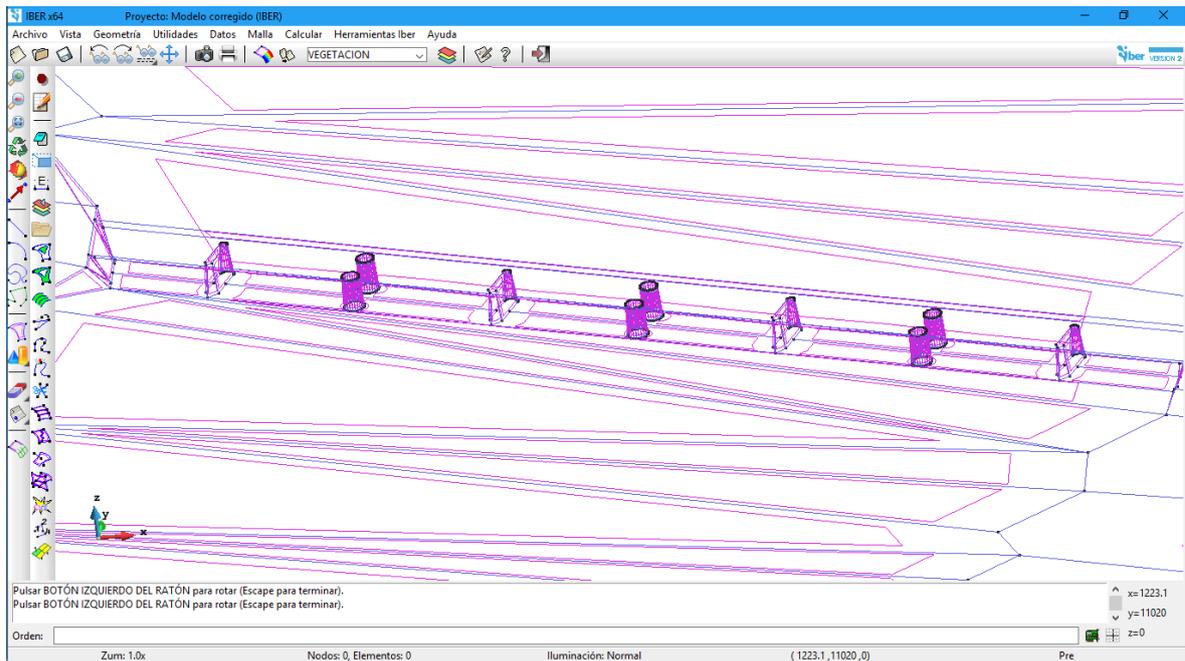


Figura 25: Creación de superficies

Fuente: Propia

d. Se agrega los datos de coeficiente de manning para proceder con la simulación:

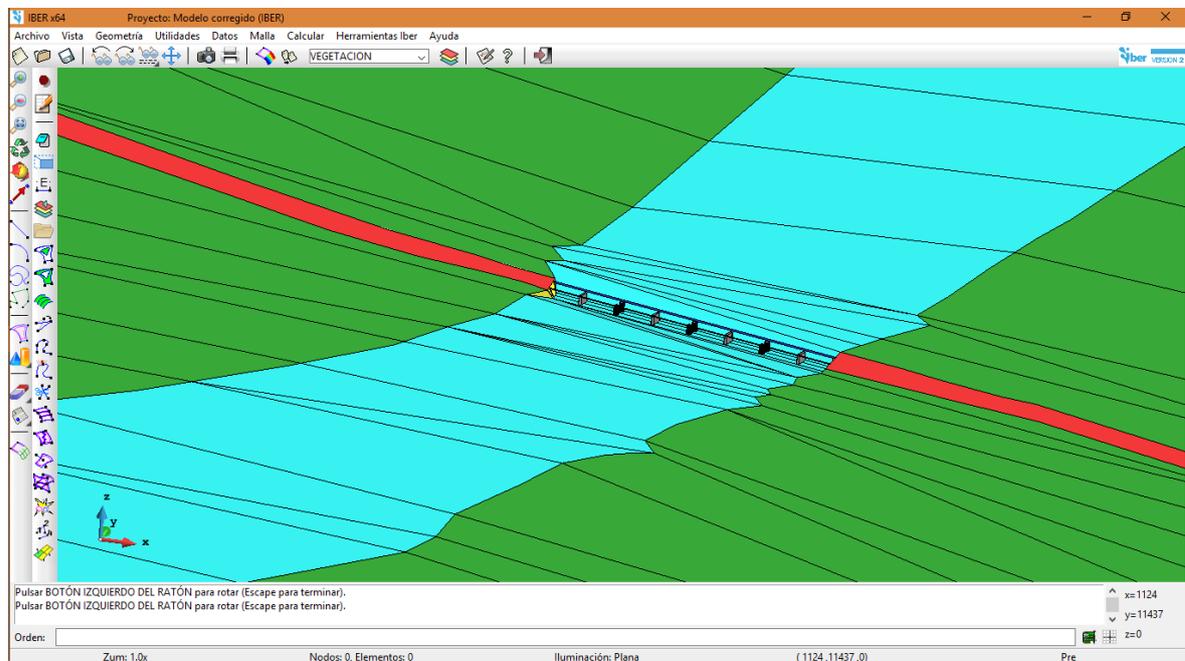


Figura 26: Manning en el IBER

Fuente: Propia

- e. Por último, agregamos la malla e ingresamos datos para obtener la simulación con los diferentes caudales.

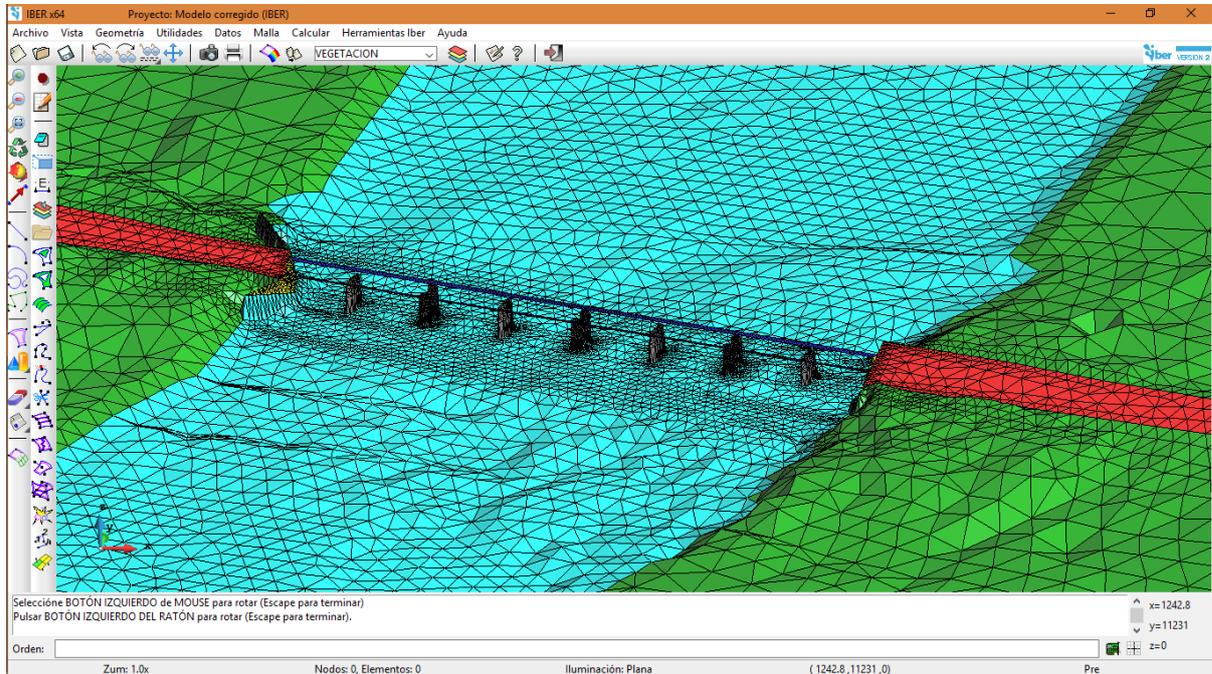


Figura 27: N° de malla en IBER
Fuente: Propia

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

Utilizaremos este capítulo para exponer los resultados obtenidos en los diferentes ensayos y modelamientos.

4.1. Resultados Granulometría:

Se realizó el ensayo de análisis granulométrico conforme a las normas de ASTM D-422. Se extrajeron 06 calicatas, sin embargo, se descartaron 02 debido a que su diámetro era bastante lejano del promedio, esto debido a que era arena y no representaba la mayoría del material encontrado en el cauce del río. Los resultados fueron los siguientes:

Muestra 1:

La muestra 1 fue tomada aguas arriba del puente, muy cerca a éste y en todo su eje.

La cual encontramos grava obteniendo los siguientes datos:

Tabla 6: Calicata N°1 (Agua arriba)

TAMIZ	ABERTURA	PESO	% RET.	% RET.	%
		RET.	PARC.	ACUM.	PASA
N°	Mm				
N° 2	63	0	0.00	0.00	100.00
1/2"					
N° 2"	50	0	0.00	0.00	100.00
N° 1	40	210.4	21.82	21.82	78.18
1/2"					
1"	25.40	421.9	43.75	43.75	56.25
3/4"	19.00	258.32	26.79	26.79	73.21
1/2"	12.50	121.4	12.59	39.38	60.62
3/8"	9.50	89.5	9.28	48.66	51.34
1/4"	6.35	75.4	7.82	56.48	43.52
N° 4	4.75	62.5	6.48	62.96	37.04
N° 8	2.38	53.6	5.55	68.52	31.48
N° 10	2.00	41.3	4.29	72.80	27.20
N° 16	1.19	23.4	2.43	75.23	24.77
N° 20	0.84	19.6	2.03	77.26	22.74
N° 30	0.60	5.7	0.59	77.85	22.15
N° 40	0.425	4.1	0.43	78.28	21.72

N° 50	0.30	2.1	0.22	78.49	21.51
N° 60	0.26	1.8	0.18	78.68	21.32
N° 80	0.18	1.0	0.10	78.78	21.22
N° 100	0.15	0.8	0.08	78.86	21.14
N° 200	0.074	0.5	0.05	78.91	21.09
PLATO	0.00	203.4	21.09	100.00	0.00
TOTAL		964.27	100.00		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7: Calicata N°1 (Cálculo

Cu : 170.85
Cc : 2.53

CALCULO DE DIAMETROS	
D10	
ABERTURA	%PASA
0.07	31.62
0.0234065	10
0.00	0.00
D30	
ABERTURA	%PASA
0.07	31.62
0.0702195	30
0.00	0.00
D50	
ABERTURA	%PASA
9.50	52.27
8.6159933	50
6.35	44.17
D60	
ABERTURA	%PASA
12.50	61.56
11.996938	60
9.50	52.27
D95	
ABERTURA	%PASA
40.00	100.00
36.8398	95
25.40	76.90

Fuente: Elaboración Propia

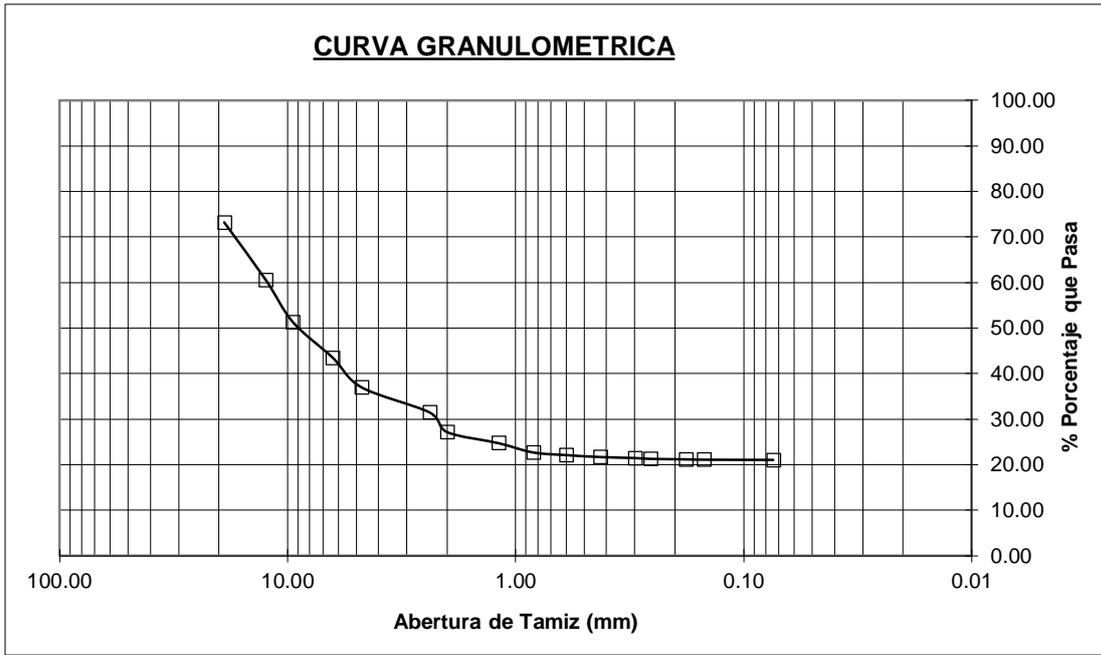


Gráfico 1: Calicata N°1 (Curva Granulométrica)

Fuente: Elaboración Propia

Muestra 2:

La muestra 2 fue tomada en el eje del río, 50 m aguas arriba del puente.

Tabla 8: Calicata N°2 (Agua arriba)

TAMIZ	ABERTURA	PESO	% RET.	% RET.	% PASA
		RET.	PARC.	ACUM.	
N°	mm				
N° 2 1/2"	63	0	0.00	0.00	100.00
N° 2"	50	0	0.00	0.00	100.00
N° 1 1/2"	40	0	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	254.78	23.10	23.10	76.90
3/4"	19.00	236.98	21.49	21.49	78.51
1/2"	12.50	187.03	16.96	38.44	61.56
3/8"	9.50	102.4	9.28	47.73	52.27
1/4"	6.35	89.32	8.10	55.83	44.17
N° 4	4.75	45.67	4.14	59.97	40.03
N° 8	2.38	21.67	1.96	61.93	38.07
N° 10	2.00	17.32	1.57	63.50	36.50
N° 16	1.19	15.212	1.38	64.88	35.12
N° 20	0.84	11.432	1.04	65.92	34.08
N° 30	0.60	9.457	0.86	66.77	33.23
N° 40	0.425	7.612	0.69	67.46	32.54
N° 50	0.30	5.6	0.51	67.97	32.03
N° 60	0.26	2.3	0.21	68.18	31.82
N° 80	0.18	1.23	0.11	68.29	31.71
N° 100	0.15	0.98	0.09	68.38	31.62
N° 200	0.074	0.04	0.00	68.38	31.62
PLATO	0.00	348.7	31.62	100.00	0.00
TOTAL		1,102.95	100.00		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 9: Calicata N°2 (Cálculo del D50)

Cu : 5.47
Cc : 1772.35

CALCULO DE DIAMETROS	
D10	
ABERTURA	%PASA
0.07	21.09
0.0350816	10
0.00	0.00
D30	
ABERTURA	%PASA
2.38	31.48
2.2484071	30
2.00	27.20
D50	
ABERTURA	%PASA
9.50	51.34
8.9604476	50
6.35	43.52
D60	
ABERTURA	%PASA
12.50	60.62
12.299285	60
9.50	51.34
D95	
ABERTURA	%PASA
50.00	100.00
47.708484	95
40.00	78.18

Fuente: Elaboración Propia

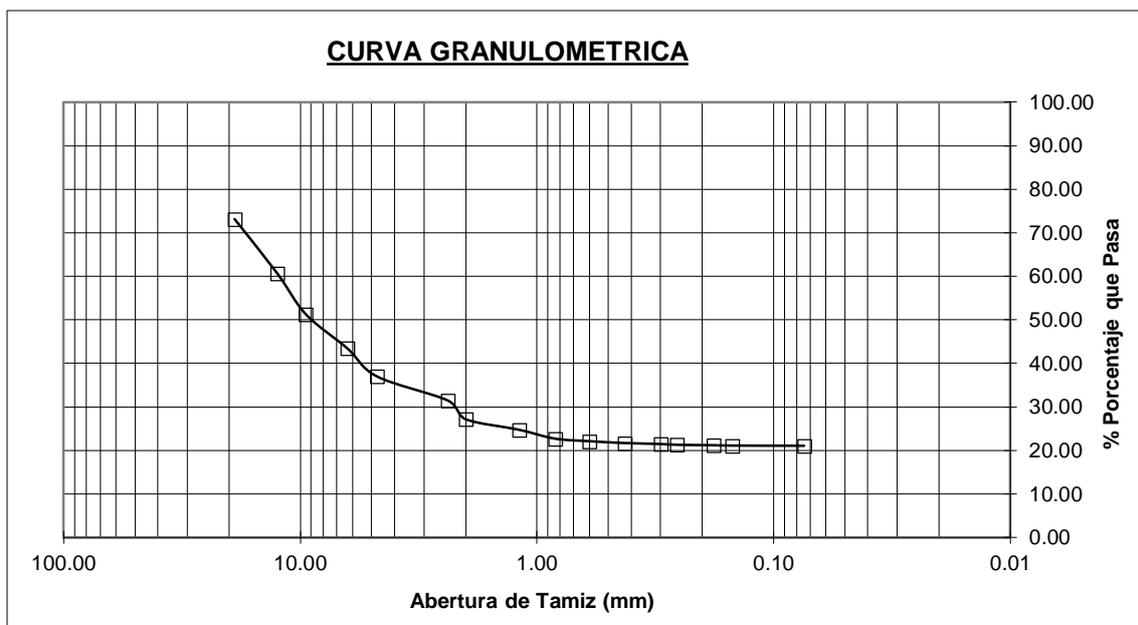


Gráfico 2: Calicata N°2 (Curva Granulométrica)

Fuente: Elaboración Propio

Muestra 3:

La muestra 3 fue tomada aguas abajo del puente, muy cerca a éste y en todo su eje.

Tabla 10: Calicata N°3 (Aguas abajo)

TAMIZ	ABERTURA	PESO	% RET.	% RET.	% PASA
		RET.	PARC.	ACUM.	
N°	mm				
N° 2 1/2"	63	0	0.00	0.00	100.00
N° 2"	50	0	0.00	0.00	100.00
N° 1 1/2"	40	0	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	398.75	29.88	29.88	70.12
3/4"	19.00	295.6	22.15	22.15	77.85
1/2"	12.50	195.6	14.66	36.81	63.19
3/8"	9.50	89.7	6.72	43.53	56.47
1/4"	6.35	65.3	4.89	48.42	51.58
N° 4	4.75	54.3	4.07	52.49	47.51
N° 8	2.38	325	24.35	76.84	23.16
N° 10	2.00	43.5	3.26	80.10	19.90
N° 16	1.19	25.98	1.95	82.05	17.95
N° 20	0.84	17.8	1.33	83.38	16.62
N° 30	0.60	6.54	0.49	83.87	16.13
N° 40	0.425	5.42	0.41	84.28	15.72
N° 50	0.30	3.2	0.24	84.52	15.48
N° 60	0.26	1.23	0.09	84.61	15.39
N° 80	0.18	0.99	0.07	84.69	15.31
N° 100	0.15	0.65	0.05	84.73	15.27
N° 200	0.074	0.32	0.02	84.76	15.24
PLATO	0.00	203.4	15.24	100.00	0.00
TOTAL		1,334.53	100.00		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 11: Calicata N°3 (Cálculo del D50)

Cu : 3.64
Cc : 2116.35

CALCULO DE DIAMETROS	
D10	
ABERTURA	%PASA
0.07	15.24
0.04855222	10
0.00	0.00
D30	
ABERTURA	%PASA
4.75	47.51
3.04599917	30
2.38	23.16
D50	
ABERTURA	%PASA
6.35	51.58
5.72930018	50
4.75	47.51
D60	
ABERTURA	%PASA
12.50	63.19
11.0748495	60
9.50	56.47
D95	
ABERTURA	%PASA
40.00	100.00
37.5568479	95
25.40	70.12

Fuente: Elaboración Propia

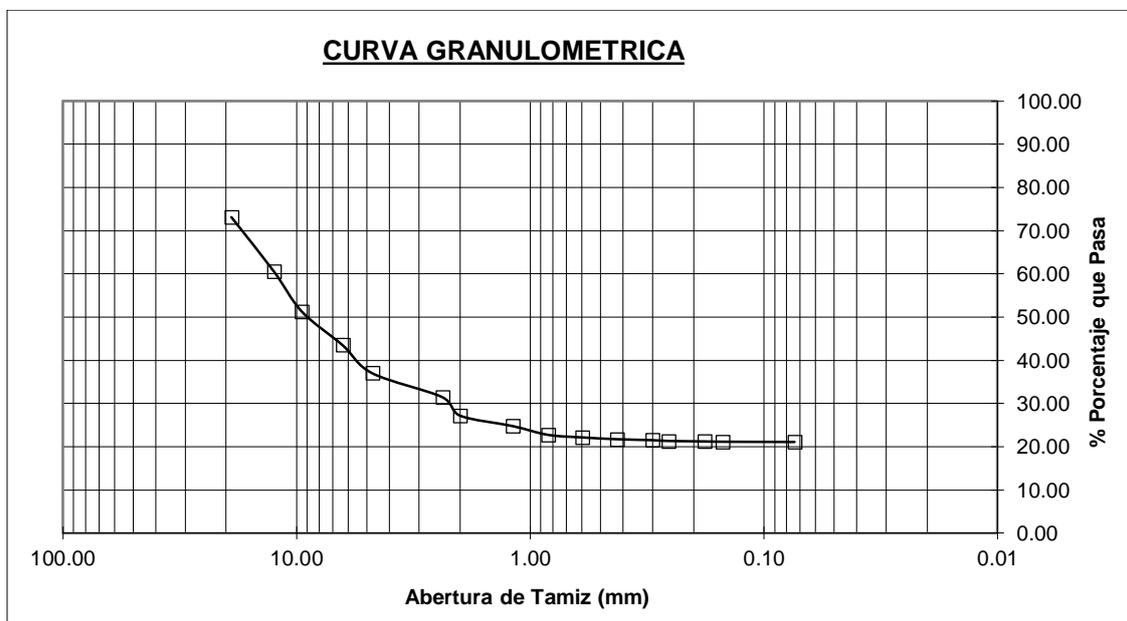


Gráfico 3: Calicata N°3 (Curva Granulométrica)

Fuente: Elaboración Propia

Muestra 4:

La muestra 4 fue tomada en el eje del río, 50 m aguas debajo de puente.

