



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“MODELAMIENTO HIDRÁULICO PARA EL ESTUDIO DE LA SOCAVACIÓN LOCAL EN LOS PILARES DEL PUENTE SAN MARTÍN MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UN DISPOSITIVO REDUCTOR DE ENERGÍA DE FLUJO, RÍO CHILLÓN, LIMA, 2021.”

Tesis para optar el título profesional de:
INGENIERA CIVIL

Autora:

Marjorie Noemi Camizan Flores

Asesor:

Mg. Juan Miguel De La Torre Ostos

Lima - Perú

2021

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS

El asesor Mag. Juan Miguel de la Torre Ostos docente de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera profesional de INGENIERÍA CIVIL, ha realizado el seguimiento del proceso de formulación y desarrollo de la tesis de la estudiante:

- Camizan Flores, Marjorie Noemi

Por cuanto, **CONSIDERA** que la tesis titulada: MODELAMIENTO HIDRÁULICO PARA EL ESTUDIO DE LA SOCAVACIÓN LOCAL EN LOS PILARES DEL PUENTE SAN MARTÍN MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UN DISPOSITIVO REDUCTOR DE ENERGÍA DE FLUJO, RÍO CHILLÓN, LIMA, 2021 para aspirar al título profesional de: Ingeniero Civil por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, AUTORIZA al o a los interesados para su presentación.

Mag. Juan Miguel de la Torre Ostos

ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS

Los miembros del jurado evaluador asignados han procedido a realizar la evaluación de la tesis de la estudiante Marjorie Noemi, Camizan Flores para aspirar al título profesional con la tesis denominada: MODELAMIENTO HIDRÁULICO PARA EL ESTUDIO DE LA SOCAVACION LOCAL EN LOS PILARES DEL PUENTE SAN MARTIN MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UN DISPOSITIVO DISIPADOR DE ENERGPIA DE FLUJO, RÍO CHILLÓN, LIMA, 2021

Luego de la revisión del trabajo, en forma y contenido, los miembros del jurado concuerdan:

Aprobación por unanimidad

Aprobación por mayoría

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Desaprobado

Firman en señal de conformidad:

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos
Jurado
Presidente

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos
Jurado

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos
Jurado

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi papá Marlon Camizan Huaman y a mi mamá Beatriz Flores Acosta por ser los pilares más importantes de mi vida, por su unión, apoyo constante y desinteresado, porque me enseñaron sobre la perseverancia, sobre el amor, la amistad, y todos los valores que hoy me forjan como ser humano. Este no es solo mi logro y sueño sino también el de ustedes, los amo.

A mis hermanos Angello y Martin por ser el motivo de tantas complicidades y sonrisas, mis logros serán siempre los suyos, esto es por ustedes

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todos los ingenieros que me brindaron su conocimiento científico y paciencia que han sido invaluable para el desarrollo de esta investigación, a la Universidad Privada del Norte por haberme acogido en su seno científico en la formación de mi carrera profesional y a los docentes que me acompañaron durante dichos años, especialmente en memoria de aquellos a los que esta pandemia nos arrebató. Ing. Marquina, mil gracias hasta el cielo.

TABLA DE CONTENIDOS

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS.....	2
ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS	3
DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTO.....	5
ÍNDICE DE TABLAS	9
ÍNDICE DE ECUACIONES	11
ÍNDICE DE FIGURAS	12
RESUMEN.....	14
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. Realidad Problemática.....	15
1.2. Antecedentes	15
1.2.1. A nivel internacional.....	15
1.2.2. A nivel nacional.....	20
1.3. Estado de arte	25
1.4. Bases Teóricas.....	29
1.4.1. Socavación.....	29
1.4.2. Forma de socavación	29
1.4.3. Variables que influyen en la socavación.....	30
1.4.4. Modelamiento hidráulico.....	31
1.4.5. Caudal máximo de diseño.....	32
1.4.6. Canal abierto	32
1.4.7. Flujo en canales abiertos.....	33
1.4.8. Método de Froehlich.....	34
1.4.9. Coeficiente de rugosidad (Manning).....	35
1.4.10. Tirante hidráulico	36
1.4.11. Cauce	36
1.4.12. Caudal.....	36
1.4.13. Pilar	36
1.4.14. Avenida.....	36
1.4.15. Erosión.....	37
1.4.16. Pendiente del cauce.....	37

1.5.	Formulación del problema	37
	<i>1.5.1. Problemas específicos</i>	<i>37</i>
1.6.	Objetivos	37
	<i>1.6.1. Objetivo general</i>	<i>37</i>
	<i>1.6.2. Objetivos específicos.....</i>	<i>37</i>
1.7.	Hipótesis	38
	<i>1.7.1. Hipótesis general.....</i>	<i>38</i>
	<i>1.7.2. Hipótesis específicas.....</i>	<i>38</i>
CAPÍTULO 2. METODOLOGIA		39
2.1.	Tipo de investigación.....	39
	<i>2.1.1. Enfoque</i>	<i>39</i>
	<i>2.1.2. Diseño de investigación.....</i>	<i>39</i>
	<i>2.1.3. Tipo de investigación.....</i>	<i>39</i>
	<i>2.1.4. Alcance de investigación.....</i>	<i>40</i>
2.2.	Operacionalización de variables.....	41
2.3.	Población y muestra	42
2.4.	Materiales, instrumentos y métodos.....	42
2.5.	Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	43
2.6.	Validez y confiabilidad	43
2.7.	Desarrollo de los objetivos.....	44
2.8.	Aspectos éticos.....	45
CAPÍTULO 3. RESULTADOS		46
3.1.	Datos generales	46
	<i>3.1.1. Ubicación.....</i>	<i>46</i>
	<i>3.1.2. Características del área en estudio.....</i>	<i>46</i>
	<i>3.1.3. Análisis Hidrológico.....</i>	<i>46</i>
	<i>3.1.4. Levantamiento topográfico</i>	<i>49</i>
	<i>3.1.5. Estudio de mecánica de suelos</i>	<i>50</i>
	<i>3.1.6. Geometría de los pilares.....</i>	<i>53</i>
	<i>3.1.7. Geometría del dispositivo</i>	<i>53</i>
3.2.	Modelamiento.....	55
	<i>3.2.1. Froude</i>	<i>59</i>
	<i>3.2.2. Profundidad del flujo aguas arriba.....</i>	<i>63</i>
	<i>3.2.3. Profundidad de la socavación.....</i>	<i>71</i>

3.2.4. <i>Comportamiento del flujo</i>	72
3.2.5. <i>Otras condiciones observadas</i>	77
3.3. Prueba de hipótesis general	78
3.4. Respuestas a las preguntas de investigación	79
3.5. Respuestas a los objetivos de investigación	79
CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	81
4.1. Discusión	81
4.1.1. <i>Limitaciones</i>	83
4.1.2. <i>Implicancias</i>	84
CONCLUSIONES	85
RECOMENDACIONES Y POSIBLES INVESTIGACIONES	86
REFERENCIAS	87
ANEXOS	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Factor de corrección K_f	35
Tabla 2: Ubicación del puente en estudio	46
Tabla 3: Características de la cuenca	46
Tabla 4: Estaciones pluviométricas	48
Tabla 5: Valor del coeficiente de Manning a través del método de Cowan	51
Tabla 6: Froude en pilares sin el dispositivo	59
Tabla 7: Froude en pilares con G1	60
Tabla 8: Froude en pilares con G2	60
Tabla 9: Froude en pilares con G3	61
Tabla 10: Froude en pilares con G4	61
Tabla 11: Froude en pilares con G5	62
Tabla 12: Resumen de Froude en pilares	62
Tabla 13: Resumen de Froude en dispositivo	62
Tabla 14: Velocidad sin el dispositivo	63
Tabla 15: Velocidad en pilares con dispositivo G1	64
Tabla 16: Velocidad en pilares con dispositivo G2	64
Tabla 17: Velocidad en pilares con dispositivo G3	65
Tabla 18: Velocidad en pilares con dispositivo G4	65
Tabla 19: Velocidad en pilares con dispositivo G5	66
Tabla 20: Resumen de velocidades en pilares	66
Tabla 21: Resumen de velocidades en dispositivo	66
Tabla 22: Tirante en pilares sin el dispositivo	67
Tabla 23: Tirante en pilares con dispositivo G1	68
Tabla 24: Tirante en pilares con dispositivo G2	68
Tabla 25: Tirante en pilares con dispositivo G3	69
Tabla 26: Tirante en pilares con dispositivo G4	69
Tabla 27: Tirante en pilares con dispositivo G5	70
Tabla 28: Resumen de tirantes en pilares	70
Tabla 29: Resumen de tirantes en dispositivos	70
Tabla 30: Parámetros para el cálculo de socavación:	71
Tabla 31: Resumen de resultados del cálculo de socavación	72

Tabla 32: Número de Froude en pilares	72
Tabla 33: Datos para el cálculo de energía en dispositivo	77
Tabla 34: Resultado de energía en dispositivo	78
Tabla 36: Energía en pilares	78