Tabla 12: Calicata N°4 (Aguas abajo)

TAMIZ	ABERTURA	PESO	% RET.	% RET.	% PASA
		RET.	PARC.	ACUM.	
N°	mm				
N° 2 1/2"	63	0	0.00	0.00	100.00
N° 2"	50	0	0.00	0.00	100.00
N° 1 1/2"	40	324.45	21.87	21.87	78.13
1"	25.40	256.8	17.31	17.31	82.69
3/4"	19.00	198.3	13.37	13.37	86.63
1/2"	12.50	365	24.60	37.97	62.03
3/8"	9.50	234	15.77	53.74	46.26
1/4"	6.35	69.8	4.70	58.45	41.55
N° 4	4.75	43.9	2.96	61.41	38.59
N° 8	2.38	31.23	2.11	63.51	36.49
N° 10	2.00	29.65	2.00	65.51	34.49
N° 16	1.19	22.1	1.49	67.00	33.00
N° 20	0.84	18.65	1.26	68.26	31.74
N° 30	0.60	7.689	0.52	68.77	31.23
N° 40	0.425	5.213	0.35	69.13	30.87
N° 50	0.30	3.887	0.26	69.39	30.61
N° 60	0.26	2.485	0.17	69.55	30.45
N° 80	0.18	1.34	0.09	69.65	30.35
N° 100	0.15	0.98	0.07	69.71	30.29
N° 200	0.074	0.56	0.04	69.75	30.25
PLATO	0.00	448.8	30.25	100.00	0.00
TOTAL		1,483.58	100.00		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 13: Calicata N°4 (Cálculo)

Cu : 165.07
Cc : 2.67

CALCULO DE DIAMETROS	
D10	
ABERTURA	%PASA
0.07	30.25
0.02446195	10
0.00	0.00
D30	
ABERTURA	%PASA
0.07	30.25
0.07338584	30
0.00	0.00
D50	
ABERTURA	%PASA
12.50	62.03
10.211641	50
9.50	46.26
D60	
ABERTURA	%PASA
12.50	62.03
12.1136718	60
9.50	46.26
D95	
ABERTURA	%PASA
50.00	100.00
47.7136939	95
40.00	78.13

Fuente: Elaboración Propia

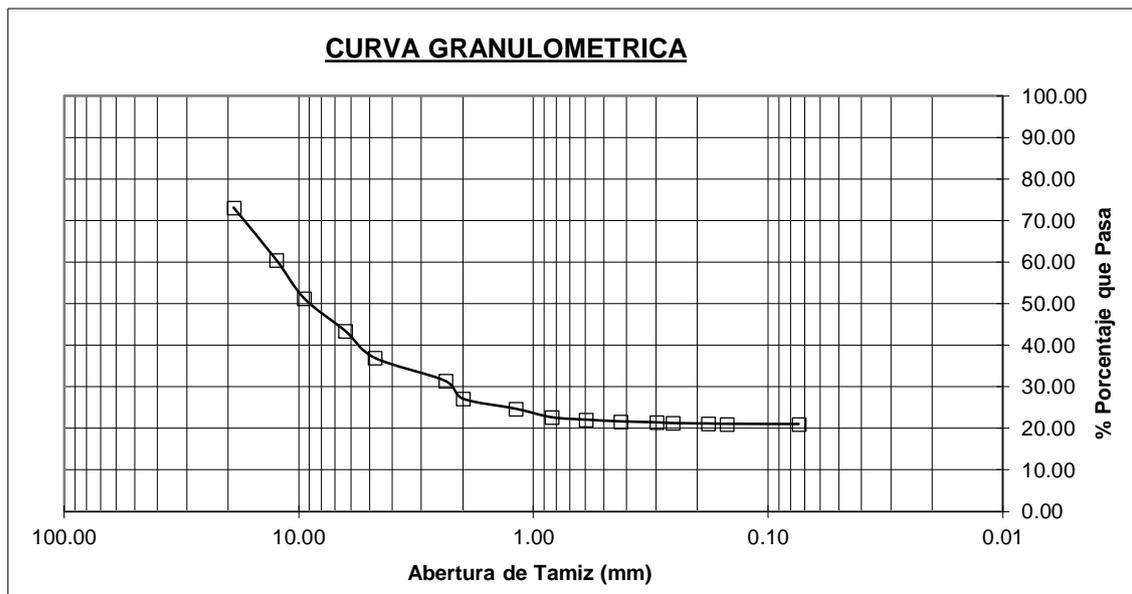


Gráfico 4: Calicata N°4 (Curva Granulométrica)

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 14: Cuadro Resumen de Estudio de Suelos

Sondaje					
Muestra		AAR-4	AAR-2	AAB-1	AAB-2
Profundidad					
TAMIZ	ABERTURA				
Nº	mm				
Nº 2 1/2"	63	100.00	100.00	100.00	100.00
Nº 2"	50	100.00	100.00	100.00	100.00
Nº 1 1/2"	40	100.00	78.18	100.00	78.13
1"	25.40	76.90	56.25	70.12	82.69
3/4"	19.00	78.51	73.21	77.85	86.63
1/2"	12.50	61.56	60.62	63.19	62.03
3/8"	9.50	52.27	51.34	56.47	46.26
1/4"	6.35	44.17	43.52	51.58	41.55
Nº 4	4.75	40.03	37.04	47.51	38.59
Nº 8	2.38	38.07	31.48	23.16	36.49
Nº 10	2.00	36.50	27.20	19.90	34.49
Nº 16	1.19	35.12	24.77	17.95	33.00
Nº 20	0.84	34.08	22.74	16.62	31.74
Nº 30	0.60	33.23	22.15	16.13	31.23
Nº 40	0.425	32.54	21.72	15.72	30.87
Nº 50	0.30	32.03	21.51	15.48	30.61
Nº 60	0.26	31.82	21.32	15.39	30.45
Nº 80	0.18	31.71	21.22	15.31	30.35
Nº 100	0.15	31.62	21.14	15.27	30.29
Nº 200	0.074	31.62	21.09	15.24	30.25

Fuente: Elaboración Propia

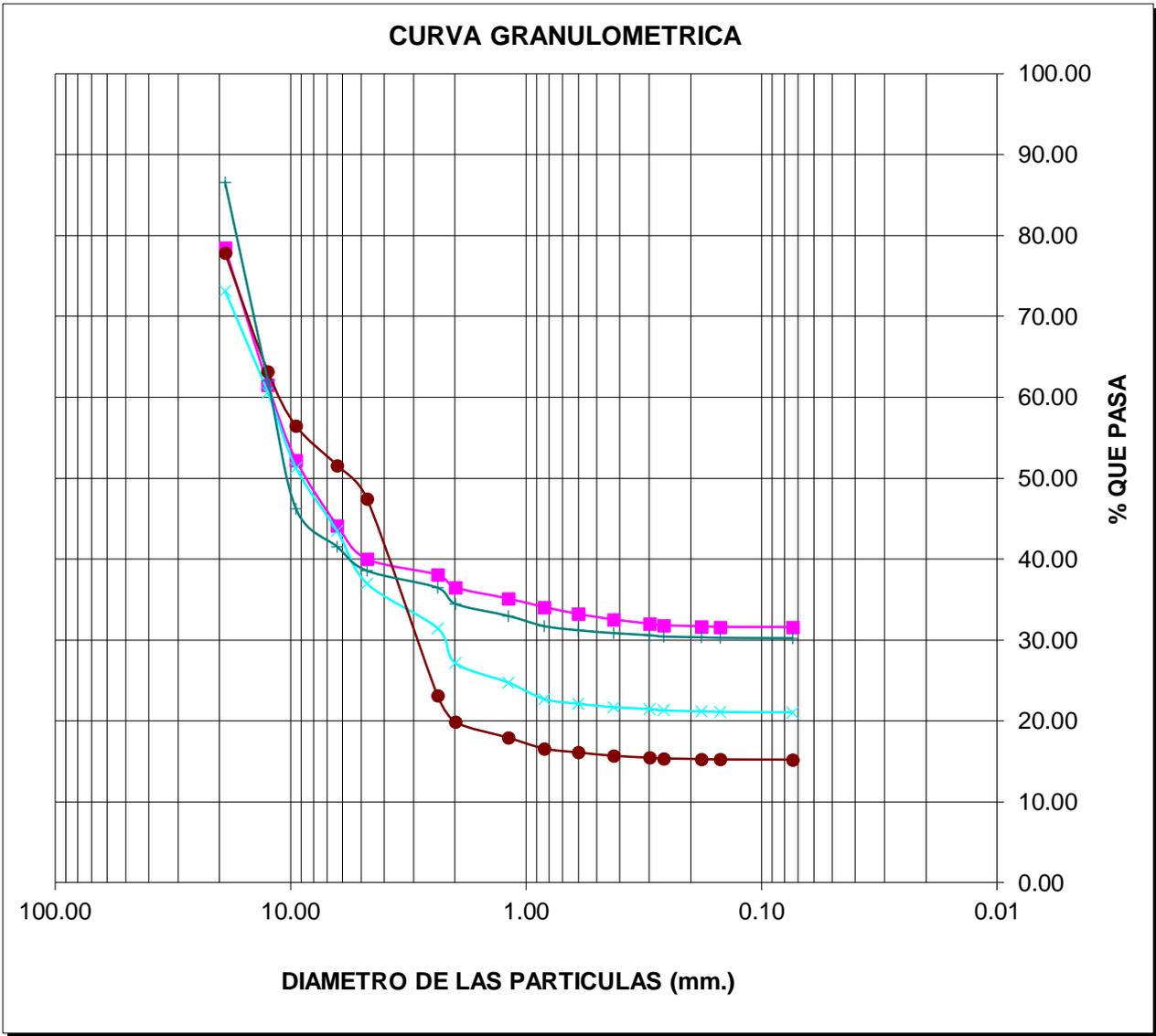


Gráfico 5: Cuadro Resumen de Curvas Granulométricas

Fuente: Elaboración Propia

4.2. Hidrología:

Con los registros de la data histórica de la estación del Salinar (hasta el año 1983) y la data de la estación El Tambo (del año 1984 hasta 2017), se aplicaron los cálculos hidrológicos en el programa Hidroesta para las 8 distribuciones, de las cuales las que cumplían la siguiente condición “delta tabular > delta teórico” son las siguientes y hallamos el promedio.

Tabla 15: Resumen de Distribuciones

DISTRIBUCIONES	Caudal (m³/seg)			Delta	Delta
	50 años	100 años	500 años	Teórico	Tabular
Log. Normal 2	968.98	1217.54	1932.86	0.0708	0.1984
Parámetros					
Log. Normal 3	1105.26	1439.21	2462.75	0.0747	0.1984
Parámetros					
Log Pearson Tipo III	1083.03	1420.42	2489.38	0.06781	0.1984
PROMEDIO	1052.42	1359.06	2295.00		

Fuente: Elaboración Propia

4.3. Topografía:

Se realizó el levantamiento topográfico para el que se usó un drone Dji Panthom 4. Se abarcaron 2+404.00 a lo largo, y 0+675.00 m de ancho; 1+384.00 aguas arriba y 1+020.00 aguas abajo.

Los datos fueron procesados con el programa Autocad Civil 3D y Arc Gis, para luego poder trabajarla en los modelamientos con los programas HEC-RAS e IBER.

Se obtuvo la pendiente: $S = 0.58\%$

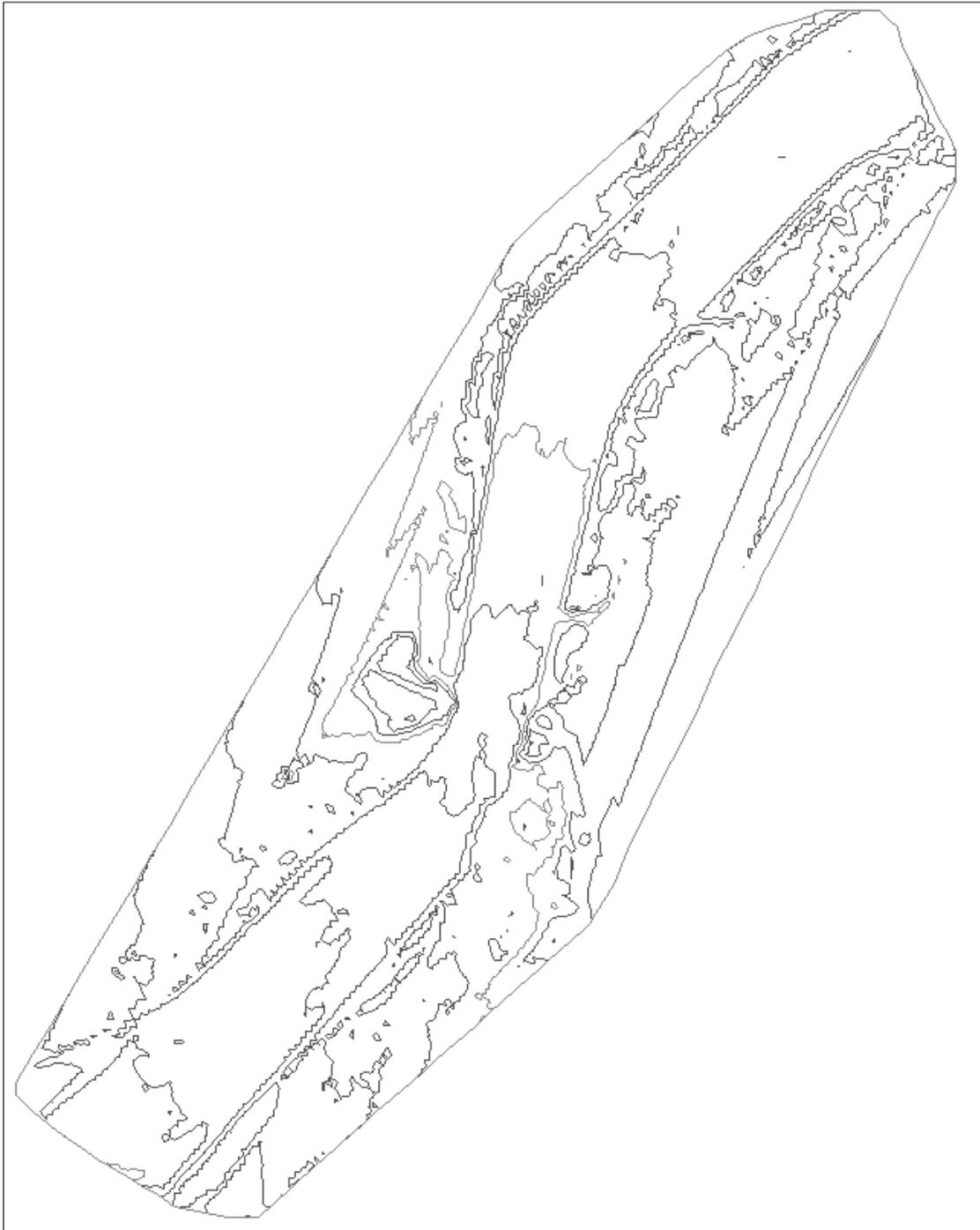


Figura 28: Curvas de nivel del río Chicama, tramo Puente Victoria, 2404 m.

Fuente: Elaboración propia

4.4. Modelamiento Unidimensional:

Se modeló el cauce con los tres caudales en el programa HEC RAS, se corrió el modelo y se analizó la socavación local por el método de la Universidad Estatal de Colorado (CSU) y con respecto a la socavación general se analizó por el método de Lischtván & Lebediev; para luego proceder a realizar la suma de ambas y así obtener la socavación total.

4.4.1. Modelamiento:

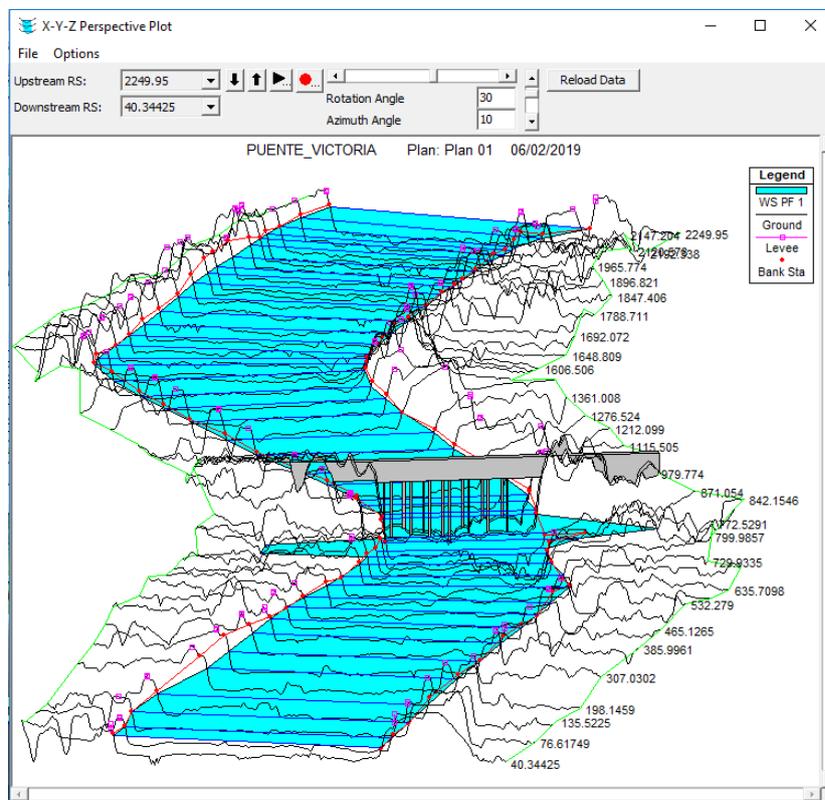


Figura 29: Modelamiento del cauce y pilares en HEC RAS.

Fuente: Elaboración propia

4.4.2. Socavación local (CSU):

- Método de la Universidad Estatal de Colorado (CSU):

Se hizo el cálculo de la socavación local en cada uno de los pilares y también de los caudales.