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Ecuación de la energía	34
Ecuación 2: Método de Froehlich.....	34
Ecuación 3: Método de Cowan.....	35
Ecuación 4: Pendiente	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Flujo en canal abierto	34
Ilustración 2: Cuenca Chillón	42
Ilustración 3: Proceso de elaboración de la investigación	43
Ilustración 4: Cuenca del Río Chillón	47
Ilustración 5: Ubicación de estaciones pluviométricas.....	48
Ilustración 6: Superficie del área de estudio.....	49
Ilustración 7: Calicata.....	50
Ilustración 8: Fotografía tomada aguas arriba del proyecto en el mes de mayo	52
Ilustración 9: Fotografía tomada aguas abajo en el mes de mayo	52
Ilustración 10: Ubicación de pilares	53
Ilustración 11: Geometría 1 "G1"	54
Ilustración 12: Geometría 2 "G2"	54
Ilustración 13: Geometría 3 "G3"	54
Ilustración 14: Geometría 4 "G4"	55
Ilustración 15: Geometría 5 "G5"	55
Ilustración 16: Perforación de la malla con los 8 pilares sin el dispositivo	56
Ilustración 17: Superficie con pilares y G1	56
Ilustración 18: Superficie con pilares y G2	57
Ilustración 19: Superficie con pilares y G3	57
Ilustración 20: Superficie con pilares y G4	58
Ilustración 21: Superficie con pilares y G5	58
Ilustración 22: Froude en 8 pilares sin dispositivo.....	59
Ilustración 23: Froude en pilares con dispositivo G1	59
Ilustración 24: Froude en pilares con dispositivo G2	60
Ilustración 25: Froude en pilares con dispositivo G3	60
Ilustración 26: Froude en pilares con dispositivo G4	61
Ilustración 27: Froude pilares con dispositivo G5.....	61
Ilustración 33: Velocidad sin el dispositivo	63
Ilustración 34: Velocidad en pilares con dispositivo G1	63
Ilustración 35: Velocidad en pilares con dispositivo G2.....	64

Ilustración 36: Velocidad en pilares con dispositivo G3	64
Ilustración 37: Velocidad en pilares con dispositivo G4	65
Ilustración 38: Velocidad en pilares con dispositivo G5	65
Ilustración 39: Tirante en pilares sin el dispositivo	67
Ilustración 40: Tirante en pilares con dispositivo G1	67
Ilustración 41: Tirante en pilares con dispositivo G2	68
Ilustración 42: Tirante en pilares con dispositivo G3	68
Ilustración 43: Tirante en pilares con dispositivo G4	69
Ilustración 44: Tirante en pilares con dispositivo G5	69
Ilustración 45: Vectores en pilares con G1	73
Ilustración 46: Vectores en dispositivo G1	73
Ilustración 47: Vectores en pilares G2	74
Ilustración 48: Vectores en dispositivo G2	74
Ilustración 49: Vectores en pilares con G3	75
Ilustración 50: Vectores en dispositivo G3	75
Ilustración 51: Vectores en dispositivo G4	76
Ilustración 52: Vectores en dispositivo G5	76

RESUMEN

En la presente investigación: “Modelamiento hidráulico para el estudio de la socavación local en los pilares del puente San Martín mediante la aplicación de un dispositivo disipador de energía de flujo, Río Chillón, Lima, 2021” se realiza principalmente la prueba de 05 tipos de geometría para la propuesta de dispositivo que tiene por objeto reducir la socavación que es el resultado de la erosión causada por el agua, excavando y transportando material del lecho y de los bancos de los ríos en el caso real del puente San Martín. Para ello se realizaron estudios básicos de ingeniería en conjunto de softwares como el CIVIL 3D, HIDROESTA, HEC-HMS seguido del modelamiento a través de la herramienta IBER que facilitará el cálculo teórico de la socavación local mediante Froehlich, determinando así la influencia de la aplicación de este dispositivo en la estructura. Durante el desarrollo del trabajo se presentarán ensayos, diagramas y formatos que nos harán posible la medición de las variables de investigación y darán una idea más clara de la influencia de la aplicación del dispositivo como solución a la socavación local del puente. Finalmente, se observará el comportamiento del flujo a través del número de Froude y los vectores de velocidad aguas arriba y aguas abajo de los pilares y el dispositivo. Los resultados en la geometría G5 fue la que mejor desempeño obtuvo en el análisis de la socavación. Se contemplaron parámetros de velocidad, tirante, cota de elevación desde un nivel de referencia comprobando la efectividad del dispositivo como disipador de energía, en máximas avenidas. Se recomienda realizar pruebas físicas para estudiar el comportamiento en campo del dispositivo.

Palabras clave: socavación local, puentes, modelamiento hidráulico, dispositivo.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

La mayoría de las fallas de los puentes en el mundo son por socavación, principalmente debido a la socavación de sus pilas o estribos, habiéndose determinado que el 90% de las fallas se deben a este fenómeno (Smith, 1979). En la quincena del mes de marzo del año 2017, se registraron desbordes e inundaciones en diferentes tramos del Río Chillón, generando daños en viviendas, áreas de cultivo y vías de comunicación, siendo uno de los distritos más afectados el de Carabayllo en el que se vio comprometida una de las obras más añoradas por la población de este distrito de Lima Norte como es el puente San Martín; de 24 millones de soles, 3 Km. de vía de la Av. Camino Real (40,550 m². de pistas), un puente de 4 carriles de 90 m. de largo y 5,800 m² de veredas y rampas además unos 9 mil m² de áreas verdes y que según un artículo del diario el correo, estuvo a punto de colapsar. (Carabayllo: Puente a punto de colapsar, 2017, 17 de marzo). Incluir medidas adicionales de mitigación de erosión puede, potencialmente, mejorar su comportamiento frente a eventos extremos como las avenidas de baja probabilidad de ocurrencia. (Hidalgo Daniel, 2016, p11). Es por ello que en esta investigación se ha propuesto un dispositivo mediante un modelamiento en IBER con los datos reales obtenidos del estudio hidráulico, para poder estudiar la influencia de su aplicación en la magnitud de la socavación en los pilares del puente San Martín observando fenómenos que influyen en el comportamiento del flujo como el tirante, número de Froude, entre otros. Los datos de esta tesis sirven como indicador para futuros estudios experimentales a escala que sigan esta línea de investigación.

1.2. Antecedentes

1.2.1. A nivel internacional

Título: “THE LOCAL SCOUR AROUND BRIDGE PIERS—A REVIEW OF REMEDIAL TECHNIQUES”

En la India, (Bishwajit Singh, Tamphasana Devi, & Kumar, 2020) indican que el objetivo de su artículo es describir brevemente la mecánica del proceso de socavación local alrededor del pilar del puente y ofrece una revisión en profundidad de las diversas técnicas empleadas para el control y la protección de la socavación local. El dispositivo de blindaje común es la colocación de piedras riprap alrededor

del muelle. A pesar de la efectividad contramedida de blindaje, se enfrenta a algunas limitaciones, como la ineficacia de los costos y la susceptibilidad a la degradación del lecho del canal. Se estudia el rendimiento de varios dispositivos de alteración del flujo. La combinación de placa de ranura y collar puede ser una solución adecuada para prevenir la erosión local si está bien diseñado y construido correctamente. La combinación de tabla estacas permeables con riprap puede incluso reduzca la profundidad de socavación de manera efectiva hasta un 91% en condiciones de socavación de lecho vivo. La combinación de paletas y la placa del collar alrededor del pilar del puente da como resultado una menor extensión de socavación y produce un mayor potencial de rendimiento del 86,36% en comparación con el pilar sin protección. Aunque el dispositivo compuesto tiene un mayor potencial de reducción de la socavación que el dispositivo individual, no hay garantía que habrá una eliminación completa de la socavación local. Por lo tanto, se necesita más investigación para analizarla estabilidad de este dispositivo en el prototipo y la aplicación de campo y mejorar su eficacia.