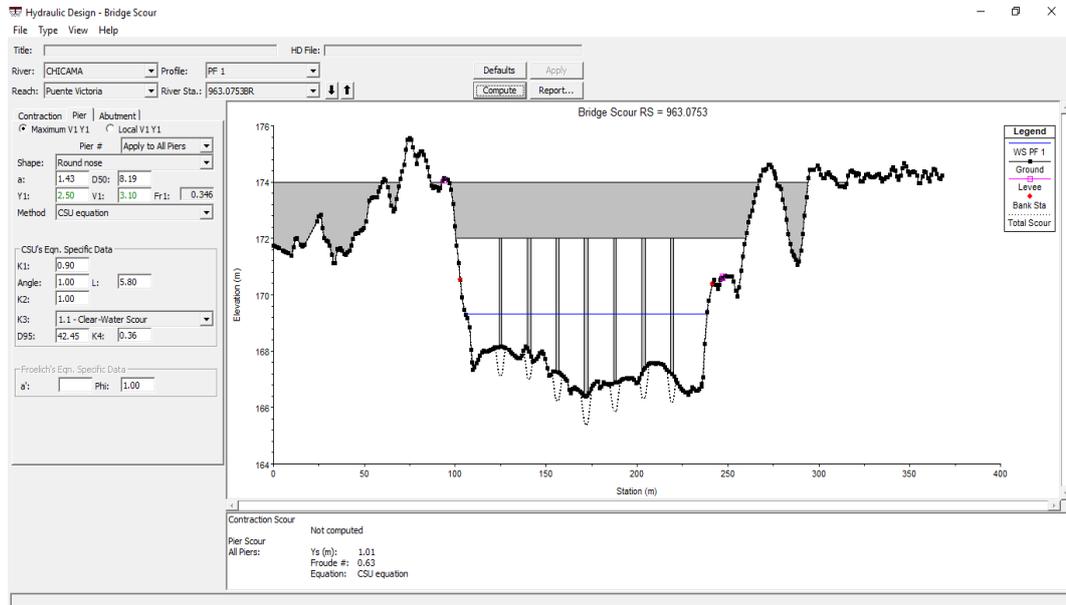


Figura 30: Modelamiento del cauce y pilares en HEC RAS.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16: Método CSU. Socavación local (Ds) – 50 años periodo de retorno

T (años)	Q (m³/s)	Nº Pilar	Forma del pilar	K1	K2	K3	K4	a	L	Ds
50	1052.42	1	Pila punta aguda	0.9	1	1.1	0.36	1.43	5.80	1.18
		2	Grupo cilindros	1	1	1.1	0.34	2.13	6.02	1.58
		3	Pila punta aguda	0.9	1	1.1	0.36	1.43	5.80	1.01
		4	Grupo cilindros	1	1	1.1	0.35	2.13	6.02	1.63
		5	Pila punta aguda	0.9	1	1.1	0.35	1.43	5.80	0.99
		6	Grupo cilindros	1	1	1.1	0.31	2.13	6.02	1.44
		7	Pila punta aguda	0.9	1	1.1	0.37	1.43	5.80	1.16

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 17: Método CSU. Socavación local (Ds) – 100 años periodo de retorno

T (años)	Q (m3/s)	Nº Pilar	Forma del pilar	K1	K2	K3	K4	a	L	Ds
100	1359.06	1	Pila punta aguda	0.9	1	1.1	0.4 5	1.4 3	5.8 0	1.55
		2	Grupo cilindros	1	1	1.1	0.4 5	2.1 3	6.0 2	1.64
		3	Pila punta aguda	0.9	1	1.1	0.4 5	1.4 3	5.8 0	1.55
		4	Grupo cilindros	1	1	1.1	0.4 5	2.1 3	6.0 2	1.64
		5	Pila punta aguda	0.9	1	1.1	0.4 5	1.4 3	5.8 0	1.55
		6	Grupo cilindros	1	1	1.1	0.4 5	2.1 3	6.0 2	1.64
		7	Pila punta aguda	0.9	1	1.1	0.4 5	1.4 3	5.8 0	1.55

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 18: Método CSU. Socavación local (Ds) – 500 años periodo de retorno

T (años)	Q (m3/s)	Nº Pilar	Forma del pilar	K1	K2	K3	K4	a	L	Ds
500	2295.00	1	Pila punta aguda	0.9	1	1.1	0.45	1.43	5.80	1.60
		2	Grupo cilindros	1	1	1.1	0.45	2.13	6.02	2.30
		3	Pila punta aguda	0.9	1	1.1	0.45	1.43	5.80	1.60
		4	Grupo cilindros	1	1	1.1	0.45	2.13	6.02	2.30
		5	Pila punta aguda	0.9	1	1.1	0.45	1.43	5.80	1.60
		6	Grupo cilindros	1	1	1.1	0.45	2.13	6.02	2.30
		7	Pila punta aguda	0.9	1	1.1	0.45	1.43	5.80	1.60

Fuente: Elaboración Propia

4.4.3. Socavación general (Levediev):

Tabla 19: Método Levediev. Socavación general (Hs) – 50 años periodo de retorno

Q1																								
SECCIÓN HIDRÁULICA	ELEVACIÓN DEL TERRENO NATURAL SIN SOCAVACIÓN		ELEVACIÓN DEL FONDO DE RÍO CON SOCAVACIÓN	CAUDAL DE DISEÑO	ANCHO DEL ESPEJO DE AGUA	COEF. DE CONTRACCIÓN	COEF. BETA	ESTRADOS DE PERFIL DEL SUELO			TIRANTE EN LA PRORESIVA	COEF. ALFA	SOCAVACIÓN GENERAL	SOCAVACIÓN BUSCADA	PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN	PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN PROMEDIO								
	(m.s.n.m)	(m.s.n.m)						Q	B	u							β	TIPO DE MATERIAL		T	a=(Q/45/3 B u)	ts	(ts) (m)	(Hs)
																		NO COHESIVO	NO COHESIVO					
													Hs = ts - t	(Hs)										
2249.95	171.92	175.06	174.27	1052.42	485.85	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.14	0.32	0.79	0.79	2.35									
2192.338	172.26	174.95	174.23	1052.42	448.8	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.69	0.46	0.72	0.72	1.97									
2147.204	172.4	174.87	174.17	1052.42	441.26	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.47	0.53	0.7	0.7	1.77									
2120.578	172.18	174.79	174.18	1052.42	416.4	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.61	0.52	0.61	0.61	2									
2100.474	172.29	174.75	174.16	1052.42	411.16	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.46	0.58	0.59	0.59	1.87									
2069.062	171.61	174.72	174.04	1052.42	425.47	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.11	0.38	0.68	0.68	2.43									
2014.48	172.26	174.59	174.01	1052.42	403.84	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.33	0.64	0.58	0.58	1.75									
1965.774	172.26	174.5	173.93	1052.42	405.71	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.24	0.68	0.57	0.57	1.67									
1938.874	172.32	174.37	173.97	1052.42	367.12	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.05	0.88	0.4	0.4	1.65									
1896.821	172.09	174.2	173.89	1052.42	348.28	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.11	0.88	0.31	0.31	1.8									
1847.406	171.73	173.75	173.75	1052.42	284.28	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.02	1.16	0	0	2.02									
1788.711	171.5	173.43	173.43	1052.42	284.26	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	1.93	1.25	0	0	1.93									
1738.678	171.3	173.12	173.12	1052.42	283.57	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	1.82	1.38	0	0	1.82									
1692.072	170.26	172.86	172.86	1052.42	285.04	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.6	0.76	0	0	2.6									
1648.809	170.5	172.63	172.55	1052.42	302.66	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.13	1.00	0.08	0.08	2.05									
1606.506	170.45	172.54	172.32	1052.42	336.45	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.09	0.92	0.22	0.22	1.87									
1581.343	170.49	172.43	172.25	1052.42	327.89	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	1.94	1.07	0.18	0.18	1.76									
1527.958	170.24	172.28	172.00	1052.42	342.17	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.04	0.95	0.28	0.28	1.76									
1469.114	169.95	171.77	171.77	1052.42	278.65	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	1.82	1.41	0	0	1.82									
1419.317	169.5	171.45	171.45	1052.42	274.96	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	1.95	1.27	0	0	1.95									
1361.008	168.97	171.16	171.11	1052.42	278.14	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.19	1.03	0.05	0.05	2.14									
1276.524	168.21	170.76	170.69	1052.42	278.91	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.55	0.80	0.07	0.07	2.48									
1212.099	167.73	170.34	170.34	1052.42	262.84	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.61	0.82	0	0	2.61	2.16								
1115.505	167.49	170.16	169.69	1052.42	323.02	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.67	0.64	0.47	0.47	2.2									
1057.641	167.24	170.12	169.36	1052.42	360.51	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.88	0.51	0.76	0.76	2.12									
979.774	166.4	169.96	169.18	1052.42	351.23	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.56	0.36	0.78	0.78	2.78									
963.0753	166.35	169.3	169.23	1052.42	324.1	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.95	0.54	0.07	0.07	2.88									
942.4593	166.12	168.74	168.74	1052.42	240.55	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.62	0.89	0	0	2.62									
871.054	164.74	168.19	167.96	1052.42	273.05	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.45	0.49	0.23	0.23	3.22									
842.1546	164.42	168.27	167.82	1052.42	331.96	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.85	0.34	0.45	0.45	3.4									
823.9932	164.81	167.76	167.76	1052.42	248.08	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.95	0.71	0	0	2.95									
799.9857	164.97	167.63	167.63	1052.42	253.72	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.66	0.82	0	0	2.66									
772.5291	165.05	167.28	167.28	1052.42	256.83	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.23	1.09	0	0	2.23									
729.9335	164.8	166.84	166.84	1052.42	270.49	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.04	1.20	0	0	2.04									
692.3936	164.38	166.53	166.53	1052.42	279.07	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.15	1.06	0	0	2.15									
635.7098	164.08	166.16	166.16	1052.42	282.2	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.08	1.11	0	0	2.08									
589.8589	163.9	165.92	165.79	1052.42	309.56	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.02	1.06	0.13	0.13	1.89									
532.279	163.56	165.68	165.56	1052.42	310.3	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.12	0.98	0.12	0.12	2									
465.1265	163.42	165.41	165.27	1052.42	314.23	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	1.99	1.07	0.14	0.14	1.85									
385.9961	162.97	165.03	164.94	1052.42	303.56	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.06	1.05	0.09	0.09	1.97									
307.0302	162.62	164.78	164.55	1052.42	330.81	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.16	0.89	0.23	0.23	1.93									
198.1459	162.11	164.14	164.14	1052.42	293.55	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.03	1.11	0	0	2.03									
135.5225	161.64	163.54	163.44	1052.42	318.12	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	1.9	1.15	0.1	0.1	1.8									
76.61749	161.27	163.12	163.12	1052.42	292.3	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	1.85	1.30	0	0	1.85									
40.34425	160.28	162.85	162.78	1052.42	306.97	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.57	0.72	0.07	0.07	2.5									

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 20: Método Levediev. Socavación general (Hs) – 100 años periodo de retorno

Q2																											
SECCIÓN HIDRÁULICA	ELEVACIÓN DEL TERRENO NATURAL SIN SOCACAVACIÓN		ELEVACIÓN DEL FONDO DE RÍO CON SOCACAVACIÓN	CAUDAL DE DISEÑO	ANCHO DEL ESPEJO DE AGUA	COEFICIENTE DE CONTRACCIÓN	COEFICIENTE BETA	ESTRADOS DE PERFIL DEL SUELO	TIRANTE EN LA PRORESIVA	COEFICIENTE ALFA	SOCACAVACIÓN GENERAL		SOCACAVACIÓN BUSCADA	PROFUNDIDAD DE SOCACAVACIÓN (Hs)	PROFUNDIDAD DE SOCACAVACIÓN PROMEDIO (Hs)												
	(m.s.n.m)	(m.s.n.m)									Q	B				u	β	TIPO DE MATERIAL		T	NO COHESIVO		a=(Q/15/3 B u)	ts	(ts) (m)	Hs = ts - t	
																		(1) o (2)	Dm		X	NO COHESIVO					NO COHESIVO
2249.95	171.92	175.41	174.51	1359.06	569.52	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.49	0.30	0.9	0.9	2.59												
2192.338	172.26	175.29	174.48	1359.06	524.09	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.03	0.41	0.81	0.81	2.22												
2147.204	172.4	175.21	174.42	1359.06	513.98	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.81	0.48	0.79	0.79	2.02												
2120.578	172.18	175.12	174.44	1359.06	485.63	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.94	0.47	0.68	0.68	2.26												
2100.474	172.29	175.07	174.42	1359.06	479.43	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.78	0.52	0.65	0.65	2.13												
2069.062	171.61	175.04	174.3	1359.06	492.72	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.43	0.36	0.74	0.74	2.69												
2014.48	172.26	174.9	174.27	1359.06	468.34	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.64	0.58	0.63	0.63	2.01												
1965.774	172.26	174.81	174.19	1359.06	470.7	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.55	0.61	0.62	0.62	1.93												
1938.874	172.32	174.66	174.23	1359.06	428.34	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.34	0.78	0.43	0.43	1.91												
1896.821	172.09	174.48	174.15	1359.06	405.47	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.39	0.79	0.33	0.33	2.06												
1847.406	171.73	174.02	174.02	1359.06	337.97	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.29	1.02	0	0	2.29												
1788.711	171.5	173.72	173.69	1359.06	327.75	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.22	1.11	0.03	0.03	2.19												
1738.678	171.3	173.4	173.39	1359.06	322.79	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.1	1.23	0.01	0.01	2.09												
1692.072	170.26	173.2	173.12	1359.06	331.16	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.94	0.69	0.08	0.08	2.86												
1648.809	170.5	172.9	172.81	1359.06	305.01	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.4	1.05	0.09	0.09	2.31												
1606.506	170.45	172.82	172.57	1359.06	394.71	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.37	0.83	0.25	0.25	2.12												
1581.343	170.49	172.73	172.5	1359.06	393.36	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.24	0.91	0.23	0.23	2.01												
1527.958	170.24	172.59	172.26	1359.06	407.85	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.35	0.81	0.33	0.33	2.02												
1469.114	169.95	172.04	172.04	1359.06	330.17	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.09	1.22	0	0	2.09												
1419.317	169.5	171.99	171.73	1359.06	313.62	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.49	0.96	0.26	0.26	2.23												
1361.008	168.97	171.44	171.4	1359.06	328.44	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.47	0.93	0.04	0.04	2.43												
1276.524	168.21	171.07	170.99	1359.06	330.73	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.86	0.72	0.08	0.08	2.78												
1212.099	167.73	170.65	170.65	1359.06	313.42	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.92	0.73	0	0	2.92												
1115.505	167.49	170.56	170.02	1359.06	383.91	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.07	0.55	0.54	0.54	2.53												
1057.641	167.24	170.53	169.7	1359.06	419.9	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.29	0.45	0.83	0.83	2.46												
979.774	166.4	170.34	169.54	1359.06	402.83	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.94	0.35	0.8	0.8	3.14												
963.0753	166.35	169.96	169.31	1359.06	365.25	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.61	0.44	0.65	0.65	2.96												
942.4593	166.12	169.35	169.11	1359.06	230.9	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.23	0.84	0.24	0.24	2.99												
871.054	164.74	168.92	168.33	1359.06	225.53	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	4.18	0.56	0.59	0.59	3.59												
842.1546	164.42	168.71	168.1	1359.06	408.61	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	4.29	0.30	0.61	0.61	3.68												
823.9932	164.81	168.11	168.11	1359.06	298.57	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.3	0.63	0	0	3.3												
799.9857	164.97	168.05	167.96	1359.06	276.15	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.08	0.76	0.09	0.09	2.99												
772.5291	165.05	167.86	167.61	1359.06	246.31	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.81	1.00	0.25	0.25	2.56												
729.9335	164.8	167.49	167.12	1359.06	244.31	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.69	1.08	0.37	0.37	2.32												
692.3936	164.38	166.99	166.8	1359.06	277.82	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.61	1.00	0.19	0.19	2.42												
635.7098	164.08	166.68	166.42	1359.06	328.99	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.6	0.85	0.26	0.26	2.34												
589.8589	163.9	166.42	166.05	1359.06	293.28	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.52	1.00	0.37	0.37	2.15												
532.279	163.56	165.94	165.82	1359.06	363.4	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.38	0.89	0.12	0.12	2.26												
465.1265	163.42	165.67	165.53	1359.06	366.89	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.25	0.97	0.14	0.14	2.11												
385.9961	162.97	165.27	165.2	1359.06	354.43	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.3	0.97	0.07	0.07	2.23												
307.0302	162.62	165.01	164.81	1359.06	378.84	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.39	0.85	0.2	0.2	2.19												
198.1459	162.11	164.39	164.39	1359.06	348.34	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.28	1.00	0	0	2.28												
135.5225	161.64	163.97	163.68	1359.06	271.35	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.33	1.24	0.29	0.29	2.04												
76.61749	161.27	163.37	163.37	1359.06	346.66	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.1	1.15	0	0	2.1												
40.34425	160.28	163.28	163.03	1359.06	298.26	0.99	1	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3	0.74	0.25	0.25	2.75												

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 21: Método Levediev. Socavación general (Hs) – 50 años periodo de retorno

Q3																										
SECCIÓN HIDRÁULICA	ELEVACIÓN DEL TERRENO NATURAL SIN SOCAVACIÓN		ELEVACIÓN DEL FONDO DE RÍO CON SOCAVACIÓN	CAUDAL DE DISEÑO	ANCHO DEL ESPEJO DE AGUA	COEFICIENTE DE CONTRACCIÓN	COEFICIENTE BETA	ESTRADOS DE PERFIL DEL SUELO	TIRANTE EN LA PRORESIVA	COEFICIENTE ALFA	SOCAVACIÓN GENERAL	SOCAVACIÓN BUCADA	PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN	PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN PROMEDIO	Q3											
	(m.s.n.m)	(m.s.n.m)													Q	B	u	β	TIPO DE MATERIAL	NO COHESIVO		NO COHESIVO		Hs = ts - t	(Hs)	
																				Dm	X	T	ts			(ts) (m)
2249.95	171.92	176.32	175.14	2295	789.23	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	4.4	0.25	1.18	1.18	3.22											
2192.338	172.26	176.16	175.14	2295	721.27	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.9	0.33	1.02	1.02	2.88											
2147.204	172.4	176.07	175.09	2295	705.35	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.67	0.38	0.98	0.98	2.69											
2120.578	172.18	175.96	175.12	2295	667.26	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.78	0.38	0.84	0.84	2.94											
2100.474	172.29	175.91	175.1	2295	658.37	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.62	0.41	0.81	0.81	2.81											
2069.062	171.61	175.87	174.99	2295	669.35	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	4.26	0.31	0.88	0.88	3.38											
2014.48	172.26	175.71	174.96	2295	638.24	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.45	0.46	0.75	0.75	2.7											
1965.774	172.26	175.62	174.88	2295	642.86	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.36	0.48	0.74	0.74	2.62											
1938.874	172.32	175.43	174.92	2295	591.14	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.11	0.59	0.51	0.51	2.6											
1896.821	172.09	175.21	174.85	2295	556.96	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.12	0.62	0.36	0.36	2.76											
1847.406	171.73	174.71	174.71	2295	481.1	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.98	0.78	0	0	2.98											
1788.711	171.5	174.45	174.38	2295	453.23	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.95	0.84	0.07	0.07	2.88											
1738.678	171.3	174.92	174.09	2295	446.7	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.62	0.61	0.83	0.83	2.79											
1692.072	170.26	174.04	173.82	2295	466.45	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.78	0.54	0.22	0.22	3.56											
1648.809	170.5	173.81	173.49	2295	427.77	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.31	0.74	0.32	0.32	2.99											
1606.506	170.45	173.61	173.25	2295	567.76	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.16	0.60	0.36	0.36	2.8											
1581.343	170.49	173.55	173.17	2295	574.03	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.06	0.63	0.38	0.38	2.68											
1527.958	170.24	173.44	172.95	2295	586.54	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.2	0.57	0.49	0.49	2.71											
1469.114	169.95	172.76	172.76	2295	468.94	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.81	0.88	0	0	2.81											
1419.317	169.5	172.57	172.47	2295	446.18	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.07	0.80	0.1	0.1	2.97											
1361.008	168.97	172.3	172.18	2295	481.74	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.33	0.65	0.12	0.12	3.21											
1276.524	168.21	172.1	171.78	2295	509.23	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.89	0.47	0.32	0.32	3.57											
1212.099	167.73	171.98	171.46	2295	531.17	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	4.25	0.39	0.52	0.52	3.73											
1115.505	167.49	172.24	170.89	2295	850.13	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	4.75	0.20	1.35	1.35	3.4											
1057.641	167.24	172.2	170.58	2295	900.67	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	4.96	0.18	1.62	1.62	3.34											
979.774	166.4	171.77	170.48	2295	627.08	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	5.37	0.22	1.29	1.29	4.08											
963.0753	166.33	171.09	170.24	2295	485.21	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	4.76	0.35	0.85	0.85	3.91											
942.4593	166.12	170.59	170.07	2295	321.9	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	4.47	0.59	0.52	0.52	3.95											
871.054	164.74	169.78	169.44	2295	313.71	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	5.04	0.50	0.34	0.34	4.7											
842.1546	164.42	169.17	169.06	2295	315.26	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	4.75	0.55	0.11	0.11	4.64											
823.9932	164.81	169.17	169.17	2295	498.38	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	4.36	0.40	0	0	4.36											
799.9857	164.97	168.98	168.73	2295	407.53	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	4.01	0.56	0.25	0.25	3.76											
772.5291	165.05	168.89	168.34	2295	356.57	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.84	0.69	0.55	0.55	3.29											
729.9335	164.8	168.31	168.03	2295	337.22	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.51	0.85	0.28	0.28	3.23											
692.3936	164.38	167.93	167.56	2295	357.26	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.55	0.79	0.37	0.37	3.18											
635.7098	164.08	167.79	167.14	2295	430.29	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.71	0.61	0.65	0.65	3.06											
589.8589	163.9	166.82	166.76	2295	410.49	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.92	0.95	0.06	0.06	2.86											
532.279	163.56	166.62	166.51	2295	504.83	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.06	0.71	0.11	0.11	2.95											
465.1265	163.42	166.37	166.22	2295	511.51	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.95	0.75	0.15	0.15	2.8											
385.9961	162.97	165.89	165.89	2295	482.92	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.92	0.80	0	0	2.92											
307.0302	162.62	165.54	165.5	2295	489.71	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.92	0.79	0.04	0.04	2.88											
198.1459	162.11	165.04	165.04	2295	495.59	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.93	0.78	0	0	2.93											
135.5225	161.64	164.85	164.33	2295	388.74	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.21	0.85	0.52	0.52	2.69											
76.61749	161.27	164.19	163.98	2295	630.74	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	2.92	0.62	0.21	0.21	2.71											
40.34425	160.28	163.68	163.68	2295	493.47	0.99	1.05	NO COHESIVOS	8.19	0.3491	3.4	0.61	0	0	3.4											

Fuente: Elaboración Propia

Socavación por progresivas:

- Período de retorno = 50 años
Q = 1052.42 m³/s

Tabla 22: Progresiva del río Vs. Socavación

Progresiva (m)	Hs (m)
1115.51	2.20
1057.64	2.12
979.77	2.78
942.46	2.62
871.05	3.22
842.15	3.40

Elaboración: Propia

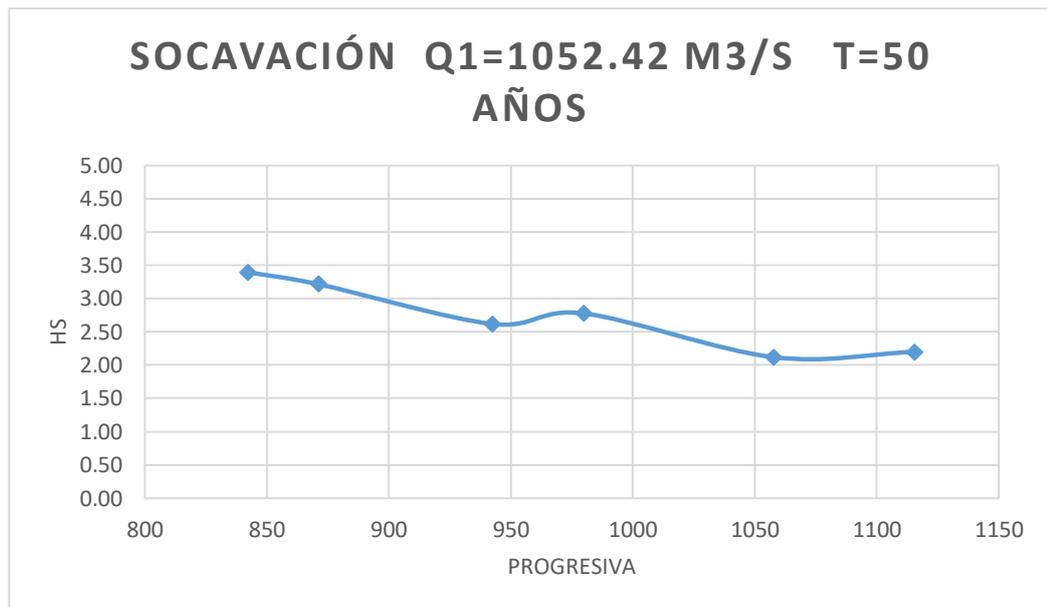


Gráfico 6: Comportamiento de la socavación 3 caudales arriba y 3 caudales abajo con periodo de retorno 50 años.

Fuente: Elaboración Propia

- Período de retorno = 100 años
Q = 1356.06 m³/s

Tabla 23: Progresiva del río Vs. Socavación

Progresiva (m)	Hs (m)
1115.51	2.53
1057.64	2.46
979.77	3.14
942.46	2.99
871.05	3.59
842.15	3.68

Elaboración: Propia

Gráfico N°##

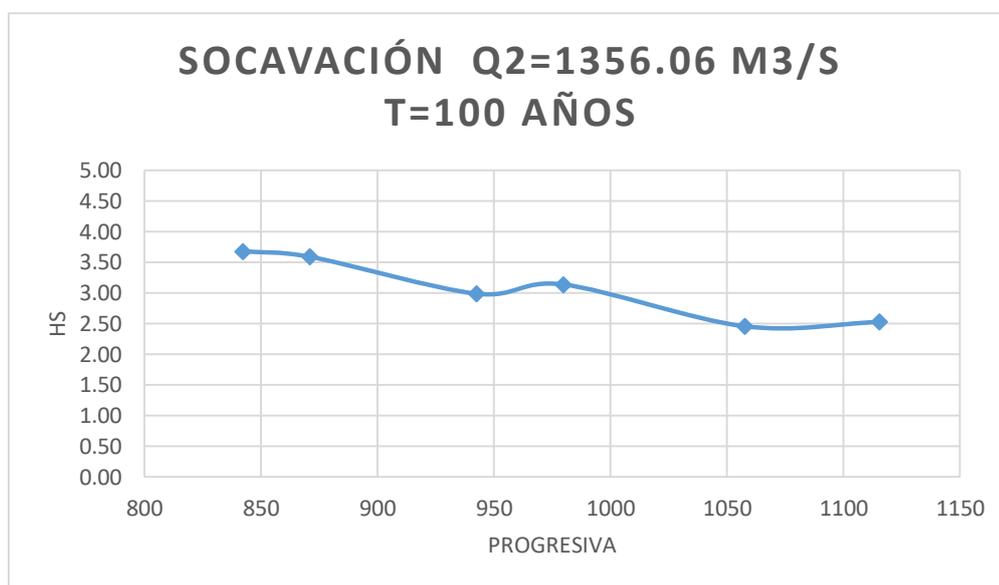


Gráfico 7: Comportamiento de la socavación 3 caudales arriba y 3 caudales abajo con periodo de retorno 100 años.

Fuente: Elaboración Propia

- Período de retorno = 500 años
Q = 2295 m³/s

Tabla 24: Progresiva del río Vs. Socavación

Progresiva (m)	Hs (m)
1115.51	3.40
1057.64	3.34
979.77	4.08

942.46	3.95
871.05	4.70
842.15	4.64

Elaboración: Propia

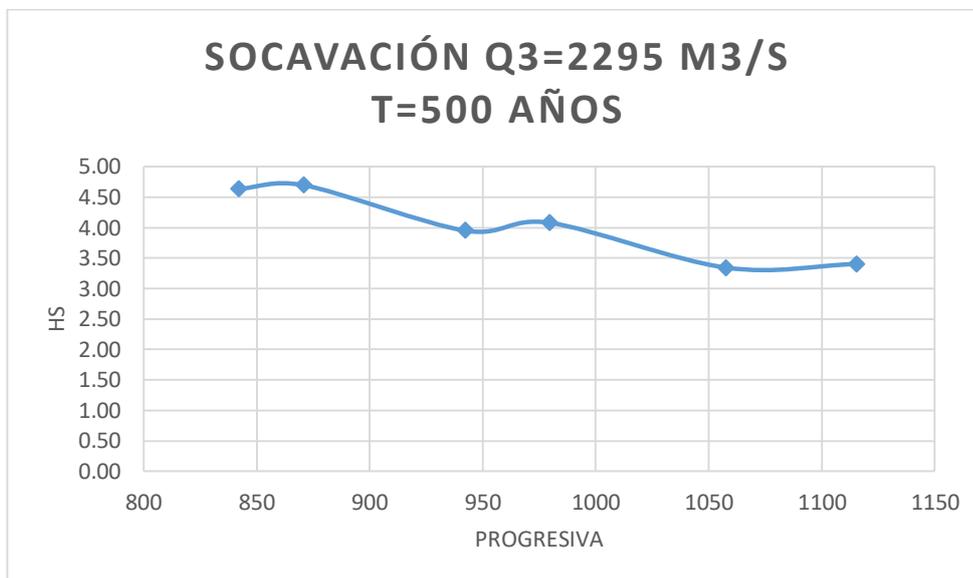


Gráfico 8: Comportamiento de la socavación 3 caudales arriba y 3 caudales abajo con periodo de retorno 500 años.

Fuente: Elaboración Propia

4.4.4. Socavación total:

Tabla 25: Socavación total modelamiento unidimensional – 50 años periodo de retorno

T (años)	Q (m3/s)	Nº Pilar	Forma del pilar	S. Local (Ds)	S. General (Hs)	S. Total
50	1052.42	1	Pila punta aguda	1.18	2.16	3.34
		2	Grupo cilindros	1.58	2.16	3.74
		3	Pila punta aguda	1.01	2.16	3.17
		4	Grupo cilindros	1.63	2.16	3.79
		5	Pila punta aguda	0.99	2.16	3.15
		6	Grupo cilindros	1.44	2.16	3.60

7	Pila punta aguda	1.16	2.16	3.32
---	------------------	------	------	------

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 26: Socavación total modelamiento unidimensional – 100 años periodo de retorno

T (años)	Q (m3/s)	Nº Pilar	Forma del pilar	S. Local (Ds)	S. General (Hs)	S. Total
100	1359.06	1	Pila punta aguda	1.55	2.43	3.98
		2	Grupo cilindros	1.64	2.43	4.07
		3	Pila punta aguda	1.55	2.43	3.98
		4	Grupo cilindros	1.64	2.43	4.07
		5	Pila punta aguda	1.55	2.43	3.98
		6	Grupo cilindros	1.64	2.43	4.07
		7	Pila punta aguda	1.55	2.43	3.98

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 27: Socavación total modelamiento unidimensional – 500 años periodo de retorno

T (años)	Q (m3/s)	Nº Pilar	Forma del pilar	S. Local (Ds)	S. General (Hs)	S. Total
500	2295	1	Pila punta aguda	1.60	3.18	4.78
		2	Grupo cilindros	2.30	3.18	5.48
		3	Pila punta aguda	1.60	3.18	4.78
		4	Grupo cilindros	2.30	3.18	5.48
		5	Pila punta aguda	1.60	3.18	4.78
		6	Grupo cilindros	2.30	3.18	5.48

7	Pila punta aguda	1.60	3.18	4.78
---	------------------	------	------	------

Fuente: Elaboración Propia

4.5. Modelamiento Bidimensional:

Se modelaron los tres caudales en el programa IBER y analizamos los resultados mediante los métodos de la Universidad Estatal de Colorado (CSU) para la socavación local y el método de Lischtván & Lebediev para socavación general. Por último, hallamos la socavación total.

4.5.1. Modelamiento:

Se realizaron los análisis para obtener el tirante, velocidad y Froude por los 4 lados del pilar en cada caudal.

Tabla 28: Tirante, Froude y velocidad para período de retorno 50 años

Q1= 1052.42		T= 50 años		
N° Pilar	Lado	Tirante	Froude	Velocidad
Pilar 1 (Punta aguda)	A.Arriba	3.727	0.074	0.449
	A.Abajo	1.065	2.068	6.685
	Derecha	1.555	1.531	5.979
	Izquierda	2.852	0.707	3.738
Pilar 2 (Circular)	A.Arriba	3.676	0.036	0.214
	A.Abajo	0.598	2.753	6.669
	Derecha	2.607	0.535	2.706
	Izquierda	2.940	0.405	2.173
Pilar 3 (Punta aguda)	A.Arriba	3.756	0.075	0.454
	A.Abajo	1.030	2.188	6.954
	Derecha	2.052	1.198	5.377
	Izquierda	2.741	0.853	3.396
Pilar 4 (Circular)	A.Arriba	3.712	0.032	0.191
	A.Abajo	0.697	2.563	6.699
	Derecha	2.465	0.408	2.998
	Izquierda	2.718	0.613	3.163
Pilar 5 (Punta aguda)	A.Arriba	3.513	0.138	0.811
	A.Abajo	0.946	2.263	6.894
	Derecha	2.283	0.934	4.419
	Izquierda	2.534	0.866	4.317

Fuente: elaboración propia

Tabla 29: Tirante, Froude y velocidad para período de retorno 100 años

Q2= 1356.06		T= 100 años		
N° Pilar	Lado	Tirante	Froude	Velocidad
Pilar 1 (Punta aguda)	A.Arriba	4.294	0.087	0.565
	A.Abajo	1.398	1.781	6.593
	Derecha	1.776	1.538	6.421
	Izquierda	3.351	0.691	3.961
Pilar 2 (Circular)	A.Arriba	4.255	0.037	0.240
	A.Abajo	0.735	1.934	5.193
	Derecha	3.013	0.540	2.934
	Izquierda	3.190	0.667	3.732
Pilar 3 (Punta aguda)	A.Arriba	4.329	0.068	0.445
	A.Abajo	2.120	1.193	5.438
	Derecha	2.337	1.232	5.897
	Izquierda	3.156	0.833	4.634
Pilar 4 (Circular)	A.Arriba	4.278	0.034	0.223
	A.Abajo	0.970	1.903	5.870
	Derecha	2.826	0.839	4.416
	Izquierda	3.122	0.619	3.426
Pilar 5 (Punta aguda)	A.Arriba	4.083	0.127	0.804
	A.Abajo	2.396	0.965	4.680
	Derecha	2.598	0.970	4.898
	Izquierda	2.937	0.861	4.623
Pilar 6 (Circular)	A.Arriba	3.376	0.079	0.457
	A.Abajo	0.729	2.195	5.870
	Derecha	2.199	0.963	4.471
	Izquierda	2.327	0.764	3.653
Pilar 7 (Punta aguda)	A.Arriba	2.769	0.145	0.755
	A.Abajo	0.834	2.087	5.969
	Derecha	1.309	1.708	6.119
	Izquierda	1.391	1.223	4.519

Fuente: elaboración propia

Tabla 30: Tirante, Froude y velocidad para período de retorno 500 años

Q3= 2295		T= 500 años		
N° Pilar	Lado	Tirante	Froude	Velocidad
Pilar 1 (Punta aguda)	A.Arriba	5.976	0.133	1.019
	A.Abajo	1.990	1.829	8.083
	Derecha	2.264	1.611	7.591
	Izquierda	4.920	0.605	4.206
Pilar 2 (Circular)	A.Arriba	5.978	0.320	0.245
	A.Abajo	0.935	3.134	9.490
	Derecha	4.184	0.498	3.192
	Izquierda	4.778	0.417	2.857
Pilar 3 (Punta aguda)	A.Arriba	6.051	0.084	0.647
	A.Abajo	1.824	1.981	8.380
	Derecha	2.990	1.313	7.108
	Izquierda	4.479	0.815	5.400
Pilar 4 (Circular)	A.Arriba	5.971	0.046	0.352
	A.Abajo	0.845	3.237	9.322
	Derecha	4.014	0.679	4.263
	Izquierda	4.458	0.604	3.997
Pilar 5 (Punta aguda)	A.Arriba	5.703	0.113	0.848
	A.Abajo	3.431	0.792	4.594
	Derecha	2.918	1.283	6.862
	Izquierda	4.126	0.856	5.444
Pilar 6 (Circular)	A.Arriba	4.991	0.066	0.459
	A.Abajo	0.704	3.204	8.422
	Derecha	3.433	0.433	2.510
	Izquierda	3.403	0.501	2.897
Pilar 7 (Punta aguda)	A.Arriba	4.212	0.141	0.935
	A.Abajo	1.301	2.095	7.484
	Derecha	1.943	1.640	4.159
	Izquierda	2.311	1.297	6.177

Fuente: elaboración propia

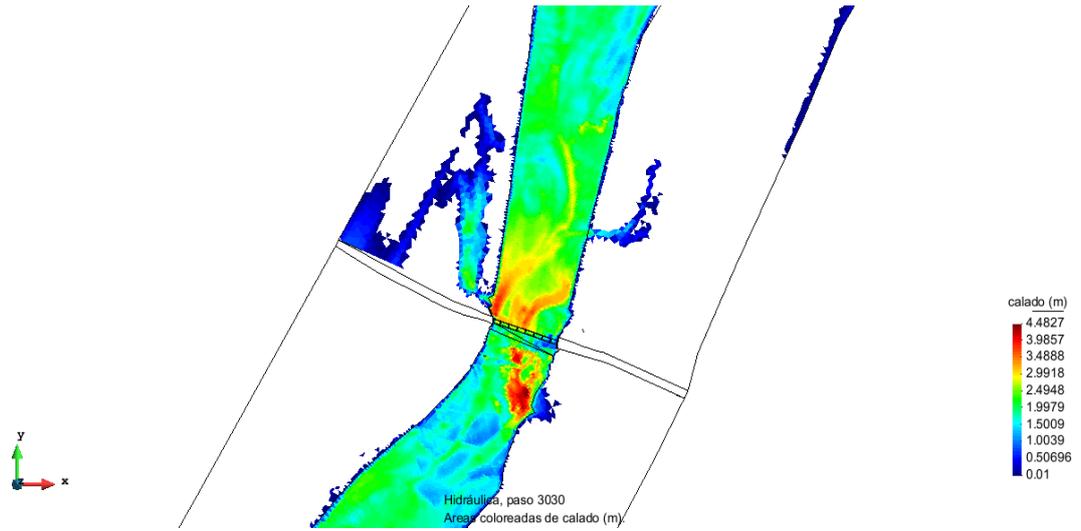


Figura 31: Tirantes de agua en modelamiento bidimensional para período de retorno de 50 años.

Fuente: Elaboración propia.

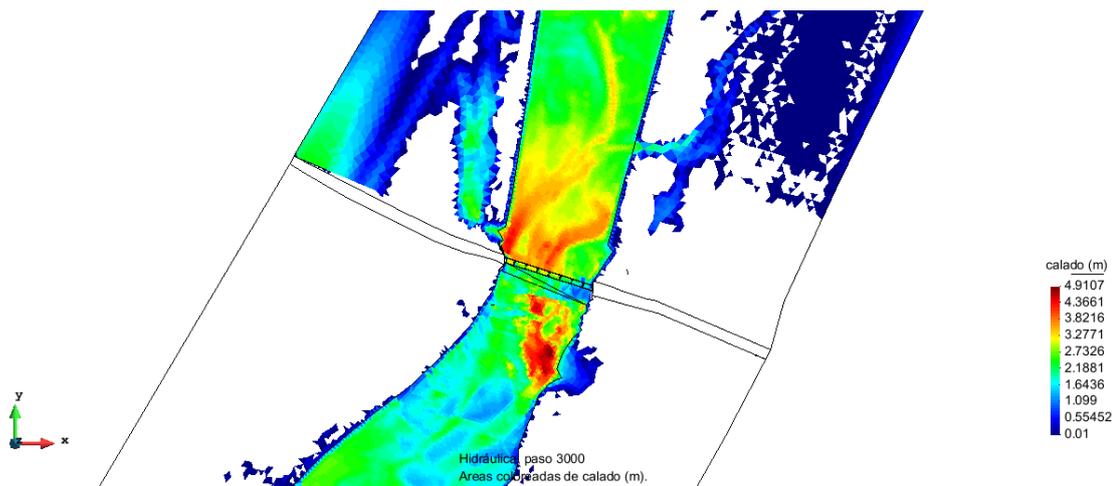


Figura 32: Tirantes de agua en modelamiento bidimensional para período de retorno de 100 años.

Fuente: Elaboración propia.

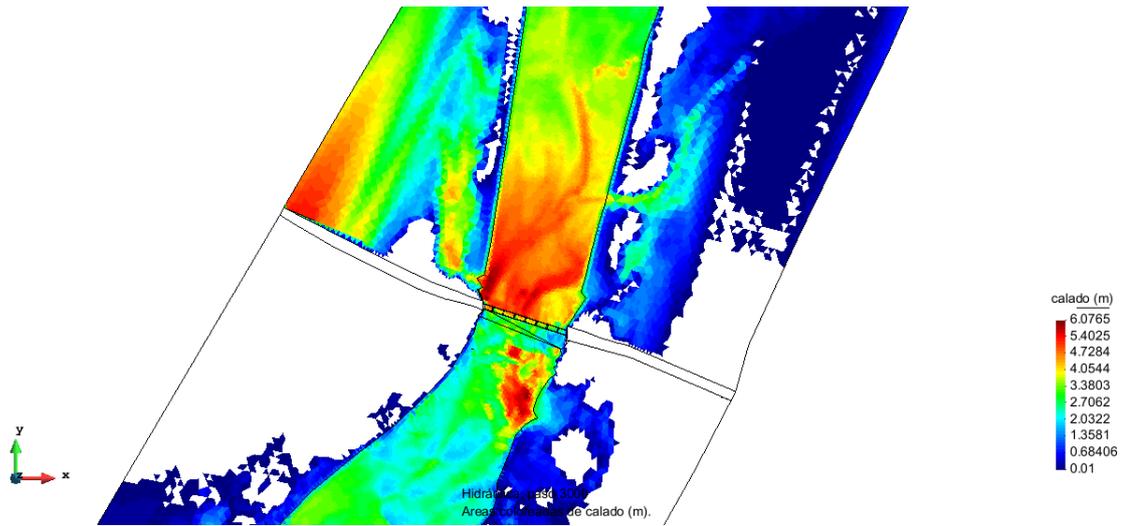


Figura 33: Tirantes de agua en modelamiento bidimensional para período de retorno de 500 años.