Titulo: “EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF LOCAL SCOUR PROTECTION FOR CYLINDRICAL BRIDGE PIERS USING ANTI-SCOUR COLLARS”

En China, (Wang, Wei, Shen, & Xiang, 2019) indican que la socavación local de los pilares de los puentes es una de las principales amenazas responsables del daño del puente. La adopción de contramedidas contra la socavación para proteger los cimientos de los puentes contra la socavación se ha convertido en un importante tema para el diseño y mantenimiento de puentes ubicados en lechos de sedimentos erosionables. Este documento se centra sobre el efecto protector de una contramedida activa denominada "collar anti-socavación" en la socavación local alrededor del muelle de puente cilíndrico de uso común. Se instaló un modelo de pilar cilíndrico en una corriente canal artificial. Se seleccionó arena de río con un tamaño medio de partícula de 0,324 mm y se utilizó como sedimento en la cuenca. Se llevó a cabo un programa experimental de socavación en lecho vivo para estudiar el efecto protector de un collar antidesgaste comparando la socavación local en un modelo de pilar de puente cilíndrico con y sin collar. Los efectos de tres parámetros de diseño, incluida

la altura de instalación del collar, el collar externo Se investigaron el diámetro y el rango de protección del collar, sobre la profundidad de socavación y el desarrollo de socavación. paramétricamente. De acuerdo con los resultados experimentales, se puede concluir que: la aplicación de un el collar anti-socavación alivia eficazmente la socavación local en el muelle; y el efecto de protección disminuye con un aumento en la altura de instalación del collar, pero aumenta con un aumento en el collar externodiámetro y rango de protección. Sugerencias de diseño para mejorar el efecto protector de la socavación del collar antidesgaste se resume y tiene una gran importancia orientativa práctica para el desarrollo de collares antidesgaste para pilares de puentes

Título: “REVISION OF LOCAL SOCAVATION AROUND A PILE WITH DIFFERENT ROUGHNESS BY MEANS OF NUMERICAL SIMULATION AND PREDICTIVE EQUATIONS OF LABORATORY”

En México, (Millan Barrera, Salgado Maldonado, & Arroyo Correa, 2019) mediante su investigación aseveran que el flujo y la socavación alrededor de un pilar circular vertical expuesto a una corriente constante se simula con tres modelos dimensionales y los resultados se comparan con las ecuaciones que determinan la profundidad de socavación, se basan en datos de laboratorio y de campo. Este fenómeno se estudia en dos tipos de pilotes, el primero liso, el segundo uno con rugosidad imitando la superficie de una pelota de golf. Los resultados muestran que la profundidad de socavación alrededor de la pila con rugosidad aumentada en aproximadamente un 30%. Como era de esperar, los patrones de fondo se formaron alrededor de la pila eran más extensas en la dirección transversal que en la vertical. En cuanto a la comparación de resultados numéricos con las ecuaciones de datos de laboratorio, los resultados muestran muy poca concordancia entre ellos, están más cerca cuando se comparan con las ecuaciones modificadas, especialmente las propuestas por Arunachalam y Shein versión I, ambos métodos tienen en común que son unos de los más simples y que las variables involucradas en ellos se encuentran los parámetros hidráulicos y la geometría del muelle.

Título: “REDUCCION DE LA SOCAVACION LOCAL EN PILAS CIRCULARES
MEDIANTE EL USO DE RUGOSIDADES ARTIFICIALES”

En México, (Jimenez Perez, Roldán Herrera, & Uribe Chavez, 2006) en su investigación tienen como objetivo reducir el fenómeno de la socavación local al pie de una pila de fuente, por medio de estudios experimentales en un modelo hidráulico físico reducido, con la finalidad de que posteriormente se pueda aplicar en un caso real. El modelo físico propone diversas rugosidades artificiales en las pilas en las que se recomienda sean de concreto en las que se ensayó y dejó como resultado a la rugosidad denominada R4 como la más favorable, ya que presentó un volumen de socavación del 54% con respecto al volumen socavado de la pila lisa.

Título: “ESTUDIO FLUVIOMORFOLÓGICO DEL RÍO VINCES Y
DETERMINACIÓN DE LAS ÁREAS DE INUNDACIÓN DE LA ZONA DE
INFLUENCIA DEL PROYECTO PACALORI APLICANDO HEC- GEORAS”

En Ecuador, (Solano Zuñiga & Vintimilla Villavicencio, 2013) indican que el objetivo de su investigación es la calibración y obtención final de parámetros hidráulicos junto con las zonas de inundación para caudales de diferente periodo de retorno, esto aplicado al tramo del río Quevedo–Vinces enmarcado dentro del Proyecto Control del Agua de la Provincia de los Ríos “PACALORI con la implementación del modelo matemático HEC-GeoRAS para el análisis hidráulico del río Vinces con la incorporación de sistemas de información geográfica SIG y determinación de las áreas de inundación natural del río. Para ello se empleó información topografía existente a escala 1:10000 y batimetrías existentes en el río, los aforos ejecutados en el sector de Mocache servirá para la calibración y validación del modelo matemático. Se concluye que el uso de la extensión HEC-GeoRAS representa una herramienta muy valiosa, puesto que permite combinar los datos de los sistemas de información geográfica (GIS) con HEC-RAS., esta combinación facilita enormemente el trabajo y lo dota de una mejor calidad de presentación de resultados, con un esfuerzo mínimo en comparación con otros métodos tradicionales. El modelo hidráulico unidimensional HEC-RAS posee todas las capacidades necesarias para realizar una simulación en las condiciones previstas en el estudio. El coeficiente de rugosidad de Manning fue el parámetro variable con el cual se logró

la calibración correcta del modelo para así obtener una mejor aproximación a la realidad. Y la utilización de sistemas de información geográfica para el manejo de elevaciones de la lámina de agua es fundamental en la delimitación de las planicies de inundación, tanto para mediciones, como para la elaboración de mapas temáticos que muestren las zonas más vulnerables a riesgos por inundación.

Título: “MEDIDAS DE MITIGACIÓN AL EFECTO DE SOCAVACIÓN QUE SE PRESENTA EN EL CAÑO BUQUE, ENTRE EL PUENTE UBICADO EN LA VÍA BOGOTÁ A 1KM DEL TÚNEL BUENAVISTA AL PUENTE DE LA AV. 40 CERCA DE LA CLL. 15, APLICANDO SOLUCIONES DE INGENIERÍA”

En Colombia, (Castellanos Hernández, 2018) con su investigación pretende determinar las obras de ingeniería a realizar para mitigar de manera óptima la socavación en los distintos puntos críticos en el trayecto que va desde el puente ubicado en la vía Bogotá – Villavicencio, a 1Km del túnel Buenavista, al puente que está situado en la avenida cuarenta (40) cerca de la calle quince (15), en la cuenca media caño Buque. Con ayuda del software HEC-HMS se calcularon los caudales pico que aportaba cada una de las subcuencas siendo afectado este valor por: El hietograma unitario de precipitación, el área de la subcuenca, el periodo de retorno elegido, el número de curva y el tiempo de retardo (el cual equivale al 60% del tiempo de concentración). Estos datos fueron suministrados al software y se obtuvo los siguientes resultados: El que se hayan determinado altos valores de socavación y de erosión evidencian que las obras de mitigación en el cauce del caño Buque son necesarias para estar preparados frente a un evento extremo que podría suceder y poner en riesgo las edificaciones y personas que se encuentren en el margen de la ladera del cuerpo hídrico. Así mismo queda claro que este tipo de estudios son muy importantes en la labor del ingeniero en el caso de que se quiera hacer una obra aledaña al cauce de un cuerpo hídrico en donde es pertinente hacer estos estudios para estar preparados y evitar que haya daños a futuro. La citada tesis adolece de afirmaciones en sus resultados, por lo que sus conclusiones se presentan muy ambiguas, por otra parte, el estudio de investigación se asemeja a esta presente tesis debido a que se utilizan las metodologías para la determinación de los caudales pico con la herramienta HEC-HMS.

1.2.2. A nivel nacional

Título: “ESTUDIO DE SOCAVACIÓN EN ESTRUCTURAS DE PROTECCIÓN RIBEREÑA FUNDADAS SOBRE CAUCES VARIABLES DEL RIO CHILLÓN – PUENTE PIEDRA EN EL 2017”

En Lima, (Medina Oliva, 2018) indicó que el objetivo de la investigación es Analizar la socavación en estructuras de protección ribereña en cauces variables del rio Chillón, distrito Puente Piedra en el 2017, mediante métodos empíricos, obteniendo como resultados que, el cauce variable en función a los tipos de suelo, específicamente en la variación de los diámetros medios del suelo influye en la socavación local con una relación negativa, debido a que, si uno aumenta o disminuye, la otra parte se comporta en forma contraria, a su vez presenta un coeficiente de variación de ± 0.290 y teniendo como máximo y mínimo valor de socavación local de 2.82 m y 1.30 m respectivamente ante la variación del diámetro medio del suelo, por otro lado el cauce variable analizado en función a los radios del eje del rio posee una relación negativa ante la socavación en curva, debido que a mayor radio la socavación será menor y a mayor socavación el radio será menor, a su vez presenta un coeficiente de variación de ± 0.572 y teniendo como máximo y mínimo valor de socavación curva de 1.55 m y 0.40 m respectivamente ante la variación del radio del eje del río y finalmente el cauce variable y la socavación en estructuras de protección ribereña son estimadas por diferentes métodos empíricos con variación en sus resultados, en 76 el presente trabajo de investigación se obtuvo un coeficiente de variación de ± 0.057 y teniendo como máximo y mínimo valor de socavación en el rio Chillón de 1.30m y 1.20m respectivamente. Por lo mencionado los métodos empíricos van a depender del caudal, el tipo de suelo, el radio de curvatura el rio, entre otros factores que en su mayoría se encuentra considerados dentro de la formula a emplear.

Título: “FLUJOS EN RÍOS POR CAMBIOS DE SECCIÓN POR ACUMULACIÓN DE DEMOLICIONES – SECTOR: PUENTE SAN MARTÍN DE LA INTEGRACIÓN, RÍO CHILLÓN, LIMA - 2019”

En Lima, (Torres Artica, 2019) indica que el objetivo de la investigación fue Analizar los cambios de sección por acumulación de demoliciones en los flujos del

río en el sector puente San Martín de la integración río Chillón en Lima – 2019 en el cual se tomó un tramo de 834 metros para el estudio de su comportamiento, las teorías que son análisis de datos estadísticos de datos hidrológicos, prueba de bondad de ajuste, velocidad de flujo, Parámetro morfo - métrico, Sección transversal y Caudal. El método de investigación usado fue el científico, con un enfoque cuantitativo, con un nivel de profundidad explicativa, de tipo aplicativa, con una estrategia de diseño no experimental, la muestra usada fue el sector puente San Martín de la integración, el instrumento usado fue una ficha de evaluación hidráulica, como resultado se obtuvo que la aplicación de tiempo de retorno para la zona de estudio es de 140 años, pero para observar diferencias entre los dos perfiles es necesario uno mayor como es el de 500 años usando la función de distribución Normal dando un caudal de diseño de 58.49 m³/s usando el método error cuadrático mínimo prueba de bondad de ajuste χ^2 y Kolmogorov & Smirnov usando un Manning de 0.088 para el perfil generado por las imágenes DEM y el levantamiento topográfico se obtuvo $Fr < 1$ en ambos perfiles, observando que el primer perfil se ve afectado por desbordes, en conclusión al disminuir las secciones transversales el riesgo por inundación aumenta esto se observa en el primer perfil el cual tiene un tirante máximo de 3.83 metros en la zona más crítica, mientras que el segundo es de 1.92 metros por lo que no se observa ese efecto en el segundo perfil.

Título: “MODELAMIENTO HIDRÁULICO DEL CAUCE EN RÍO HUAYCOLORO MEDIANTE EL PROGRAMA HECRAS PARA MITIGAR LAS INUNDACIONES EN HUACHIPA, 2018”

En Lima, (Quispe Quiñonez & Rojas Felix, 2018) indicaron que el propósito de su investigación es realizar el modelamiento hidráulico del río Huaycoloro con el fin de identificar los tramos críticos y así proponer la mejor solución de defensas ribereñas para llegar a dicho propósito se tuvo que estudiar bien la zona y obtener la información de cómo es la geometría actual del río “Huaycoloro”. La información a través de un levantamiento topográfico altimétrico-plan métricos. Además, se llegó a conocer las propiedades del suelo que compone tanto el lecho del río como el de los márgenes, las cuales se llegó a conocer las propiedades del suelo realizando un estudio de mecánica de suelos, mediante diversos ensayos en los laboratorios que nos

dio resultados los cuales son importantes para el diseño de defensas ribereñas. Estos estudios recabados cumplieron una función de ayudar en el modelamiento hidráulico. En conclusión, con los resultados obtenidos del programa se conoció los distintos puntos, críticos y vulnerables existentes en la zona de estudio, por lo cual para su solución se planteó el diseño de muros de gaviones ya que viene a ser la solución más viable y económica Palabras clave: modelación hidráulica, Hec-ras, defensa ribereña

Título: “MODELAMIENTO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO RUNICHINCHAY PARA EL DISEÑO DEL PUENTE RUNICHINCHAY, PROVINCIA DE HUARI, ANCASH”

En Lima, (Terry Cerdeña, 2019) indico que el objetivo de la investigación es Realizar el modelamiento hidrológico e hidráulico del río Runichinchay, para el diseño del puente Runichinchay, mediante los datos de precipitación máxima en 24 horas (Pp máx. 24 hr.) de la estación pluviométrica Chavín, se hizo el análisis y procesamiento de la información pluviométrica, así como, las pruebas estadísticas necesarias y la bondad de ajuste por los métodos de chi cuadrado y Kolmogorov – Smirnov para determinar la función de distribución probabilística que mejor se ajusta a los datos de Pp máx. 24 hr. y así poder obtener la precipitación máxima de diseño para los periodos de retorno de 140 años y 500 años, que son periodos de retorno seleccionados para el diseño hidráulico del puente y el cálculo de la socavación local en estribos respectivamente, posteriormente con la estimación de caudales para los periodos de retorno mencionados modelados en el software HEC HMS con los métodos para la perdida y transformación precipitación-escorrentía del SCS y el hidrograma SCS respectivamente se hizo el modelamiento hidráulico con apoyo del software HEC RAS, cabe mencionar que se hizo la calibración y validación de caudal con la marca de agua registrada en campo y utilizando los software de computo también mencionados (HEC HMS y HEC RAS), los parámetros que se precisaron obtener como resultados del modelamiento hidráulico son: la luz del puente y la altura libre, se obtuvieron estas dimensiones hidráulicas del puente a partir del modelamiento hidrológico e hidráulico con los software HEC HMS Y HEC RAS respectivamente.

Título: “MODELAMIENTO HIDRAULICO DEL RIO CAÑETE SECTOR PUENTE SOCSI - ALTURA PUENTE COLGANTE (9 KM), CON FINES DE DISEÑO DE DEFENSAS RIBEREÑAS”

En Lima, (Tito Quispe, 2017) indicó que el objetivo de la investigación es identificar las áreas vulnerables a las inundaciones, específicamente en la zona comprendida desde el Puente Socsi hasta 9 km arriba, el puente Colgante en la localidad del Lunahuana – Cañete. A través del modelamiento hidráulico en HEC-RAS se obtuvo la información para el diseño de defensas ribereñas, para un escenario poco probable en un tiempo de retorno de 50 años. Se utilizó los datos hidrométricos provenientes de la estación hidrométrica de Socsi, que fueron ajustados a través de distribuciones probabilísticas como Log-Normal, Log-Pearson III y Gumbel. Trabajó la geometría del río con planos topográficos a través de HEC-GeoRAS, y las características hidráulicas con HEC-RAS. El estudio de mecánica de suelos, se usó para la determinación del ángulo de fricción interna utilizando las ecuaciones de Meyerhof, posteriormente se procedió a aplicar el método Altunin para encauzamiento, teniendo en cuenta la pendiente del río. Después se realizaron los cálculos hidráulicos y el diseño de la defensa ribereña. Los resultados indican que el método Gumbel es el más adecuado según el método gráfico, el caudal para un periodo de retornos de 50 años es de 757.53 m³/s, se determinó la capacidad portante del suelo 1.75 kg/cm² y su profundidad de socavación de 2 m, el método de encauzamiento de Altunin determinó un ancho de 80 metros, la altura de muro dio como resultados de 4 metros, finalmente el análisis de estabilidad cumplió para el diseño propuesto.

Título: “MODELAMIENTO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO BIDIMENSIONAL DEL RÍO MARAÑÓN SECTOR PUENTE TINGO CHICO. CARRETERA HUÁNUCO-CONOCOCHA”

En Lima, (Bolívar Bello, 2020) indicó que objetivo de este trabajo de tesis es realizar el modelamiento hidrológico e hidráulico bidimensional del río Marañón para el pre dimensionamiento del puente Tingo Chico. Las precipitaciones máximas en 24hr y caudales máximos se analizaron para poder realizar el modelamiento en HEC-HMS. La fase hidráulica fue modelada en HEC-RAS 2D e IBER para estimar profundidades de socavación general y localizada. Se observó que el comportamiento

aguas arriba del puente en el que predomina el régimen subcrítico, donde se presentan los tirantes más altos y las velocidades más bajas. En la sección del puente el flujo transita en régimen subcrítico con velocidades moderadas. Aguas abajo del puente, las velocidades más altas y los tirantes más bajos se presentan en la zona donde el régimen es supercrítico. En esta investigación se asevera que, los modelos HEC-RAS 2D e IBER proporcionan resultados confiables, una de las limitaciones de HEC-RAS 2D es que no cuenta con capacidades de modelado de puentes dentro de un área de flujo 2D, sin embargo, la similitud de los resultados se debe a que el puente proyectado respeta el ancho natural del cauce.

Título:” MODELAMIENTO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RÍO SAN RAMÓN PARA EL DISEÑO DEL PUENTE EVITAMIENTO, PROVINCIA DE SATIPO, JUNÍN”

En Lima, (Diaz Aguilar, 2019) indicó que el objetivo realizar un modelo hidrológico e hidráulico del río San Ramón en el departamento de Junín para el diseño del puente Evitamiento, que beneficiará con el acceso rápido a las comunidades cercanas; mejorando la productividad y comercio que genera mayor desarrollo en la zona. Para dicho fin se ha evaluado las precipitaciones máximas en 24 horas de las estaciones disponibles más representativas en la cuenca San Ramón y se realizó la prueba de bondad y ajuste comparando los métodos de Error Cuadrático Mínimo, Kolmogorov y Chi cuadrado para predecir la función de distribución que más se ajuste así poder determinar la precipitación máxima en el periodo de retorno requerido, seguidamente se calculó los caudales de avenidas para diferentes periodos de retorno mediante los métodos de Transformación Precipitación – Escorrentía más conocidos, que son el Hidrograma Unitario de Snyder e Hidrograma Unitario Triangular. En el modelamiento hidráulico se ha determinado los niveles máximos extraordinarios que llega del río (NAME), la socavación total y ancho estable del cauce. Finalmente se calibró en campo mediante las huellas máximas y se obtuvo las dimensiones hidráulicas requeridas para el diseño del puente Evitamiento en el Rio San Ramón.