Fuente: Elaboración propia.

4.5.2. Socavación local (CSU):

- Método de la Universidad Estatal de Colorado (CSU)

Tabla 31: Método CSU. Socavación local (Ds) – 50 años periodo de retorno

T (años)	Q (m3/s)	N° Pilar	Forma del pilar	K1 (kf)	K2 (Ko)	K3 (Kc)	K4 (Ka)	a	h	Fr	Ds
50	1052.42	1	Pila punta aguda	0.90	1.00	1.10	0.36	1.43	1.07	2.07	1.19
		2	Grupo cilindros	1.00	1.00	1.10	0.34	2.13	0.60	2.75	2.66
		3	Pila punta aguda	0.90	1.00	1.10	0.36	1.43	1.03	2.19	1.22
		4	Grupo cilindros	1.00	1.00	1.10	0.35	2.13	0.70	2.56	2.38
		5	Pila punta aguda	0.90	1.00	1.10	0.35	1.43	0.95	2.26	1.30
		6	Grupo cilindros	1.00	1.00	1.10	0.31	2.13	0.34	3.61	3.88
		7	Pila punta aguda	0.90	1.00	1.10	0.37	1.43	0.38	2.86	2.72

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32: Método CSU. Socavación local (Ds) – 100 años periodo de retorno

T (años)	Q (m3/s)	N° Pilar	Forma del pilar	K1 (kf)	K2 (Ko)	K3 (Kc)	K4 (Ka)	a	h	Fr	Ds
100	1359.057	1	Pila punta aguda	0.90	1.00	1.10	0.45	1.43	1.40	1.78	1.15

2	Grupo cilindros	1.00	1.00	1.10	0.45	2.13	0.73	1.93	2.64
3	Pila punta aguda	0.90	1.00	1.10	0.45	1.43	2.12	1.19	0.74
4	Grupo cilindros	1.00	1.00	1.10	0.45	2.13	0.97	1.90	2.19
5	Pila punta aguda	0.90	1.00	1.10	0.45	1.43	2.40	0.97	0.62
6	Grupo cilindros	1.00	1.00	1.10	0.45	2.13	0.73	2.19	2.80
7	Pila punta aguda	0.90	1.00	1.10	0.45	1.43	0.83	2.09	1.72

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33: Método CSU. Socavación local (Ds) – 500 años periodo de retorno

T (años)	Q (m ³ /s)	N° Pilar	Forma del pilar	K1 (kf)	K2 (Ko)	K3 (Kc)	K4 (Ka)	a	h	Fr	Ds
500	2295	1	Pila punta aguda	0.90	1.00	1.10	0.45	1.43	1.99	1.83	0.93
		2	Grupo cilindros	1.00	1.00	1.10	0.45	2.13	0.93	3.13	2.77
		3	Pila punta aguda	0.90	1.00	1.10	0.45	1.43	1.82	1.98	1.01
		4	Grupo cilindros	1.00	1.00	1.10	0.45	2.13	0.85	3.24	3.00

5	Pila punta aguda	0.90	1.00	1.10	0.45	1.43	3.43	0.79	0.45
6	Grupo cilindros	1.00	1.00	1.10	0.45	2.13	0.70	3.20	3.37
7	Pila punta aguda	0.90	1.00	1.10	0.45	1.43	1.30	2.10	1.29

Fuente: Elaboración propia

4.5.3. Socavación general (Levediev)

Tabla 34: Método Lischvan Levediev. Socavación general (Hs). T = 50 años

CALCULO DE LA PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (Hs)													
Método Lischvan Levediev													
Suelos Granulares - No Cohesivos													
$t_s = ((\alpha t^{5/3}) / (0.68 D_m^{0.28} \beta))^{1/(x+1)}$(1)													
Suelos Cohesivos													
$t_s = ((\alpha t^{5/3}) / (0.60 \gamma_s^{1.18} \beta))^{1/(x+1)}$(2)													
Donde:													
t_s = Tirante despues de producirse la socavacion (m)													
t = Tirante sin socavacion (m)													
$t = 2.33$ m													
D_m = Diametro Medio de las particulas (mm)													
$D_m = 8.18$ mm													
γ_s = Peso Especifico suelo (Kg/m3)													
μ = Coeficiente de Contraccion													
α = Coeficiente >>>>>													
$\alpha = Q / (t_m^{5/3} B \mu)$													
Tirante medio (t_m) = A/B	Q (Caudal de Diseño)	Coeficiente de Contraccion (μ) Tabla N° 01	Ancho Estable	α									
$t_m = 2.22$	1,052.42	$\mu = 0.99$	B = 102.10	2.75									
<p>1. Perfil antes de la erosión</p> <p>2. Perfil de equilibrio tras la erosión</p>													
<p>PROFUNDIDAD DE SOCAVACION PARA SUELOS NO COHESIVO(1) :</p>													
X : Exponente que depende de : D_m para suelos Granulares No Cohesivos y γ_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)	$1/x+1$		$t_s = ((\alpha t^{5/3}) / (0.68 D_m^{0.28} \beta))^{1/(x+1)}$										
x = 0.35	0.74	$\beta = 0.97$	$t_s = 5.29$ m										
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H_s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>H_s</td> <td>=</td> <td>$t_s - t$</td> </tr> <tr> <td>H_s</td> <td>=</td> <td>2.96 m</td> </tr> </tbody> </table>					PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H_s)			H_s	=	$t_s - t$	H_s	=	2.96 m
PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H_s)													
H_s	=	$t_s - t$											
H_s	=	2.96 m											

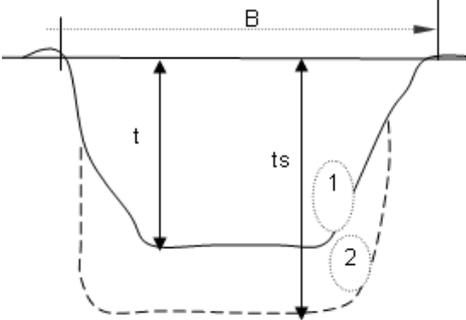
Fuente: Elaboración propia

Tabla 35: Método Lischtvan Levediev. Socavación general (Hs). T = 100 años

CALCULO DE LA PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (Hs)										
Método Lischtvan Levediev										
Suelos Granulares - No Cohesivos										
$t_s = ((\alpha t^{5/3}) / (0.68 D_m^{0.28} \beta))^{1/(x+1)} \dots\dots\dots(1)$										
Suelos Cohesivos										
$t_s = ((\alpha t^{5/3}) / (0.60 \gamma_s^{1.18} \beta))^{1/(x+1)} \dots\dots\dots(2)$										
Donde:										
t_s = Tirante despues de producirse la socavacion (m)										
t = Tirante sin socavacion (m)										
$t = 2.72$ m										
D_m = Diametro Medio de las particulas (mm)										
$D_m = 8.18$ mm										
γ_s = Peso Especifico suelo (Kg/m3)										
μ = Coeficiente de Contraccion										
α = Coeficiente >>>>>										
$\alpha = Q / (t_m^{5/3} B \mu)$										
Tirante medio (t_m) = A/B	Q (Caudal de Diseño)	Coeficiente de Contraccion (μ) Tabla N° 01	Ancho Estable	α						
$t_m = 2.58$	1,359.06	$\mu = 0.99$	B = 102.10	2.78						
PROFUNDIDAD DE SOCAVACION PARA SUELOS NO COHESIVO(1) :										
X : Exponente que depende de : D_m para suelos Granulares No Cohesivos y γ_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)	$1/x+1$		$t_s = ((\alpha t^{5/3}) / (0.68 D_m^{0.28} \beta))^{1/(x+1)}$							
x = 0.35	0.74	$\beta = 1.00$	$t_s = 6.32$ m							
<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>= 3.60 m</td> </tr> </tbody> </table>					PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H_s)		H_s	= $t_s - t$	H_s	= 3.60 m
PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H_s)										
H_s	= $t_s - t$									
H_s	= 3.60 m									

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36: Método Lischtvan Levediev. Socavación general (Hs). T = 500 años

CALCULO DE LA PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (Hs)													
METODO DE LL. LIST VAN LEVEDIEV													
Suelos Granulares - No Cohesivos			<p>1. Perfil antes de la erosión</p> <p>2. Perfil de equilibrio tras la erosión</p> 										
$t_s = ((\alpha t^{5/3}) / (0.68 D_m^{0.28} \beta))^{1/(x+1)} \dots\dots\dots(1)$													
Suelos Cohesivos													
$t_s = ((\alpha t^{5/3}) / (0.60 \gamma_s^{1.18} \beta))^{1/(x+1)} \dots\dots\dots(2)$													
Donde:													
t_s = Tirante después de producirse la socavación (m)													
t = Tirante sin socavación (m)													
$t = 3.72$ m													
D_m = Diámetro Medio de las partículas (mm)													
$D_m = 8.18$ mm													
γ_s = Peso Específico suelo (Kg/m ³)													
μ = Coeficiente de Contracción													
α = Coeficiente >>>>>													
$\alpha = Q / (t_m^{5/3} B \mu)$													
Tirante medio (t_m) = A/B	Q (Caudal de Diseño)	Coeficiente de Contracción (μ) Tabla N° 01	Ancho Estable	α									
$t_m = 3.45$	2,295.00	$\mu = 0.99$	B = 102.10	2.8838482									
PROFUNDIDAD DE SOCAVACION PARA SUELOS NO COHESIVO(1) :													
X : Exponente que depende de : D_m para suelos Granulares No Cohesivos y γ_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		$t_s = ((\alpha t^{5/3}) / (0.68 D_m^{0.28} \beta))^{1/(x+1)}$										
x = 0.35	0.74	$\beta = 1.05$	$t_s = 9.2214111$ m										
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (Hs)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>H_s</td> <td>=</td> <td>$t_s - t$</td> </tr> <tr> <td>H_s</td> <td>=</td> <td>5.50 m</td> </tr> </tbody> </table>					PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (Hs)			H_s	=	$t_s - t$	H_s	=	5.50 m
PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (Hs)													
H_s	=	$t_s - t$											
H_s	=	5.50 m											

Fuente: Elaboración propia

4.5.4. Socavación total

Tabla 37: Socavación total T = 50 años

T (años)	Q (m3/s)	Nº Pilar	Forma del pilar	S. Local (Ds)	S. General (Hs)	S. Total
50	1052.42	1	Pila punta aguda	1.19	2.96	4.15
		2	Grupo cilindros	2.66	2.96	5.62
		3	Pila punta aguda	1.22	2.96	4.18
		4	Grupo cilindros	2.38	2.96	5.34
		5	Pila punta aguda	1.30	2.96	4.26
		6	Grupo cilindros	3.88	2.96	6.84
		7	Pila punta aguda	2.72	2.96	5.68

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38: Socavación total T = 100 años

T (años)	Q (m3/s)	Nº Pilar	Forma del pilar	S. Local (Ds)	S. General (Hs)	S. Total
100	1359.06	1	Pila punta aguda	1.15	3.60	4.75
		2	Grupo cilindros	2.64	3.60	6.24
		3	Pila punta aguda	0.74	3.60	4.34
		4	Grupo cilindros	2.19	3.60	5.79
		5	Pila punta aguda	0.62	3.60	4.22
		6	Grupo cilindros	2.80	3.60	6.40
		7	Pila punta aguda	1.72	3.60	5.32

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39: Socavación total T = 500 años

T (años)	Q (m³/s)	N° Pilar	Forma del pilar	S. Local (Ds)	S. General (Hs)	S. Total
500	2295	1	Pila punta aguda	0.93	3.72	4.65
		2	Grupo cilindros	2.77	3.72	6.49
		3	Pila punta aguda	1.01	3.72	4.73
		4	Grupo cilindros	3.00	3.72	6.72
		5	Pila punta aguda	0.45	3.72	4.17
		6	Grupo cilindros	3.37	3.72	7.09
		7	Pila punta aguda	1.29	3.72	5.01

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Topografía

Del levantamiento topográfico con dron y usando puntos de control se obtuvo la pendiente del tramo en estudio correspondiente a $S=0.58\%$

El ancho del cauce del río a la altura del puente fue de 112.32 m

Aguas arriba del puente se encuentra descolmatado y en el margen izquierdo se observa la creación de un dique con enrocado, éste provoca que las nuevas avenidas tengan un comportamiento diferente, pues al llegar al dique el agua rebotará para dirigirse hacia el margen derecho del río y nuevamente rebotará llegando a los pilares del lado izquierdo del puente, siendo éstos los más afectados. Agua abajo del puente se muestra también un cauce descolmatado.

5.2 Mecánica de suelos

El tipo de suelo en el tramo de estudio es de acarreo irregular. En las 4 calicatas seleccionadas se encontró grava de diámetro pequeño a grande, obteniendo como diámetro promedio $D_{50}=8.19$ mm y también obtuvimos el diámetro $D_{95}=42.45$ mm para la relación de velocidad a ser usado en el método del CSU para socavación local.

5.3 Hidrología

Se realizó el análisis de máximas avenidas para los datos máximos anuales, realizando en Hidroesta las siguientes distribuciones: Normal, Log. Normal de 2 parámetros, Log. Normal 3 parámetros, Gamma de 2 parámetros, Gamma de 3 parámetros, Log. Pearson tipo III, Gumbel y Log. Gumbel. Se tomaron las 3 que cumplen la condición de “delta tabular > delta teórico” (Log. Normal 2 parámetros, Log. Normal 3 parámetros y Log. Pearson tipo III) y calculamos el promedio de las 3, obteniendo los siguientes datos:

Para 50 años de periodo de retorno: 1052.42 m³/s.

Para 100 años de periodo de retorno: 1359.06 m³/s.

Para 500 años de periodo de retorno: 2295.00 m³/s.

5.3 Modelamientos:

5.3.1 Modelamiento Unidimensional:

El modelo unidimensional fue elaborado con el software Hec-Ras, en el cual se generaron secciones cada 50 metros. Este programa evalúa la velocidad en una sola dirección.

A continuación, se muestra la socavación total (general + local) de los pilares para los diferentes periodos de retorno

Tabla 40: Socavación total para los diferentes periodos de retorno. Modelo unidimensional.

T (años)	Q (m³/s)	Nº Pilar	Forma del pilar	S. Local (m)	S. General (m)	S. Total (m)
50	1052.42	1	Pila punta aguda	1.18	2.16	3.34
		2	Grupo cilindros	1.58	2.16	3.74
		3	Pila punta aguda	1.01	2.16	3.17
		4	Grupo cilindros	1.63	2.16	3.79
		5	Pila punta aguda	0.99	2.16	3.15
		6	Grupo cilindros	1.44	2.16	3.60
		7	Pila punta aguda	1.16	2.16	3.32
100	1359.06	1	Pila punta aguda	1.55	2.43	3.98
		2	Grupo cilindros	1.64	2.43	4.07
		3	Pila punta aguda	1.55	2.43	3.98
		4	Grupo cilindros	1.64	2.43	4.07
		5	Pila punta aguda	1.55	2.43	3.98
		6	Grupo cilindros	1.64	2.43	4.07
		7	Pila punta aguda	1.55	2.43	3.98
500	2295	1	Pila punta aguda	1.60	3.18	4.78
		2	Grupo cilindros	2.30	3.18	5.48

3	Pila punta aguda	1.60	3.18	4.78
4	Grupo cilindros	2.30	3.18	5.48
5	Pila punta aguda	1.60	3.18	4.78
6	Grupo cilindros	2.30	3.18	5.48
7	Pila punta aguda	1.60	3.18	4.78

Fuente: Elaboración propia

5.3.2 Modelamiento Bidimensional:

El modelo bidimensional fue elaborado con el software IBER, para el cual se fueron elaborando diferentes mallas según el período de retorno.

A continuación, se muestra la socavación total (local + general) de los pilares para los diferentes periodos de retorno

Tabla 41: Socavación total para los diferentes periodos de retorno. Modelo bidimensional

T (años)	Q (m ³ /s)	Nº Pilar	Forma del pilar	S. Local (m)	S. General (m)	S. Total (m)
50	1052.42	1	Pila punta aguda	1.19	2.96	4.15
		2	Grupo cilindros	2.66	2.96	5.62
		3	Pila punta aguda	1.22	2.96	4.18
		4	Grupo cilindros	2.38	2.96	5.34
		5	Pila punta aguda	1.30	2.96	4.26
		6	Grupo cilindros	3.88	2.96	6.84
		7	Pila punta aguda	2.72	2.96	5.68
100	1359.06	1	Pila punta aguda	1.15	3.60	4.75
		2	Grupo cilindros	2.64	3.60	6.24
		3	Pila punta aguda	0.74	3.60	4.34
		4	Grupo cilindros	2.19	3.60	5.79
		5	Pila punta aguda	0.62	3.60	4.22
		6	Grupo cilindros	2.80	3.60	6.40

		7	Pila punta aguda	1.72	3.60	5.32
		1	Pila punta aguda	0.93	3.72	4.65
		2	Grupo cilindros	2.77	3.72	6.49
		3	Pila punta aguda	1.01	3.72	4.73
500	2295	4	Grupo cilindros	3.00	3.72	6.72
		5	Pila punta aguda	0.45	3.72	4.17
		6	Grupo cilindros	3.37	3.72	7.09
		7	Pila punta aguda	1.29	3.72	5.01

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar es los pilares “grupo de cilindros” es donde se genera la mayor socavación, esto debido a que el ancho del pilar (a) es mayor por lo que generará vórtices más grandes y así mayor socavación.

La comparación de socavaciones nos muestra que el modelo bidimensional genera mayores socavaciones, esto se debe a que el comportamiento hidráulico en dos dimensiones representa mejor el comportamiento del agua, ya que presenta velocidades en 02 direcciones (vector) y también representa los vórtices generados aguas arriba de los pilares.

**CAPÍTULO VI:
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES**

6.1 CONCLUSIONES:

1. La descolmatación del río Chicama a la altura del Puente Victoria y la creación del dique ha provocado que el agua al chocar contra éste genere una corriente la cual va a afectar duramente a los pilares, los cuales llegan a sufrir una fuerte profundidad de socavación.
2. Del modelo digital de elevación se pudo obtener el ancho estable del tramo en estudio el cuál fue de $B=102.10$ m y la pendiente $S=0.58\%$. Con respecto a los pilares se verificó el ancho de los 2 tipos encontrados siendo $D_{cilindro}=2.13$ m y $D_{pila}=1.43$ m, motivo por el cual se produce mayor socavación en los pilares “grupo de cilindros”
3. En el estudio de mecánica de suelos concluimos que el diámetro promedio del material del cauce del río corresponde a $D50=8.19$ mm.
4. Con la data histórica de máximos anuales se realizó el análisis de máximas avenidas, donde obtuvimos los caudales para los diferentes tipos de retorno, 1052.42 m³/s para un período de retorno de 50 años, 1359.06 m³/s para un período de retorno de 100 años y 2295.00 m³/s para un período de retorno de 500 años.
5. Del modelamiento unidimensional obtuvimos socavaciones totales, dónde las máximas se presentan en los pilares de “grupo de cilindros” alcanzando una profundidad de socavación de hasta 3.79 m para un caudal de 1052.42 m³/s con período de retorno de 50 años; 4.07 m para un caudal de 1359.06 m³/s con período de retorno de 100 años; 5.48 m para un caudal de 2295 m³/s con período de retorno de 500 años.
6. Del modelamiento bidimensional obtuvimos socavaciones totales, dónde las máximas también se presentan en los pilares de “grupo de cilindros” alcanzando una profundidad de socavación de hasta 5.62 m para un caudal de 1052.42 m³/s con período de retorno de 50 años; 6.40 m para un caudal de 1359.06 m³/s con período de retorno de 100 años; 6.72 m para un caudal de 2295 m³/s con período de retorno de 500 años.

7. Comparando los modelos observamos que las profundidades de socavación en el modelo bidimensional son mayores, esto debido a que el software IBER representa de mejor manera el comportamiento del agua pues la analiza en 2 direcciones, mientras que el HEC-RAS sólo la analiza en una sola dirección.
8. Habiendo calculando la profundidad de socavación en ambos modelos, para tres diferentes caudales obtuvimos la siguiente tabla, que representa el promedio de las socavaciones totales, es decir, la suma de la socavación local más la general.