Título: “ESTUDIO DE SOCAVACIÓN DE LA SUBESTRUCTURA DE PUENTE Y ANÁLISIS DE ESTABILIDAD – CASO PUENTE NICOLÁS DUEÑAS DE LA CIUDAD DE LIMA EN EL 2017”

En Lima, (Chirinos Sota , 2017) se estimó la socavación general de 2.84 metros por el método de Lischtván – Levediev, la socavación en estribos de 5.09 metros por el método de Froehlich, la socavación en el pilar de 2.84 metros teniendo como resultado la socavación total en el pilar de 5.48 metros con un coeficiente de variación de +/- 0.08 y una socavación total para estribos de 7.42 metros con un coeficiente de variación de +/- 0.52, del mismo modo el análisis de estabilidad del estribo in situ da como resultado una estabilidad aceptable, sin embargo ante el paso de una máxima avenida el puente sufriría imperfecciones. Concluyendo que con un análisis adecuado de los factores y parámetros que intervienen en el proceso erosivo y el uso correcto de las metodologías existentes, se pueden estimar con mayor exactitud las profundidades de los tipos de socavación, a fin de disminuir las fallas de puentes debido a este fenómeno, recomendando un diseño de protección para contrarrestar una socavación local y general

1.3. Estado de arte

Título: “MODELAMIENTO HIDRAULICO PARA EL ESTUDIO DE LA SOCAVACIÓN EN PILARES DE PUENTES Y ANALISIS DE LOS MÉTODOS PARA SU CALCULO”

En Arequipa, (Rojas Gomez, 2014) indica que tiene como objetivo determinar un método que permita el cálculo de la profundidad de desgaste del lecho que se desarrolla generalmente con gran rapidez durante una avenida y determinar la aplicabilidad de los métodos existentes para el cálculo de tal profundidad, recomendando la utilización de aquellos métodos que mejor resultado ofrezcan de esta manera contribuye a la efectividad en el momento de estimar el tiempo de diseño adecuado para la cimentación de puentes sobre el lecho de un río. Como resultado en esta investigación se asevera que el impacto del flujo de agua frente al Pilar formó ondas que eran las responsables de la formación de la fosa de socavación, tal fosa tenía relación respecto a la onda formada en la superficie. Adicionalmente se observó los flujos vorticosos

producto de la presencia del pilar en el flujo (Vórtice de herradura y Vórtice de estela). un fenómeno que se notó en la totalidad de ensayos con la granulometría gruesa fue el de acorazamiento, proceso que consiste en arrastrar las partículas finas del lecho y dejar las partículas más grandes sobre. Esto generaba que dichas partículas arrastradas se depositaran dentro de la fosa de socavación después el proceso de socavación, generando así un ciclo repetitivo de socavación y depósito. Los resultados determinaron la confiabilidad de las ecuaciones presentadas y la formulación de un método de cálculo con buenos resultados de ajuste para datos medidos en puentes de la vida real.

Título: “ESTUDIO HIDRÁULICO Y ESTIMACIÓN DE SOCAVACIÓN EN EL PUENTE INTERCONEXIÓN MUYURINA- AYACUCHO”

En Ayacucho, (Enciso Navarro, 2015) indica que tiene como objetivo desarrollar los fundamentos para la estimación de socavación máxima, estimada a partir del desarrollo de modelos determinísticos para el puente Muyurina. En los resultados obtenidos en la investigación se tienen que el programa HEC-RAS permite al usuario seleccionar la ecuación de HIRE o FROEHLICH para calcular la profundidad de socavación al pie de estribos de puentes, o por defecto el programa selecciona automáticamente teniendo en cuenta los valores de la relación Longitud de estribo entre tirante de flujo ($1/Y$). Cuando $1/Y$ es mayor que 25, el programa selecciona automáticamente la ecuación de HIRE y cuando el valor de $1/Y$ es menor o igual que 25, selecciona la ecuación de FROEHLICH, estos valores de profundidad de socavación calculados con la ecuación de FROEHLICH arrojan profundidades hasta 10% mayores. El programa HEC-RAS utiliza modelos determinísticos tales como es el de Saint Venant en su forma Unidimensional la solución se da con diferencias finitas, y con modelos propios para determinar los tirantes para cada sección tales como Energy (Standard Step), Momentum y Yarnell.

Título: “EVALUACIÓN DE MÉTODOS PARA EL CALCULO DE LA SOCAVACIÓN EN PUENTES. CASO DEL PUENTE SOBRE EL RIO SHANUSI EN EL DISTRITO DE YURIMAGUAS, PROVINCIA DE ALTO AMAZONAS, 2018”

En Trujillo, (Esteves Diaz, 2018) indica que tiene como objetivo determinar el mejor método para el cálculo de la profundidad de socavación general y en estribos que represente adecuadamente las condiciones del lecho del río Shanusi. Mediante métodos para el cálculo de la socavación en puentes contemplados en el manual de hidrología, hidráulica y drenaje del MTC, tanto para la socavación general: método de velocidad crítica y agua clara, método de Litchvan-Levediev y método de Laursen como para la socavación en estribos: método de Liu, Chang y Skinner, método de Artamonov, método de Laursen, método de Froehlich, método de Melville y método de HIRE mediante el modelamiento hidráulico en los programas ArcGis y HEC-Ras. Los resultados determinaron que la mejor metodología para el cálculo de la profundidad de socavación general que representa adecuadamente las condiciones del lecho del río Shanusi es la del método de Litchvan-Levediev mientras que para la socavación local en estribos tenemos el método de Artamonov ya que, de acuerdo a la contrastación y simulación en software, son los que mejor se adecúan a la llanura amazónica y sus valores son, como se muestran en éste estudio, conservadores sin sobredimensiones.

Título: MODELAMIENTO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA CONTROL DE SOCAVACIÓN DE ESTRIBOS DEL PUENTE MARITA DE LA CARRETERA SANCOS SACCSAMARCA, PROVINCIA DE HUANCA SANCOS -AYACUCHO
En Ayacucho, (Quispe Ccahuin, 2019) considerando los caudales máximos para evitar el colapso de dicho puente con el análisis hidrológico de la cuenca del río Caracha hasta el punto de aforo que es el lugar donde se tiene el puente carrozable Marita, donde se inicia los estudios topográficos, el estudio hidrológico y el posterior tránsito hidráulico y así el análisis a nivel de Hidráulica Fluvial para finalmente derivar cierta cantidad de agua por un aliviadero y llegar a una conclusión. Para el presente trabajo fue necesario recopilar informaciones teóricas, obtener datos de la zona de estudio, datos de precipitaciones pluviales, levantamiento topográfico de la zona de estudio, estudio del suelo para el cálculo de la socavación, así como el estudio del material de transporte y software como el HEC HMS y el HEC RAS, con lo que se hizo un modelamiento hidráulico y así conocer los niveles de agua adecuado en el puente y el aliviadero respectivo. Concluyendo que reduciendo el paso del agua por debajo del

puente y derivando la diferencia por una alcantarilla de alivio, se controlará la socavación de los estribos del puente Marita.

Título: “SOCAVACIÓN PRODUCIDA POR EL RÍO HUALLAGA AL PUENTE COLPA ALTA EN LA PROVINCIA DE HUÁNUCO, UTILIZANDO LOS MÉTODOS DE ARTAMANOV, STRAUB Y MAZA, EN EL HEC-RAS”

En Piura, (Elbio Felipe, 2016) indica que tiene como objetivo presentar una guía para el cálculo de socavación de puentes mediante la aplicación de los Métodos de Artamonov, Straub y Maza. Los diferentes tipos de socavación que se presentan en el lecho del río son: normal o general, transversal, por estrechamiento de cauce, por erosión local por la presencia de pilas y estribos. Para el análisis de la socavación general en el cauce se empleó el Método de Artamonov, para el análisis de la socavación transversal utilizamos el Método de Straub, para el análisis de la socavación local o en estribos se usó el método de Maza. Para la presente tesis se tomó parámetros hidráulicos que el HEC –RAS nos proporciona, con el objetivo de aplicar los tres métodos propuestos. Los resultados arrojados fueron que para realizar el modelamiento hidráulico con el HEC-RAS, es muy importante tener un levantamiento topográfico muy preciso que nos permita obtener secciones transversales reales de la zona de estudio, garantizando así un adecuado modelamiento y la obtención de parámetros hidráulicos confiables. Efectuar el estudio hidrológico de la cuenca donde se realizará el proyecto de un puente es importante para conocer el caudal de diseño en un periodo de retorno determinado, con el objetivo de garantizar un modelamiento hidráulico confiable utilizando el HEC.-RAS. Realizar la granulometría del material de la zona para determinar el diámetro medio (D50 es necesario en la hidráulica de puentes.

Título: “ESTUDIO HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y DE SOCAVACIÓN PARA CONTRAMEDIDAS EN DOS TRAMOS PROBLEMÁTICOS DEL RÍO CORROGRES, SANTA ANA”

En Costa Rica, (Rivering, 2015), indican que tiene como objetivo el análisis hidrológico de la cuenca tributaria así como la mecánica fluvial (hidráulico, evolución morfológica y socavación) que permite anticipar las condiciones hidráulicas y de

socavación a las que estarían sujetas ya sean las obras de protección en el primer caso, o el nivel de riesgo de viviendas y/o personas en el segundo caso. Las modelaciones se hicieron para un periodo de retorno de 20 años, tanto para la condición actual de la cuenca como para la proyección a 20 años del crecimiento urbano según la evolución del uso del suelo de años anteriores. El modelo bidimensional se realizó con CCHE-2D.

1.4. Bases Teóricas

1.4.1. Socavación

La socavación consiste en el levantamiento y transporte de los materiales del lecho del río en el momento de una avenida o creciente, o por la construcción de una obra dentro del cauce. Debe diferenciarse la socavación de la erosión no recuperable en el sentido de que después de que pase la avenida o se elimine la causa de la socavación en procesos posteriores, comúnmente se vuelven a depositar sedimentos en un proceso cíclico, y se puede recuperar el nivel del fondo del cauce. La socavación está controlada por las características hidráulicas del cauce, las propiedades de los sedimentos del fondo y la forma y localización de los elementos que la inducen. (Suarez Diaz, 2001)

1.4.1.1. Socavación local en pilas

La socavación local es la eliminación de los sedimentos alrededor de los elementos estructurales que se encuentran en el flujo del agua. Esto significa el descenso del nivel del lecho del río por la erosión del agua, de tal manera que hay una tendencia para exponer la cimentación de los puentes como resultado de la acción erosiva de las corrientes de agua, a medida que la erosión progresa continuamente, socava los cimientos de la estructura originando el colapso de ésta (Khwairakpam y Mazumdar, 2006).

1.4.2. Forma de socavación

1.4.2.1. Socavación en lecho móvil

Se presenta cuando hay transporte de sedimentos del lecho desde aguas arriba hasta el sitio del lugar de construcción de un puente, quedando por lo tanto parte de este sedimento atrapado en el hueco de socavación. (Freire & Ruilova, 2012).

1.4.2.2. Socavación en agua clara

Se presenta cuando no hay transporte de sedimentos del lecho desde aguas arriba al sitio del lugar de construcción de un puente, por la cual no hay reabastecimiento del hueco socavado. (Freire & Ruilova, 2012).

1.4.3. Variables que influyen en la socavación

1.4.3.1. La geomorfología

La geomorfología es la ciencia que estudia el cambio de la forma de la superficie terrestre a través del tiempo. Un río puede cambiar su profundidad, ancho, el curso y el régimen en forma temporal o progresiva. Cualquier efecto de contracción por presencia de obstáculos o la existencia de curvas alteran la morfología del cauce, produciendo un efecto de socavación. (Quispe Ccahuin, 2019)

1.4.3.2. Granulometría

La curva granulométrica del material del lecho es fundamental en la determinación de los diámetros característicos de las partículas, ya que permiten establecer si se va a utilizar un solo diámetro como representativo para calcular la tasa de transporte de sedimentos o si se deben emplear intervalos de clase. (Quispe Ccahuin, 2019)

1.4.3.3. Forma de las partículas

La forma es una característica no muy importante para el fenómeno de la socavación, pero junto con el tamaño, define alguna de sus propiedades físicas. La forma se puede determinar a través de la redondez, la esfericidad y el factor de forma. (Quispe Ccahuin, 2019)

1.4.3.4. Peso específico

El peso específico relativo de un cuerpo, es la razón entre su peso y el de un volumen igual de agua destilada a la temperatura de 4°C. El peso específico absoluto es la relación entre peso y volumen. (Quispe Ccahuin, 2019)

1.4.3.5. Geometría del cauce

La geometría del cauce está representada por la pendiente longitudinal y por las características de la sección transversal.

Pendiente longitudinal: Factor relevante que influye en la capacidad del cauce para el transporte de sedimentos, debido a que afecta directamente en la velocidad del agua. Cuando la pendiente sobrepasa el 3% se presentan velocidades tan altas

que pueden mover o cargar sedimentos de diámetros mayores a 5 cm además de los sólidos que ruedan por lubricación del agua. En los períodos que tienen un caudal más o menos estable es posible relacionar las pendientes con los caudales, utilizando registros de aforos. (Quispe Ccahuin, 2019)

Sección transversal: En canales naturales las secciones son irregulares y su medición se hace a través de levantamientos topográficos. Las magnitudes y frecuencias de estas variaciones dependen del régimen de caudales, de la capacidad de transporte de sedimentos, y del grado de estabilidad del cauce. (Quispe Ccahuin, 2019)

1.4.3.6. Régimen de flujo

El régimen de flujo en un tramo particular de una corriente natural se clasifica en función del Número de Froude, el cual es una relación adimensional entre fuerzas de inercia y de gravedad. En el régimen supercrítico ($F > 1$) el flujo es de alta velocidad, propio de cauces de gran pendiente o ríos de montaña. El flujo subcrítico ($F < 1$) corresponde a un régimen de llanura con baja velocidad. El flujo crítico ($F = 1$) es un estado teórico en corrientes naturales y representa el punto de transición entre los regímenes subcrítico y supercrítico. (Quispe Ccahuin, 2019)

1.4.4. Modelamiento hidráulico

La modelación se ha desarrollado notablemente en el campo de la hidráulica, existen evidencias de estudios de diseños hidráulicos realizados desde tiempos antiguos, mediante pequeñas representaciones de estructuras y máquinas, por los cuales se ha llegado a enunciar principios fundamentales en la hidráulica. (Rojas Gomez, 2014).

1.4.4.1. Clasificación general de los modelos hidráulicos

1.4.4.1.1. Modelo físico

Es la simulación física de un fenómeno hidráulico, que ocurre en relación con una obra de ingeniería, en un sistema semejante simplificado que permite observarlo y controlarlo con facilidad, además confirmar la validez del diseño de la obra, optimizarla o tomar nota de los efectos colaterales, que deberán ser considerados durante la operación de la misma. (Rojas Gomez, 2014)

1.4.4.1.2. Modelo analógico

Es la reproducción de un fenómeno en estudio de un prototipo en un sistema físico diferente al original (modelo), pero que aprovecha la similitud de las leyes matemáticas que gobiernan el fenómeno en ambos sistemas. Su uso no es muy frecuente en la actualidad. (Rojas Gomez, 2014)

1.4.4.1.3. Modelo matemático

En estos se hace uso de expresiones matemáticas que definen un fenómeno en análisis de manera simplificada en un prototipo. Este tipo de modelo se divide en determinístico, estocástico y simulación numérica. En los modelos determinísticos los procesos se expresan con relaciones funcionales determinísticas, pero no considera la probabilidad de ocurrencia del fenómeno. Por otro lado, en los modelos estocásticos si se involucra el fenómeno y se hace uso de variables probabilísticas y aleatorias. Finalmente, en los modelos de simulación numérica se emplean ecuaciones diferenciales y condiciones iniciales de borde, que son resueltos utilizando técnicas de análisis numérico, tales como métodos de diferencias finitas y elementos finitos. (Rojas Gomez, 2014)

1.4.4.2. Modelo bidimensional en Iber

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. (Bolívar Bello, 2020)

1.4.5. Caudal máximo de diseño

Según (MTC, MANUAL DE PUENTES, 2018) la estimación de los caudales máximos para diferentes periodos de retorno y según distintos métodos probabilísticos; en todos los casos se recomienda llevar a cabo una prueba de bondad de ajuste de los distintos métodos de análisis de frecuencia (Gumbel, Log - Pearson Tipo III, Log – Normal, etc.) para seleccionar la mejor distribución. Además, pueden los resultados pueden ser corroborados mediante factores obtenidos a partir de un análisis regional o, evaluando las huellas de nivel de la superficie de agua dejadas por avenidas extraordinarias recientes.