Tabla 42: Tabla de promedios de la socavación total (general + local) tanto en el modelo unidimensional (HEC RAS) como en el bidimensional (IBER)

T (años)	Q (m ³ /s)	Socavación (m)	
		Unidimensional	Bidimensional
50	1052.42	3.44	5.15
10	1359.06	4.02	5.29
500	2295.00	5.08	5.55

Fuente: Elaboración propia

9. Ante este problema de socavación que se presenta en los pilares del puente Victoria, se propone construir un puente nuevo. Se desconoce quién o en qué año se construyó el actual puente, que ha resistido grandes avenidas y que se muestra reforzado con planchas de acero envolviendo sus pilares, por lo que se desconoce el estado actual del concreto.

6.2 RECOMENDACIONES:

1. Al ser un puente antiguo, lo más recomendable sería construir un nuevo puente que tome en cuenta los resultados obtenidos en esta investigación para que su diseño sea resistente ante las fuertes avenidas como en la época del fenómeno del niño.
2. No se recomienda colocar enrocado alrededor de los pilares como reforzamiento, ya que esto haría que el ancho de los pilares aumente y como consecuencia la socavación también.
3. Antes de realizar trabajos de descolmatación y/o construcción de diques, realizar un estudio de cómo esto va a afectar a las obras de arte o carreteras que se encuentran dentro de la zona de trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Arturo R. (Ed.). 2010. “Introducción a la Hidráulica de las Obras Viales” (Capítulo 10). Lima. ICG-Segunda Edición.
- Pierre and Julien (2010). *Erosion and sedimentation* (pp. 01). New York, Estados Unidos: Cambridge University Press
- Florida Department of Transportation (2005). *Bridge Scour Manual* (pp. 2-1; 2-7). Florida, Estados Unidos: Department Of Transportation
- Vigil. J. H y Campos. A. H. (2014). “Propuesta de un modelo hidráulico para los pilares del puente Reque empleando la superposición de los componentes de socavación”. Lambayeque: Universidad Señor De Sipan.
- Moncada A.; Aguirre-Pe. J. y Bolívar. J. F. (2007). “Efecto de un aro sobre la socavación en pilas circulares” Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes.
- Coloma. A. P & Ramos. L. (2016). “Simulación hidrológica e hidráulica del río tambo, sector Santa Rosa, Departamento De Arequipa, Perú” Nacional Agraria La Molina. Lima
- Grattesat. G. A. (2010). Vida útil de puentes. Ingeniur Général des Ponts et Chaussées. 1-11.
- Muñoz. E. A. (2011). Estudio de las causas del colapso de algunos puentes en Colombia. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D. C.
- Moncada. A, Aguirre. J, Bolívar. J. A. (2007). Efecto de un aro sobre la socavación en pilas circulares. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- Laurente. C. & Salvador S. A. (2001). Influencia de distancia entre secciones transversales al modelar un cauce natural para calcular la socavación en puentes aplicando HECRAS. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo. La Libertad.
- Departamento de Transportes de Florida.(2005). *Brigde Scour Manual*.
- Hamburg G. A. (2017). *Ingeniería Hidráulica. Transporte de sedimentos*. Colombia. Editorial Lemoine Editores.
- Santiago Huerta Fernandez (2000). Huerta. S. A. (2000). La estructura de un puente de fábrica consta de cimentación, pilas, bóvedas y cepas o estribos (en los extremos del puente).
- Ven Te Chow (2004). *Hidráulica de Canales Abiertos*. Colombia. Editorial McGraw-Hill.

ANEXOS:

a. ANEXO 1:

Reconocimiento del área de estudio y medición del puente y sus pilares para el futuro diseño.



Figura 34: Vista frontal del puente en el cual se muestran sus pilares.

Fuente: Propia



Figura 35: Medición del pilar tipo pila punta agua del puente Victoria

Fuente: Propia



Figura 36: Medición del pilar tipo cilindro del puente Victoria.

Fuente: Propia



Figura 37: Medición de la distancia entre pilares del puente Victoria

Fuente: Propia

b. ANEXO 2:

Extracción de muestras de suelo para realizar el estudio de mecánica de suelos y de granulometría.



Figura 38: Extracción de muestra de suelo de una de las calicatas.

Fuente: Propia



Figura 39: Medición de altura de fondo de una de las calicatas

Fuente: Propia



Figura 40: Muestra puesta en saco para ser llevada al laboratorio.

Fuente: Propia



Figura 41: Medición de tamaño predominante de muestra de grava.

Fuente: Propia

c. ANEXO 3:

Procesamiento de datos, estudio de suelos y granulometría.



Figura 42: Muestra en saco lista para proceder a hacer el cuarteo y pesaje.

Fuente: Propia



Figura 43: Muestra cuarteada para proceder al pesaje respectivo.

Fuente: Propia



Figura 44: Muestra puesta en la balanza para su pesaje antes de ser puesta en el horno.

Fuente: Propia



Figura 45: Muestras puestas en el horno, rotuladas y clasificadas de acuerdo al peso y ubicación de su extracción.

Fuente: Propia



Figura 46: Muestras por ser extraídas del horno luego de 24 horas.

Fuente: Propia



Figura 47: Muestras sin humedad luego de ser retiradas del horno

Fuente: Propia



Figura 48: Muestra siendo pasada por los tamices para la selección de tamaño nominal.

Fuente: Propia



Figura 49: Muestra siendo agitada para que pase por todos los tamices.

Fuente: Propia



Figura 50: Muestra que fue retenida por un tamiz, la cual fue pesada y clasificada

Fuente: Propia

d. ANEXO 4:

Se realizó el levantamiento topográfico con Drone, se almacenaron los datos para luego pasar a procesarlos y así tener el modelo digital de elevación.

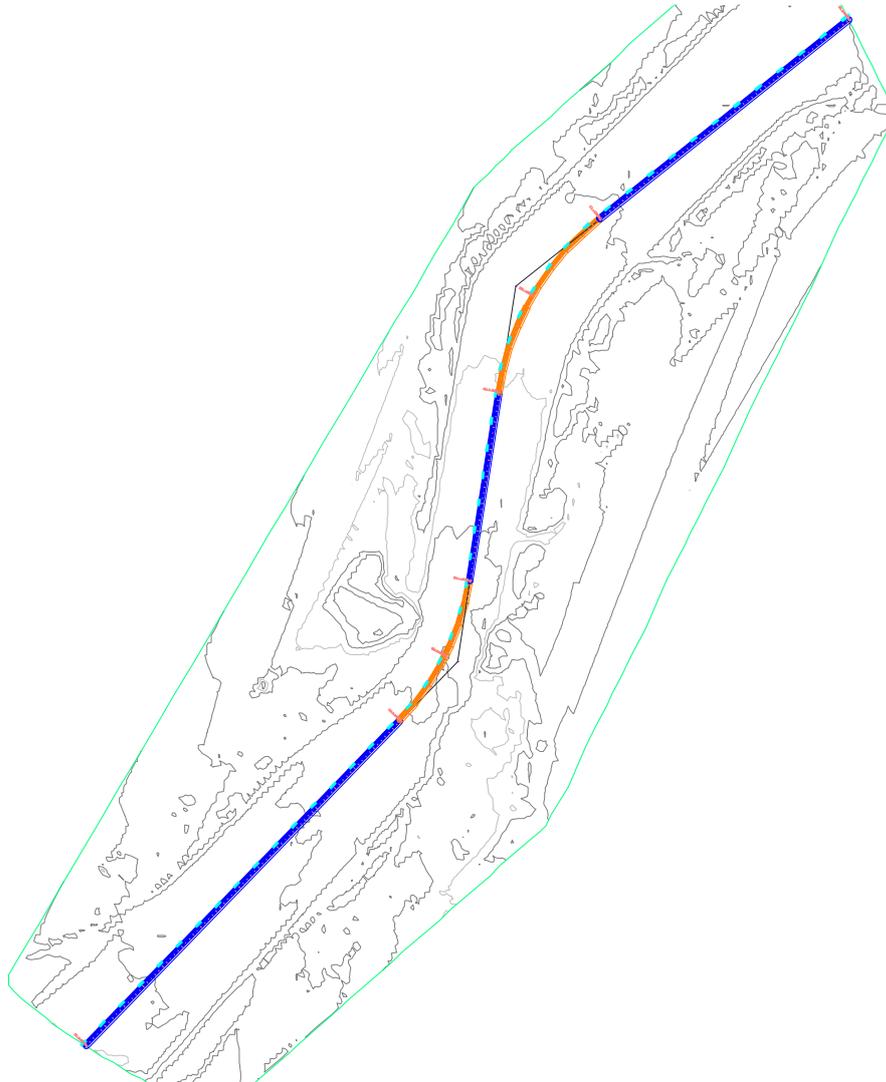


Figura 51: Curvas de nivel con alineamiento del río Chicama

Fuente: Propia

e. ANEXO 5:

Caudales históricos del río Chicama. Hasta el año 1983 fue estación Salinar y del año 1984 a la actualidad es la estación El Tambo

Tabla 43: Descarga promedio del río Chicama

AÑOS	PROMEDIO (L/S)	PROMEDIO (M3/S)
1971	354,893.00	354.89
1972	359,933.87	359.93
1973	533,920.03	533.92
1974	222,832.87	222.83
1975	412,067.97	412.07
1976	256,089.55	256.09
1977	350,579.55	350.58
1978	54,026.32	54.03
1979	146,683.45	146.68
1980	37,243.10	37.24
1981	287,458.06	287.46
1982	120,193.03	120.19
1983	814,371.94	814.37
1984	491,441.39	491.44
1985	83,054.55	83.05
1986	154,854.87	154.85
1987	203,575.19	203.58
1988	143,192.29	143.19
1989	327,257.45	327.26
1990	61,842.35	61.84
1991	72,600.65	72.60
1992	96,855.61	96.86
1993	339,071.35	339.07
1994	287,313.16	287.31
1995	119,405.84	119.41
1996	258,862.19	258.86
1997	99,310.77	99.31
1998	1,416,728.61	1,416.73
1999	330,761.29	330.76
2000	519,548.77	519.55
2001	419,230.58	419.23
2002	284,922.84	284.92
2003	142,685.42	142.69
2004	86,451.10	86.45
2005	123,269.16	123.27

2006	258,423.10	258.42
2007	251,680.52	251.68
2008	352,933.68	352.93
2009	379,793.03	379.79
2010	202,961.55	202.96
2011	177,560.45	177.56
2012	307,773.68	307.77
2013	257,688.26	257.69
2014	176,042.32	176.04
2015	290,078.45	290.08
2016	156,774.71	156.77
2017	673,905.76	673.91

Fuente: Junta de usuarios del Valle Chicama

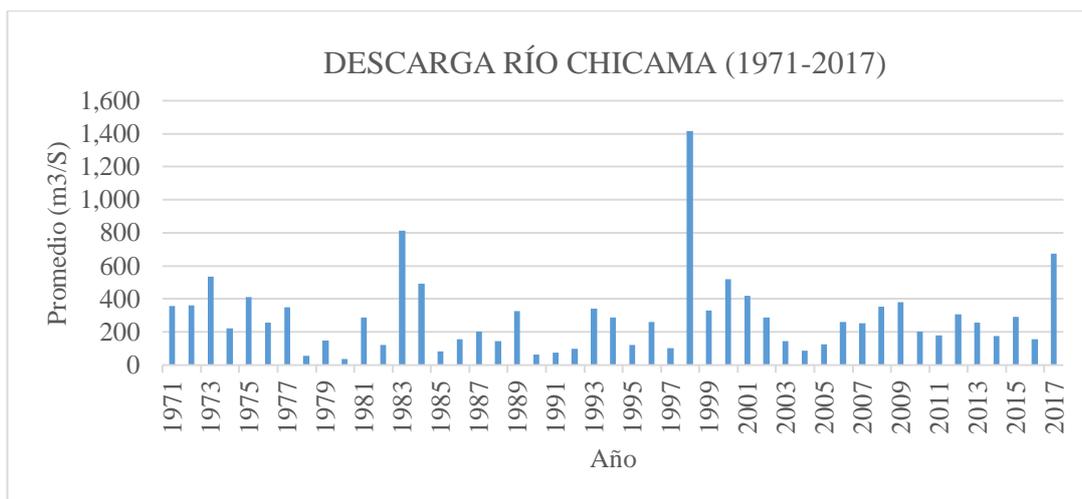


Gráfico 9: Descarga promedio del río Chicama (1971-2017)

Fuente: Propia

f. ANEXO 6:

Dibujo del puente Victoria en AutoCAD para encuadrarlo en la Data.

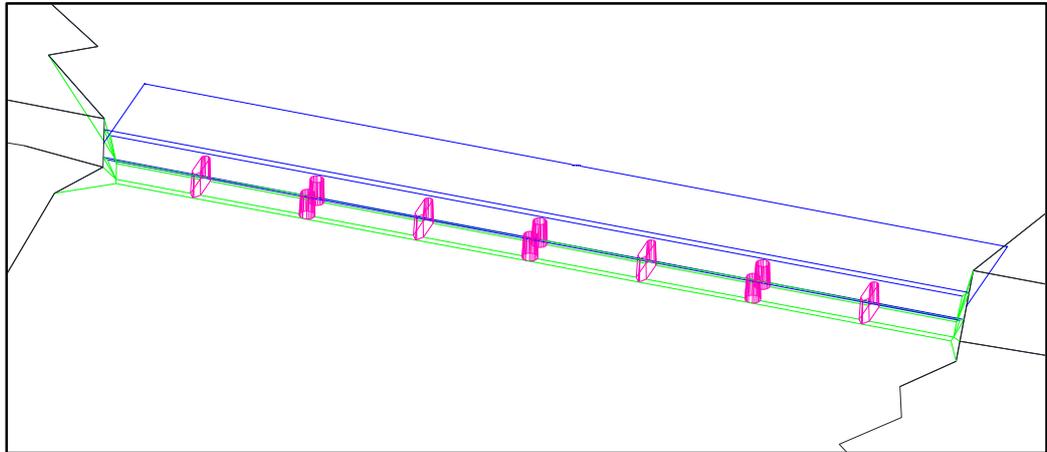


Figura 51: Puente Victoria

Fuente: Propia

g. ANEXO 7:

ARCGIS: Se realizó la creación de superficie y el ingreso del Manning.

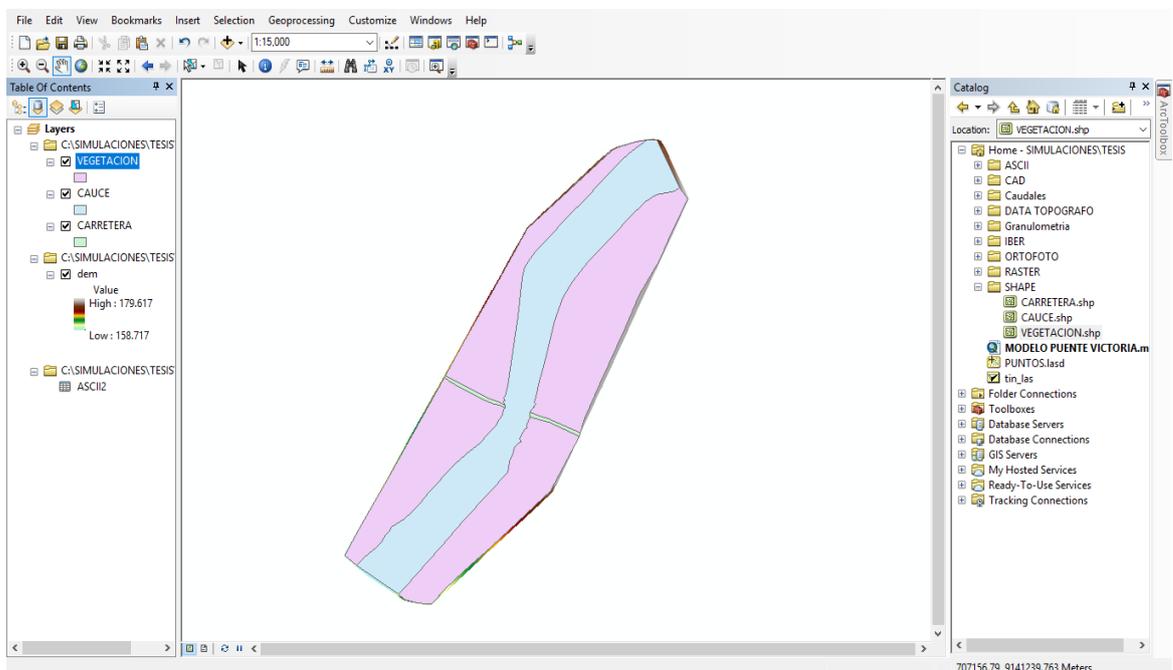


Figura 52: Modelamiento ArcGIS

Fuente: Propia

h. ANEXO 8:

Modelamiento Bidimensional en IBER:

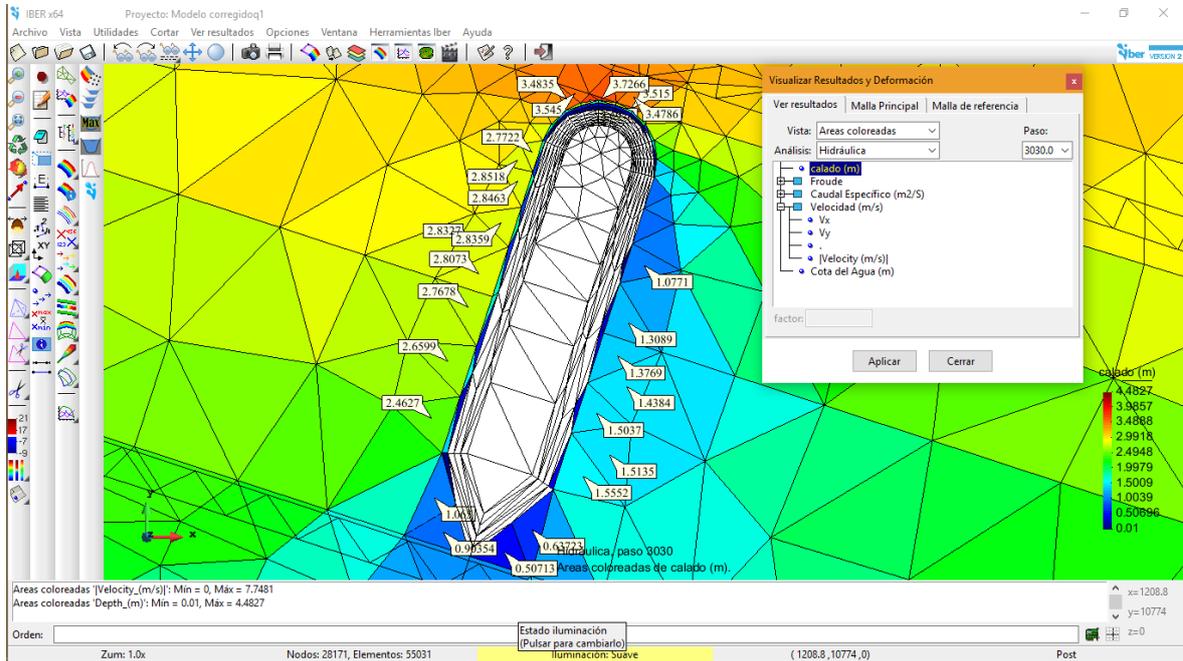


Figura 53: Calado en Q1: 1052.42 y con período de retorno de 50 años en uno de sus lados

Fuente: Propia

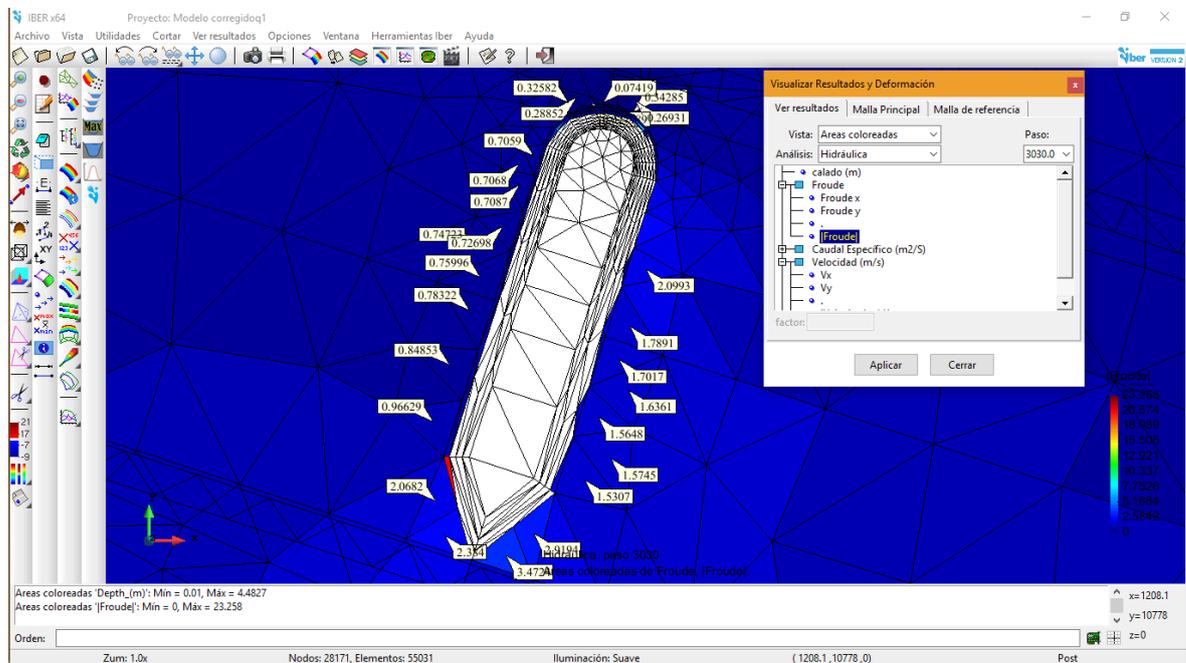


Figura 54: Froude en Q1: 1052.42 y con período de retorno de 50 años en uno de sus lados