1.4.6. Coeficiente de Compacidad (Kc)

El coeficiente de compacidad nos indica la relación que existe entre el perímetro de la cuenca y de un círculo de área similar. Si el valor de K_c es igual a la unidad indica que la cuenca tiene forma circular, lo que permite mayor oportunidad de crecientes, ya que los tiempos de concentración serán iguales para todos los puntos, si por el contrario el valor de K_c supera la unidad se trata de una cuenca que tiende a ser alargada. La tendencia a mayores caudales de avenida es más acentuada cuanto más próximo a la unidad es el valor de K_c . (Chirinos Sota , 2017) Su relación es:

Ecuación 1: Coeficiente de compacidad

$$k_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

1.4.7. Canal abierto

Según (VEN TE CHOW, 2000) un canal abierto es un conducto en el cual el agua fluye con una superficie libre. De acuerdo con su origen un canal puede ser natural o artificial. Los canales naturales incluyen todos los cursos de agua que existen de manera natural en la tierra, las cuales varían en tamaño desde pequeños arroyuelos en zonas montañosas, hasta quebradas, arroyos, ríos pequeños y grandes, y estuarios de mareas. Las corrientes subterráneas que transportan agua con una superficie libre también son consideradas como canales abiertos naturales. Las propiedades hidráulicas de un canal natural por lo general son muy irregulares. En algunos casos pueden hacerse suposiciones empíricas razonablemente consistentes con las observaciones y experiencias reales, de tal modo que las condiciones de flujo en estos canales se vuelven manejables mediante el tratamiento analítico de la hidráulica teórica. Un estudio completo sobre el comportamiento de flujo en canales naturales requiere el conocimiento de otros campos, como hidrología, geomorfología, transporte de sedimentos, etc. Este constituye, de hecho, un tema de estudio por sí mismo, conocido como hidráulica fluvial.

1.4.8. Flujo en canales abiertos

La energía está representada por la línea conocida como línea de gradiente de energía o simplemente, línea de energía. La pérdida de energía que resulta cuando el agua fluye desde la sección 1 hasta la sección 2 está representada por h_f . Con propósitos de simplificación, se supone que el flujo es paralelo y que tiene una distribución de velocidades uniforme y que la pendiente del canal es pequeña. En este caso, la

superficie de agua es la línea de gradiente hidráulico, y la profundidad del agua corresponde a la altura piezométrica. (VEN TE CHOW, 2000)

Ilustración 1: Flujo en canal abierto



Fuente: Hidráulica de canales

Ecuación 2: Ecuación de la energía

$$z_1 + y_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + h_f$$

$$h_f = 0; \alpha_1 = \alpha_2 = 1$$

$$z_1 + y_1 + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Donde:

v: Velocidad del flujo

g: Gravedad

z: Altura de la cota desde una línea de referencia

y: Distancia perpendicular de la superficie del agua al fondo del canal.

1.4.9. Método de Froehlich

Según (MTC, MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y DRENAJE, 2012)

Una ecuación desarrollada por el Dr. David Froehlich es usada por el programa HEC-RAS (1998) como una alternativa a la ecuación de la Universidad Estatal de Colorado (CSU).

Ecuación 3: Método de Froehlich

$$ys = 0.32K_f(a')^{0.62}h^{0.47}F_r^{0.22}D_{50}^{-0.09} + a$$

Donde:

Ys: Profundidad de socavación local (m)

Kf: Factor de corrección por forma del pilar.

a': Ancho proyectado del pilar con relación al ángulo de ataque del flujo (m)

a: Ancho del pilar adicionado como un factor de seguridad (m)

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

Fr: Numero de Froude en la sección aguas arriba del pilar

D50: Diámetro de la partícula del lecho en una mezcla cuyo 50% es menor (m)

Para pilares con nariz de forma circular alineadas con el flujo, se tiene:

$y_s \leq 2.4$, para $Fr \leq 0.8$

$y_s \leq 3.0$, para $Fr > 0.8$

Tabla 1: Factor de corrección Kf

Forma de la pila	Kf
Punta cuadrada	1.3
Pila con punta circular	1.0
Pila con punta aguda o triangular	0.7

1.4.10. Coeficiente de rugosidad (Manning)

Según el (MTC, MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y DRENAJE, 2012) para obtener el coeficiente de Manning, se requiere de la experiencia del especialista para realizar las estimaciones, que puede apoyarse en antecedentes de casos similares, tablas y publicaciones técnicas disponibles, sobre la base de los datos recopilados en la etapa de campo. Cowan propone un método, según el cual el cálculo del coeficiente de rugosidad, puede estimarse mediante la siguiente relación:

Ecuación 4: Método de Cowan

$$n = m5(n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)$$

n0: Rugosidad base para un canal recto, uniforme, prismático y con rugosidad homogénea.

n1: Rugosidad adicional debida a irregularidades superficiales del perímetro mojado a lo largo del tramo en estudio.

n2: Rugosidad adicional equivalente debida a variación de forma y de dimensiones de las secciones a lo largo del tramo en estudio.

n3: Rugosidad equivalente debida a obstrucciones existentes en el cauce.

n4: Rugosidad adicional equivalente debida a la presencia de vegetación.

m5: Factor de corrección para incorporar efecto de sinuosidad del cauce o presencia de meandros

1.4.11. Tirante hidráulico

Es la distancia vertical a la plantilla, medida desde la superficie libre del agua al punto más bajo de la sección transversal. Ocasionalmente se le confunde con el tirante normal de la sección (d), el cual se mide en forma perpendicular al fondo del canal. Cuando el ángulo θ , que forma la pendiente longitudinal del canal con respecto al plano horizontal de referencia es muy pequeño, el tirante hidráulico y se puede considerar igual al tirante normal, d , m.

1.4.12. Cauce

Lecho de los ríos y arroyos. También se puede definir como conducto descubierto o acequia por donde corren las aguas para riegos u otros usos. (Diccionario de la Real Academia Española).

1.4.13. Caudal

Cantidad de un fluido que discurre en un determinado lugar por unidad de tiempo. También puede definirse como cantidad de agua que mana o corre. (Diccionario de la Real Academia Española).

1.4.14. Pilar

Elemento vertical y algunas veces con una leve inclinación, que funcionan como un sustentable, con la particularidad de encontrarse libre con respecto a la estructura, el cual recibe las cargas verticales para transitarlas a los cimientos. (Diccionario de Arquitectura y Construcción)

1.4.15. Avenida

Se denomina avenida a un incremento considerable y en ocasiones repentino de un curso de agua. (Diccionario de la Real Academia Española)

1.4.16. Erosión

Es el desgaste que se produce en la superficie de un cuerpo por la acción de agentes externos (como el viento o el agua) o por la fricción continua de otros cuerpos. La erosión forma parte de lo que se conoce como ciclo geográfico, que abarca los cambios que sufre. (Diccionario de la Real Academia Española)

1.4.17. Pendiente del cauce

La pendiente de los cauces influye sobre la velocidad de flujo, constituye un parámetro importante en el estudio del comportamiento del recurso hídrico en el tránsito de avenidas; así como la determinación de las características óptimas para aprovechamientos hidroeléctricos, estabilización de cauces, etc.

Ecuación 5: Pendiente

$$S=\Delta H/L$$

1.5. Formulación del problema

¿Cómo el modelamiento hidráulico de un dispositivo disipador de energía de flujo contribuye a reducir la socavación local en los pilares del puente San Martín, Río Chillón, Lima, 2021?

1.5.1. Problemas específicos

¿Cuál es la magnitud de la socavación local aplicando el modelamiento hidráulico del dispositivo disipador de energía frente a máximas avenidas en los pilares del puente San Martín, Río Chillón, Lima, 2021?

¿Cuál es el comportamiento del flujo al proponer un dispositivo como disipador de energía que se evaluara mediante el modelamiento hidráulico en los pilares del puente San Martín, Río Chillón, Lima, 2021?

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Proponer un dispositivo disipador de energía de flujo mediante el modelamiento hidráulico, que contribuya a reducir la socavación local en los pilares del puente San Martín, Río Chillón, Lima, 2021.

1.6.2. Objetivos específicos

O1: Determinar la magnitud de la socavación local aplicando el modelamiento hidráulico del dispositivo disipador de energía frente a máximas avenidas en los pilares del puente San Martín, Río Chillón, Lima, 2021

O2: Evaluar el comportamiento del flujo al proponer un dispositivo disipador de energía mediante el modelamiento hidráulico en los pilares del puente San Martín, Río Chillón, Lima, 2021

1.7. Hipótesis

1.7.1. Hipótesis general

El modelamiento hidráulico de un dispositivo disipador de energía de flujo contribuye a reducir la socavación local en los pilares del puente San Martín, Río Chillón, Lima, 2021

1.7.2. Hipótesis específicas

H1: El dispositivo disipador de energía reduce la magnitud de la socavación local que se corrobora con la aplicación del modelo hidráulico frente a máximas avenidas en los pilares del puente San Martín, Río Chillón, Lima, 2021

H2: El dispositivo disipador de energía influye en el comportamiento del flujo que se corrobora mediante el modelamiento hidráulico en los pilares del puente San Martín, Río Chillón, Lima, 2021

CAPÍTULO 2. METODOLOGIA

2.1. Tipo de investigación

2.1.1. Enfoque

La presente investigación tiene un **enfoque cuantitativo**; debido a que utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías. (Hernández, 2014).

2.1.2. Diseño de investigación

Según Hernandez, R. et al (2014) la gestación del diseño del estudio representa el punto donde se conectan las etapas conceptuales del proceso de investigación como el planteamiento del problema, el desarrollo de la perspectiva teórica y las hipótesis con las fases subsecuentes cuyo carácter es más operativo. Si el diseño está concebido cuidadosamente, el producto final de un estudio (sus resultados). Tendrá mayores posibilidades de generar conocimiento. (p. 126).

El diseño es **no experimental** debido a que los estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos. (Hernández Sampieri, 2014)

Con respecto al corte del diseño de la investigación, es **Longitudinal**; ya que se recolectarán los datos a través del tiempo en puntos o periodos específicos (pretest y postest) y se analizarán los cambios de las variables con el propósito de describirlas y estudiar su incidencia y correlación. Tal como señalan (Hernández.et al, 2014) en su libro *Metodología de la investigación* sobre la investigación longitudinal: “Estudios que recaban datos en diferentes puntos del tiempo, para realizar inferencias acerca de la evolución del problema de investigación o fenómeno, sus causas y sus efectos.” (p.159).

2.1.3. Tipo de investigación

La investigación es de tipo **aplicada**; ya que según Lester y Lester (2012) consideran que los planteamientos son útiles para: 1) evaluar, 2) comparar, 3) interpretar, 4) establecer precedentes y 5) determinar causalidad y sus implicaciones. Esta tipología es muy adecuada (incluyendo la que tiene como justificación adelantos y productos

tecnológicos) y para las investigaciones de las que se derivan acciones. (Hernández Sampieri, 2014)

2.1.4. Alcance de investigación

La investigación es de alcance **explicativo**; ya que busca responder a las causas de los eventos físicos o sociales. Es decir, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables. (Hernández Sampieri, 2014).

2.2. Operacionalización de variables

	<i>Variables</i>	<i>Definición conceptual</i>	<i>Dimensiones</i>	<i>Indicadores</i>	<i>Instrumentos</i>
<i>Variable Independiente</i>	<i>Dispositivo disipador de energía</i>	<i>Los modelos de estructuras son usados para resolver problemas hidráulicos en conexión con una variedad de propuestas de estructuras hidráulicas como por ejemplo desarrollar métodos eficaces para la disipación o reducción de la energía del flujo, reducir la socavación, entre otros.</i>	<i>Diseño</i>	<i>Tirante</i>	<i>IBER</i>
				<i>Velocidad</i>	<i>Observación</i>
			<i>Modelamiento hidráulico</i>	<i>Vórtices</i>	<i>Método de Cowan</i>
				<i>Coficiente de Rugosidad</i>	<i>HEC-HMS</i>
<i>Variable Dependiente</i>	<i>Socavación local</i>	<i>La socavación local en pilas es generada por un sistema de vórtices y remolinos de turbulencia generados debido a la interferencia que causa la pila en el flujo creándose una fosa profunda</i>	<i>Análisis geotécnico</i>	<i>Caudal máximo</i>	<i>Expediente técnico</i>
				<i>Geometría del pilar</i>	<i>Granulometría</i>
			<i>Análisis Hidrológico</i>	<i>Diámetro de partículas</i>	<i>Software Hidroesta</i>
				<i>Precipitación Máxima</i>	<i>HEC-HMS</i>
			<i>Análisis Hidráulico</i>	<i>Velocidad de Caudal Máximo</i>	<i>IBER</i>
<i>Modelamiento hidráulico</i>	<i>Profundidad de la socavación</i>	<i>Método de Froehlich</i>			

2.3. Población y muestra

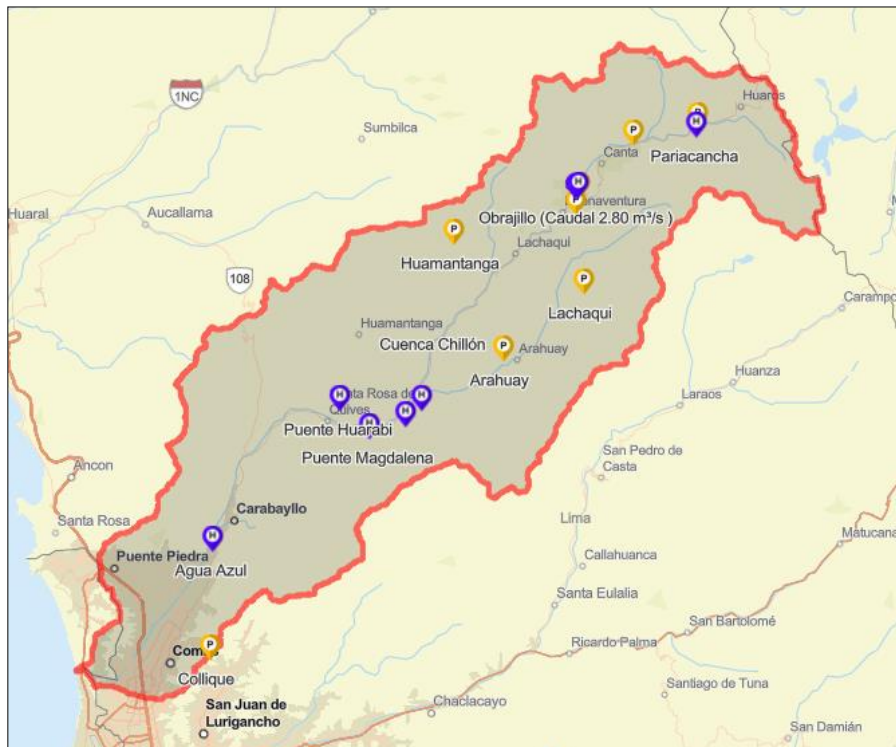
La población analizada son los 8 pilares del puente San Martín distrito de Carabaylo, Lima. La técnica de muestreo es no probabilística, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, si no de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador (Hernández Sampieri, 2014). Se considera como muestra 8 pilares del puente San Martín distrito de Carabaylo, Lima

2.4. Materiales, instrumentos y métodos

Información pluviométrica e hidrométrica

A continuación, se muestra la ubicación de las estaciones de la Cuenca del río Chillón.

Ilustración 2: Cuenca Chillón



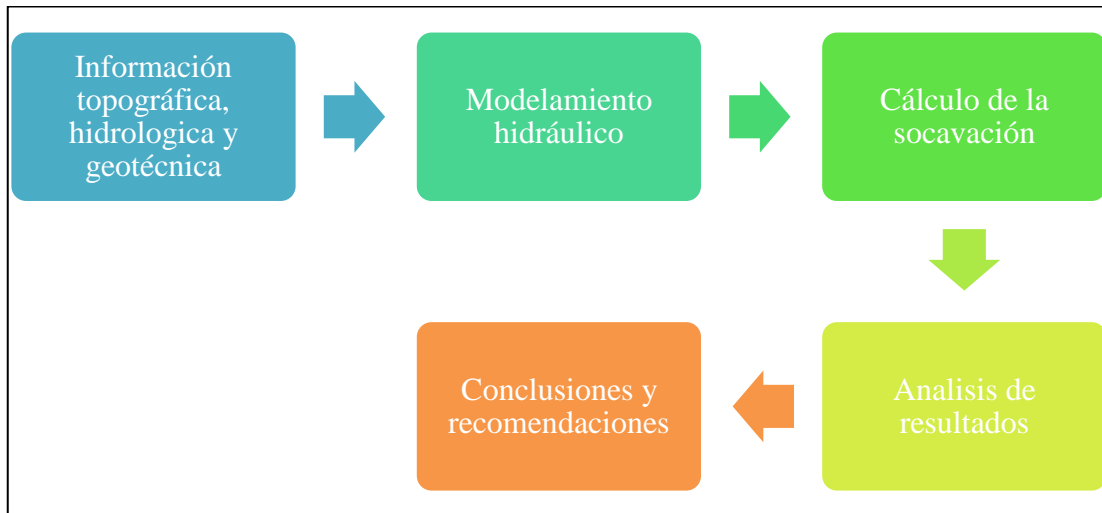
Fuente: Autoridad Nacional del Agua

Información Topográfica

La información topográfica empleada para este estudio se obtuvo del proyecto “Mejoramiento de la infraestructura vial en la Av. Camino Real en el tramo de Av. Túpac Amaru distrito de Carabaylo, Lima”.

Métodos

Ilustración 3: Proceso de elaboración de la investigación



Fuente: Elaboración propia

2.5. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Una vez que seleccionamos el diseño de investigación apropiado y la muestra adecuada de acuerdo con nuestro problema de estudio e hipótesis (si es que se establecieron), la siguiente etapa consiste en recolectar los datos pertinentes sobre los atributos, conceptos o variables de las unidades de muestreo/ análisis o casos (participantes, grupos, fenómenos, procesos, organizaciones, etcétera). (Hernández Sampieri, 2014) .

Hoja de campo: Registro de datos observados en campo como ubicación de calicatas, profundidades, entre otros.

Software de procesamiento: Excel, Iber, Civil 3D.

Cámara fotográfica: Para la toma de imágenes en campo.

2.6. Validez y confiabilidad