Fuente: Propia

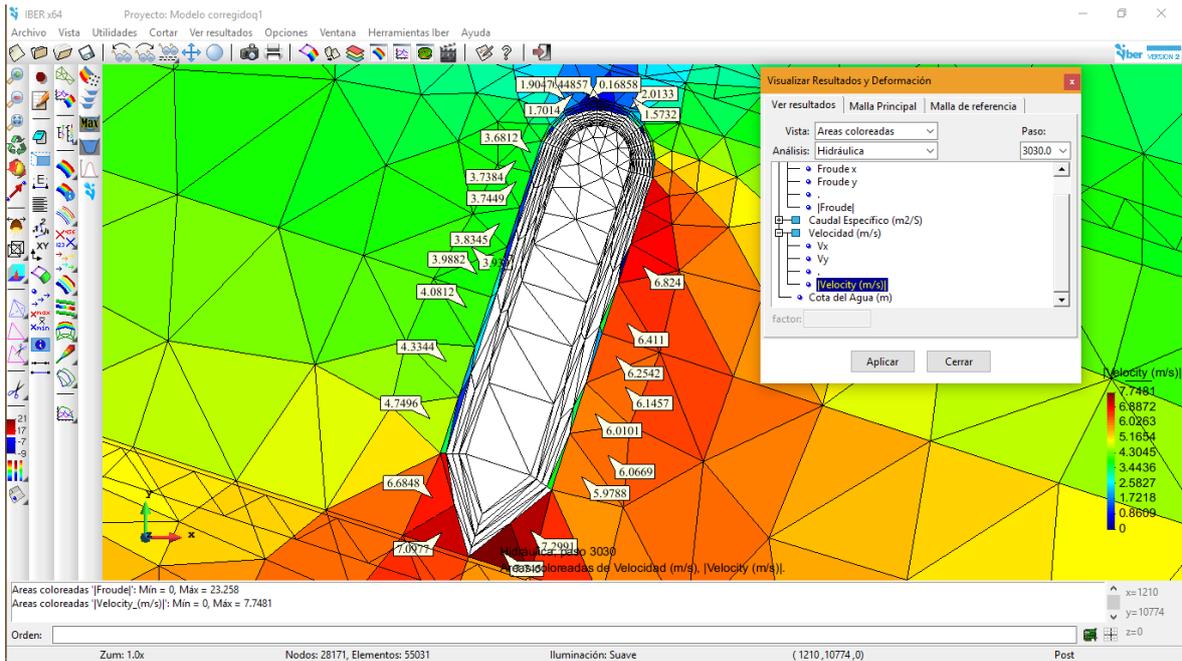


Figura 55: Velocidad en Q1: 1052.42 y con período de retorno de 50 años en uno de sus lados

Fuente: Propia

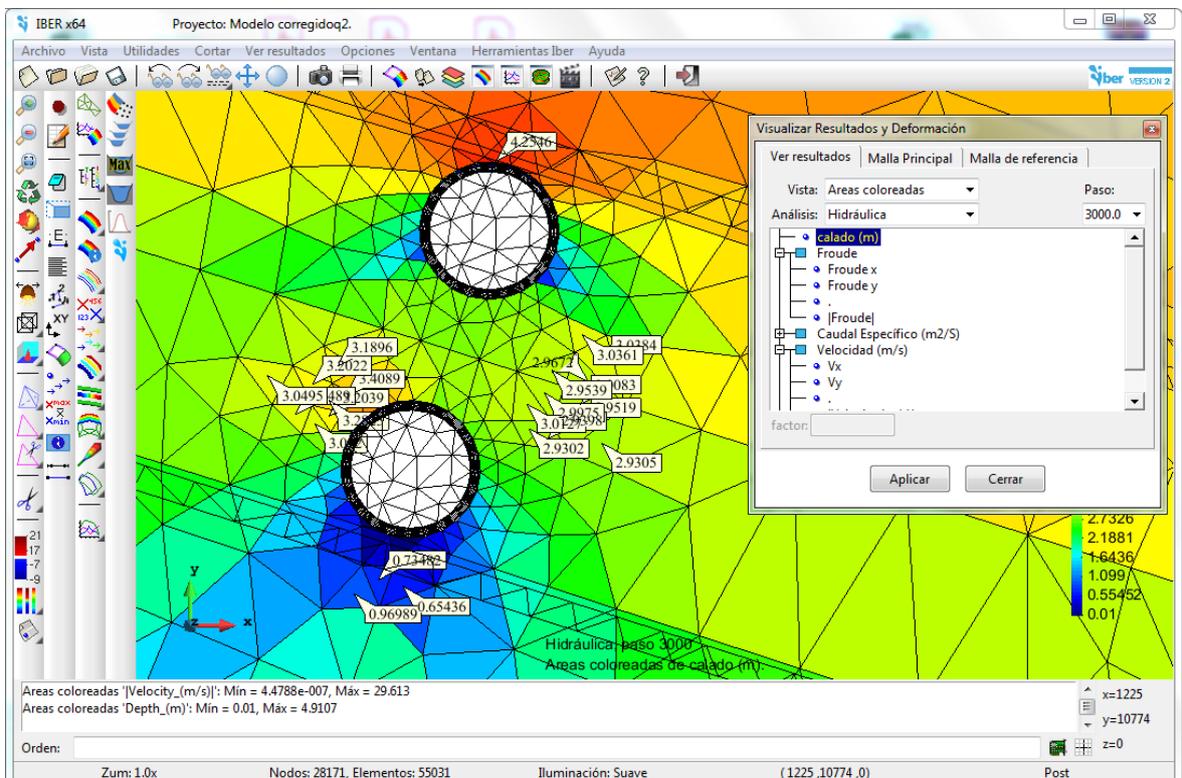


Figura 56: Calado en Q2: 1359.06 y con período de retorno de 100 años en uno de sus lados

Fuente: Propia

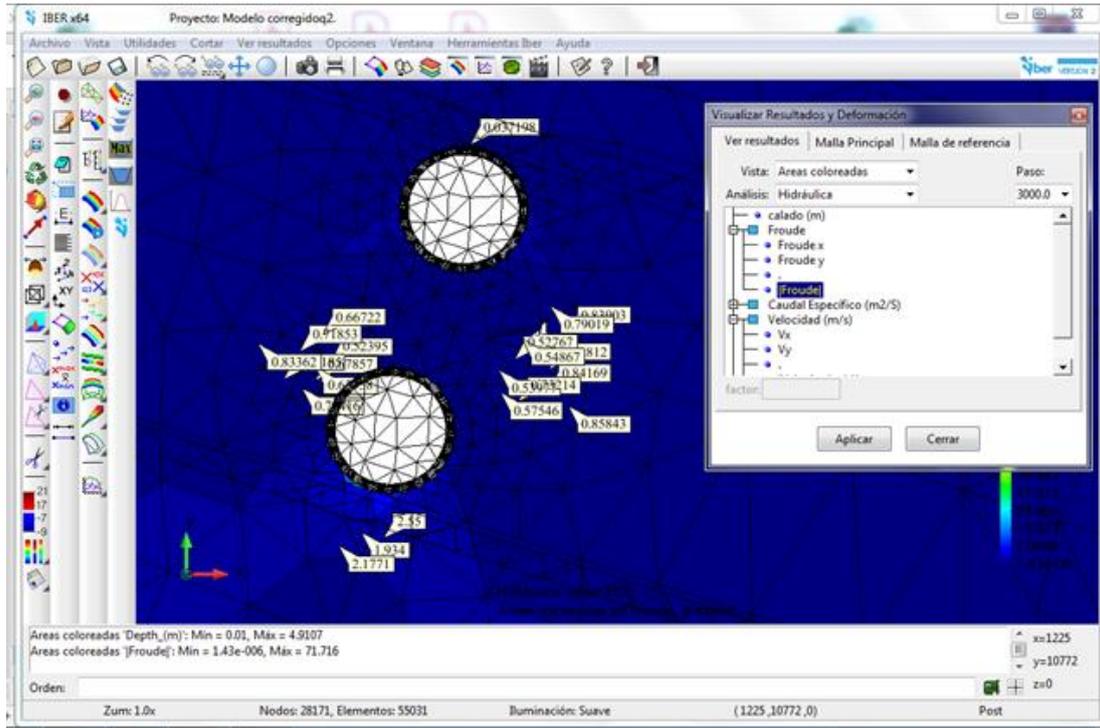


Figura 57: Froude en Q2: 1359.06 y con período de retorno de 100 años en uno de sus lados

Fuente: Propia

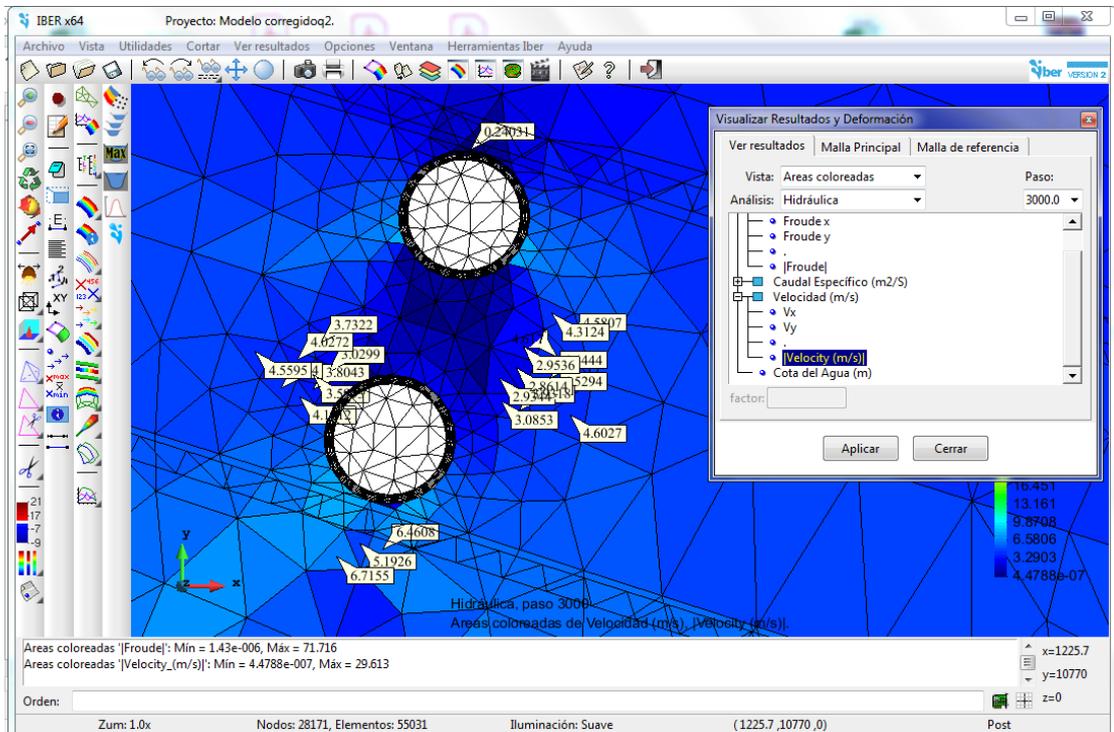


Figura 58: Velocidad en Q2: 1359.06 y con período de retorno de 100 años en uno de sus lados

Fuente: Propia

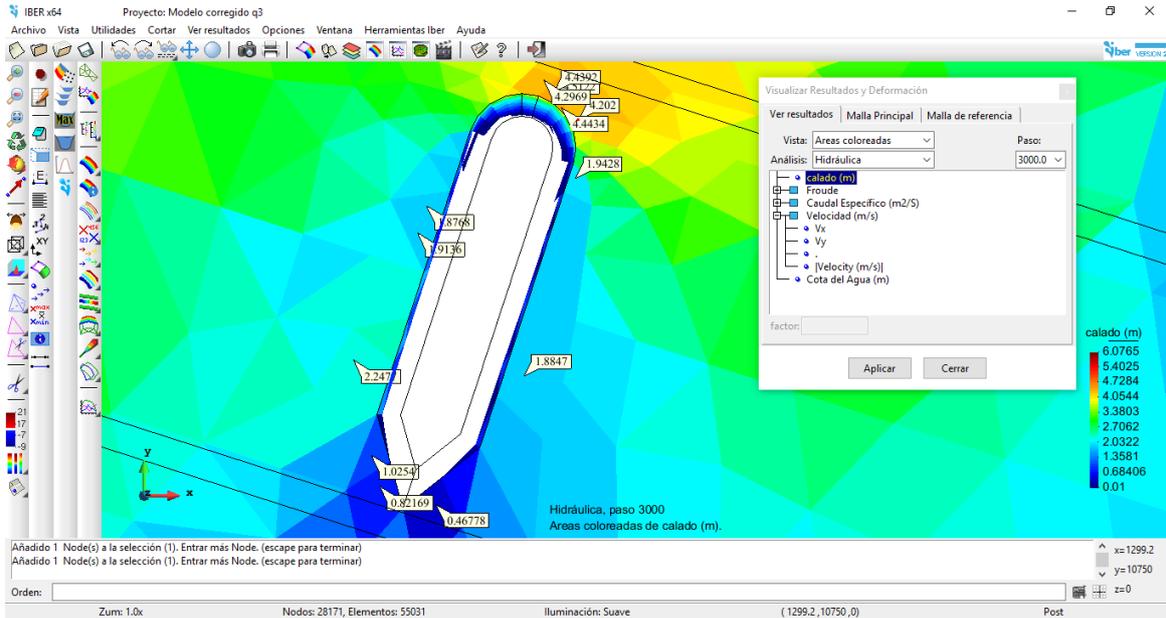


Figura 59: Calado en Q3: 2295 y con período de retorno de 500 años en uno de sus lados

Fuente: Propia

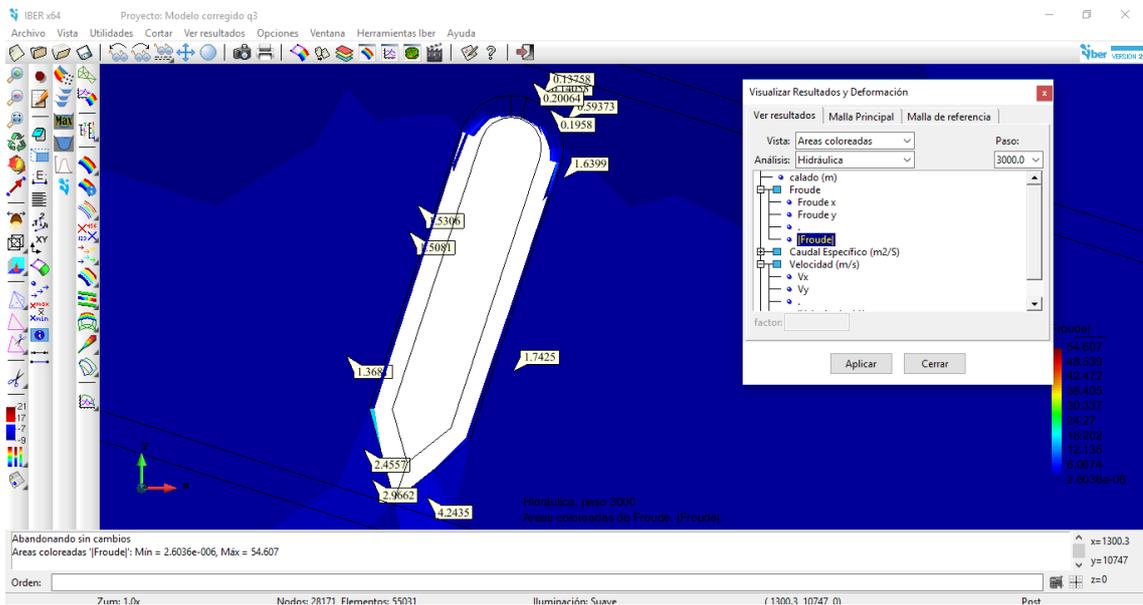


Figura 60: Froude en Q3: 2295 y con período de retorno de 500 años en uno de sus lados

Fuente: Propia

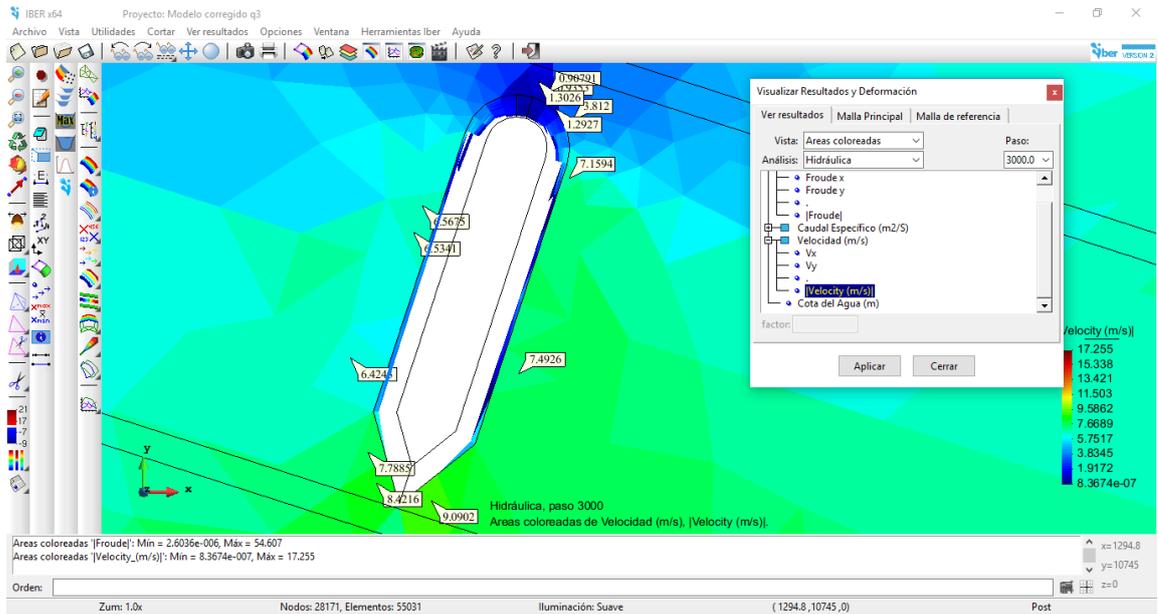


Figura 61: Velocidad en Q3: 2295 y con período de retorno de 500 años en uno de sus lados

Fuente: Propia

i. ANEXO 9:

Modelamiento Unidimensional en HecRAS.

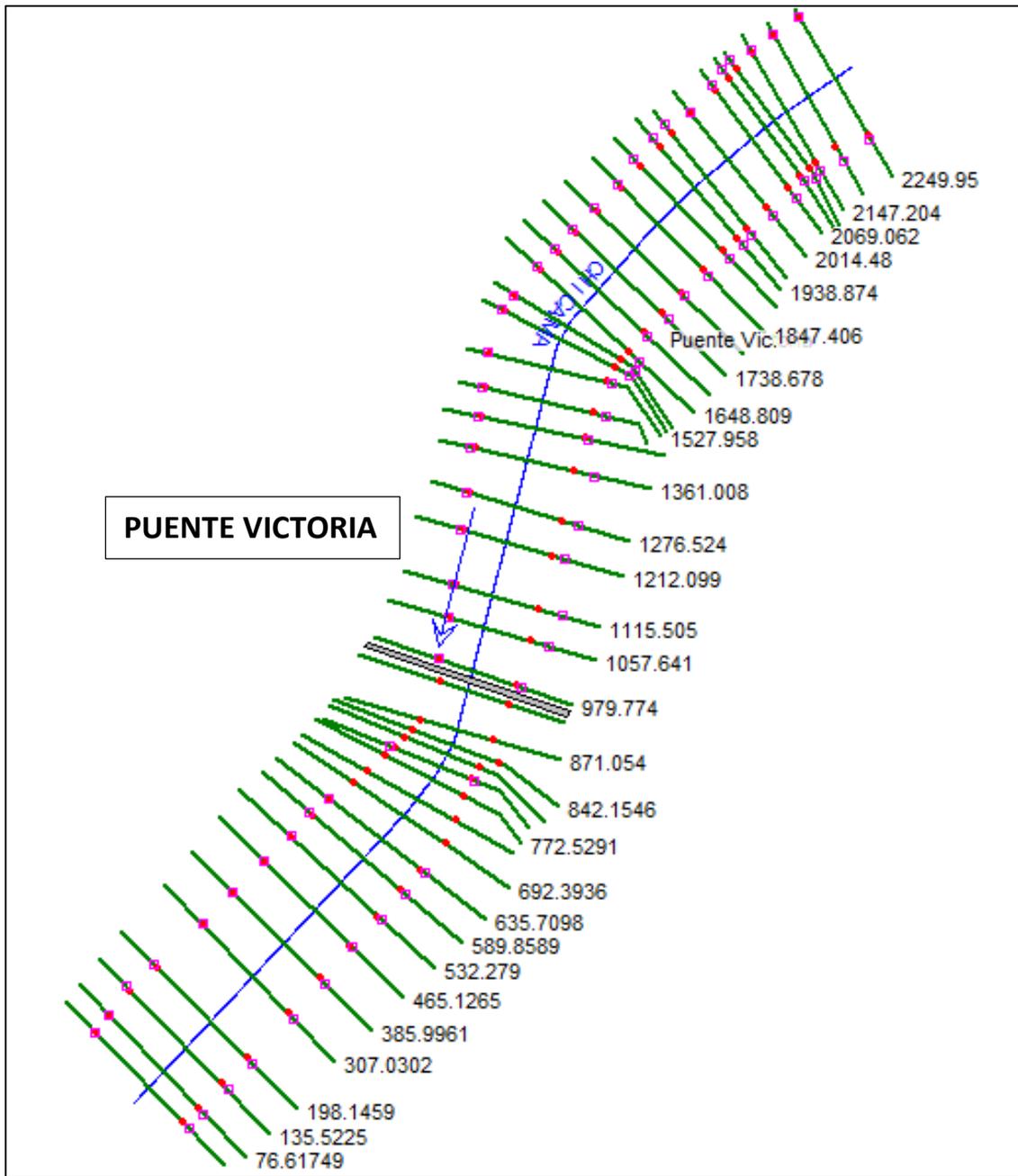


Figura 62: Datos geométricos del río Chicama y el puente Victoria.

Fuente: Propia

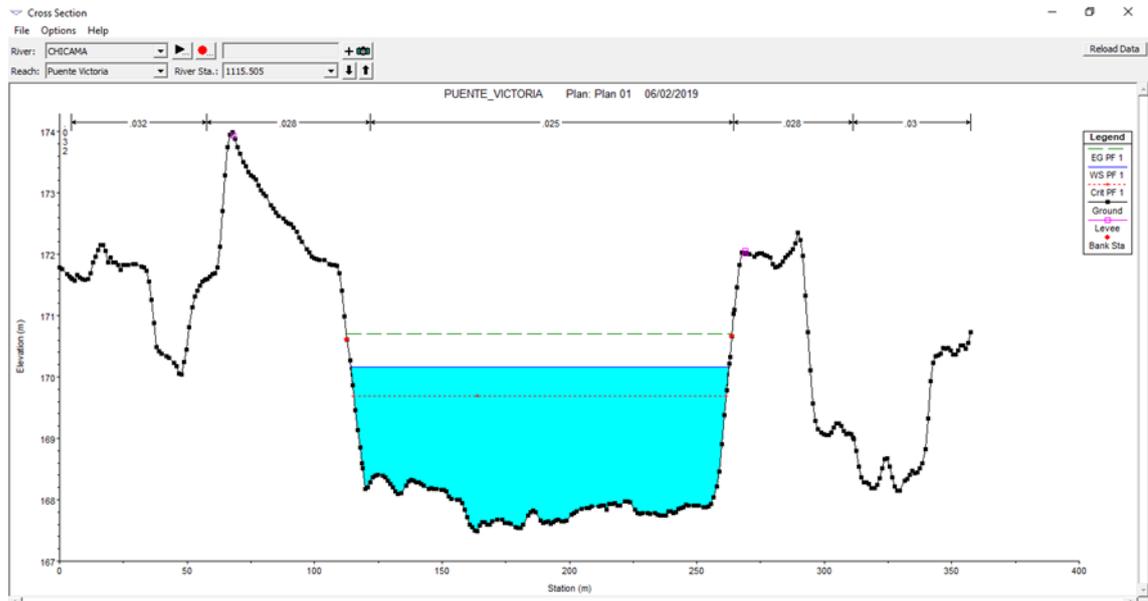


Figura 63: Sección aguas arriba del Puento Victoria con caudal Q1
Fuente: Propia

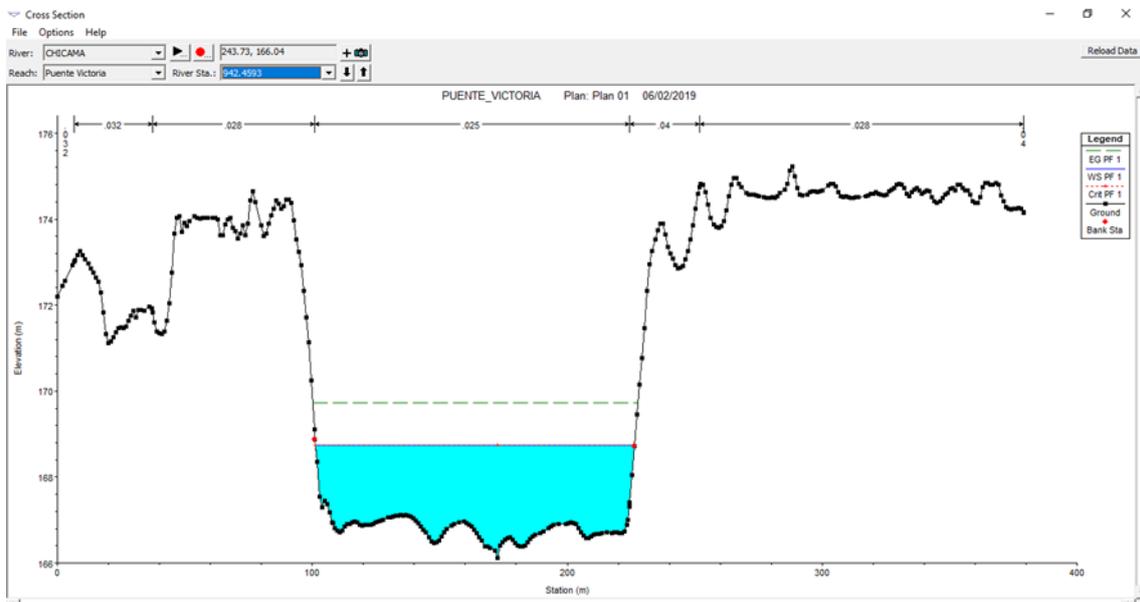


Figura 64: Sección aguas abajo del Puento Victoria con caudal Q1
Fuente: Propia

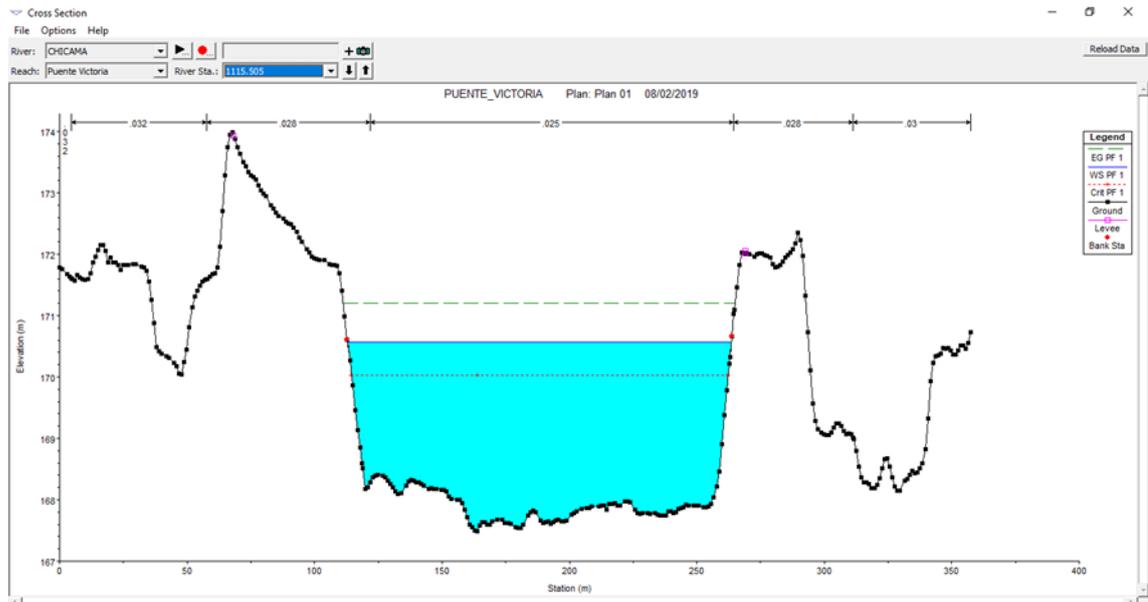


Figura 65: Sección aguas arriba del Puente Victoria con caudal Q2

Fuente: Propia

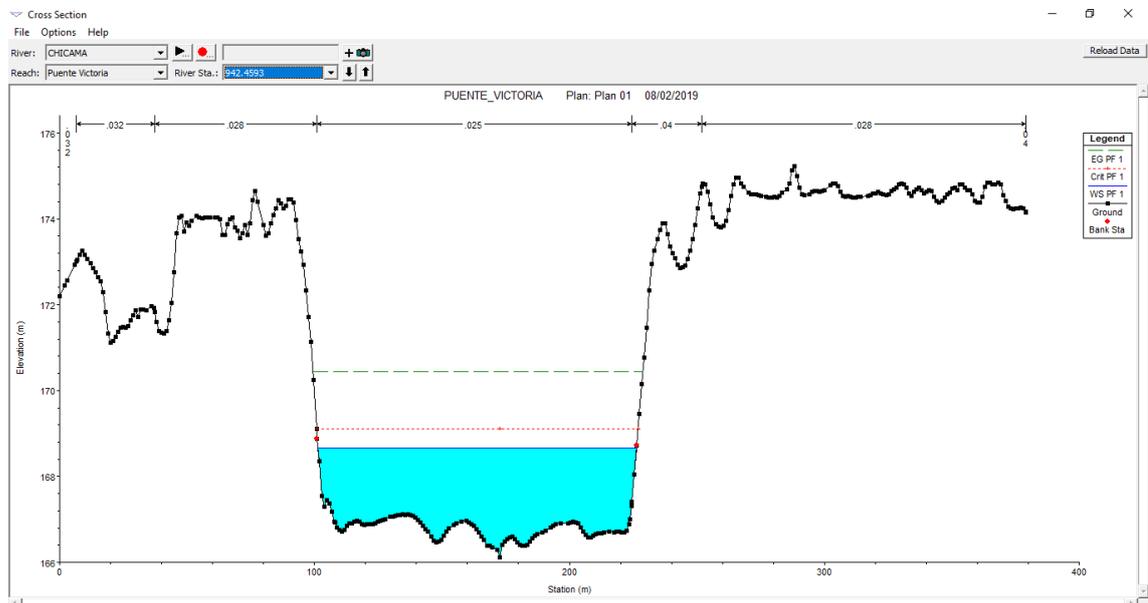


Figura 66: Sección aguas abajo del Puente Victoria con caudal Q2

Fuente: Propia

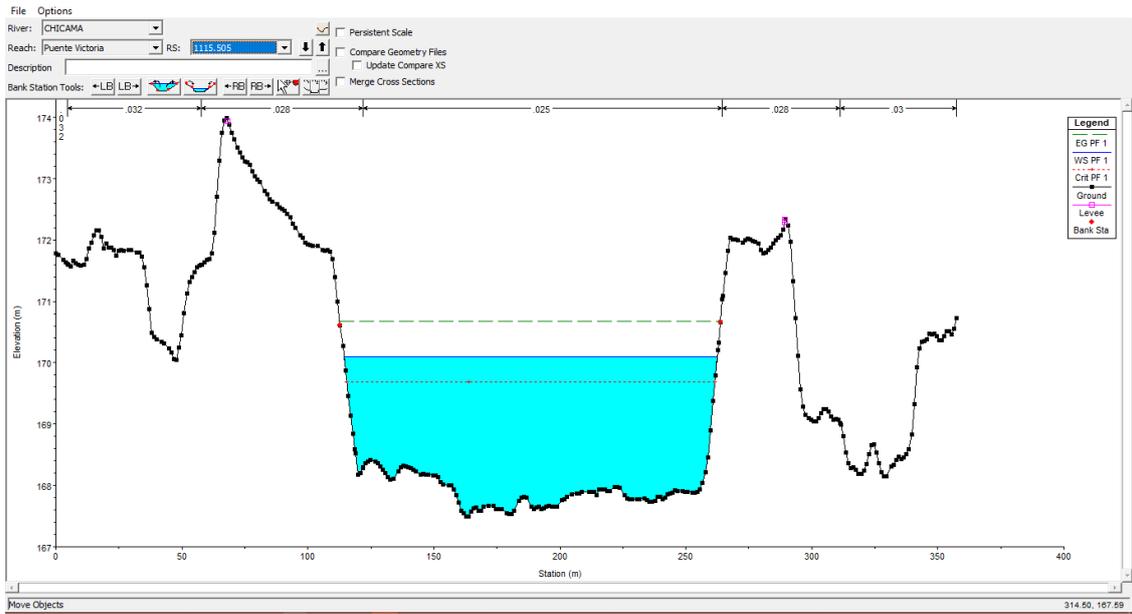


Figura 67: Sección aguas arriba del Puente Victoria con caudal Q3
Fuente: Propia

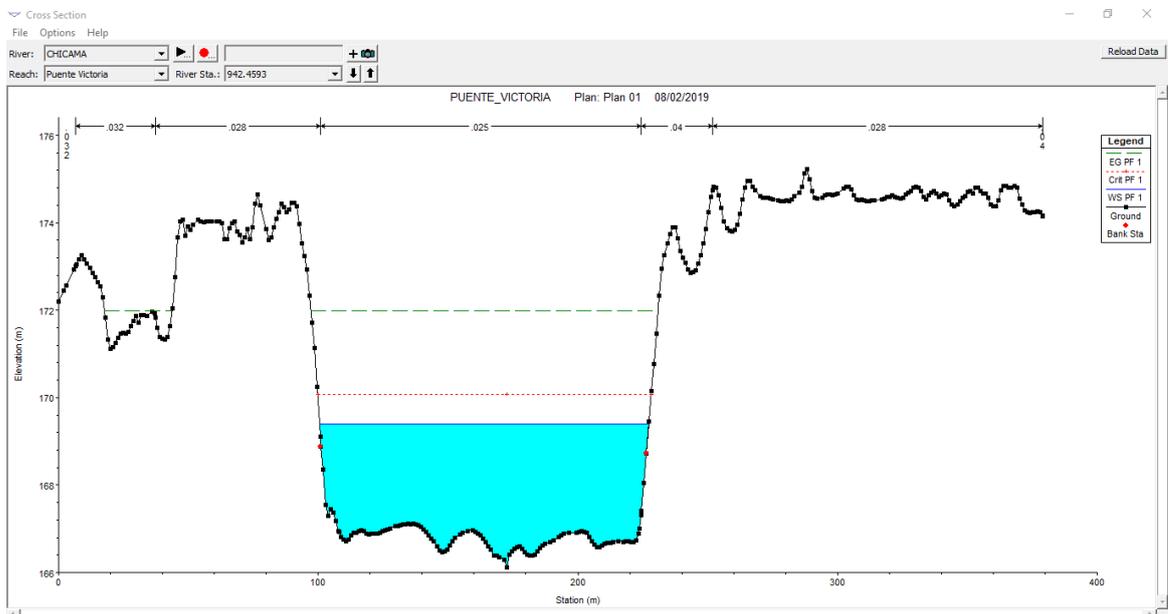


Figura 68: Sección aguas abajo del Puente Victoria con caudal Q3
Fuente: Propia

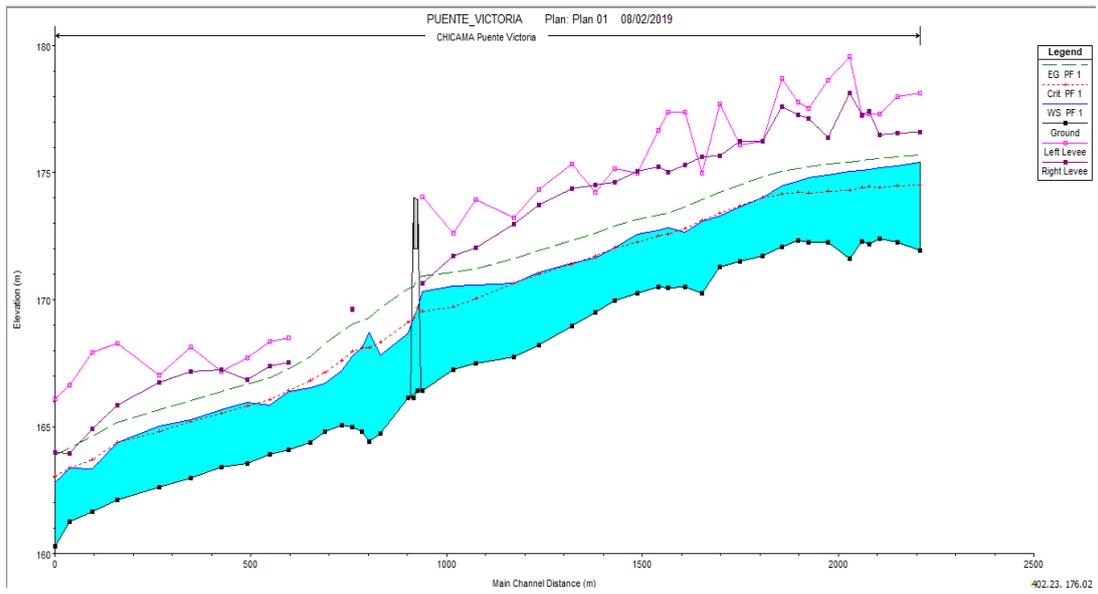


Figura 69: Perfil Longitudinal en HecRAS

Fuente: Propia

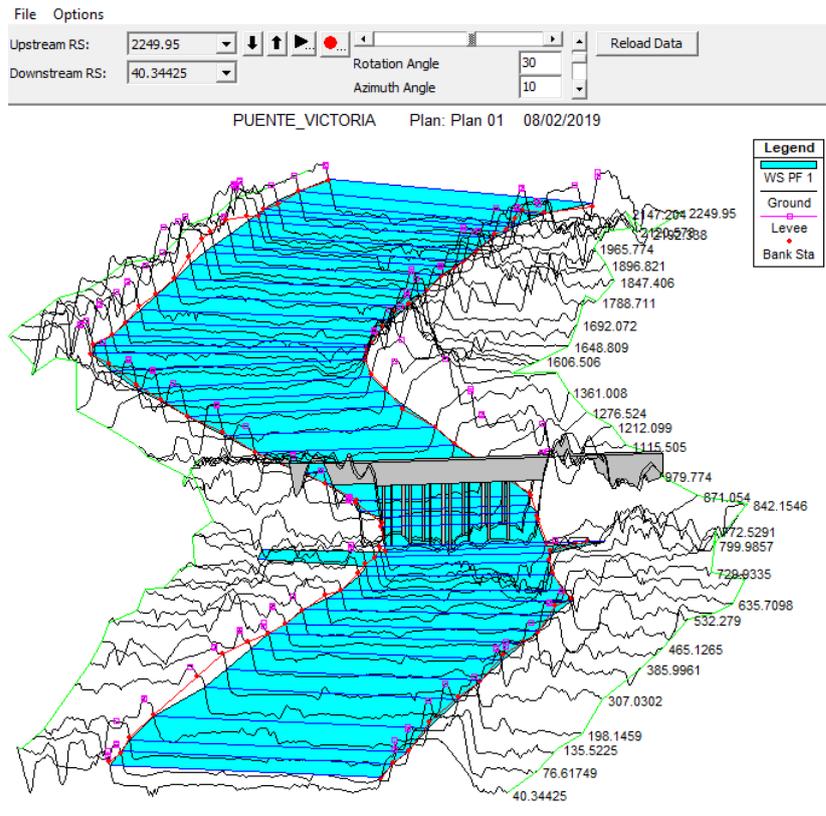


Figura 70: Vista de Rio Chicama y Puente Victoria en perspectiva en HecRAS

Fuente: Propia

PLANOS: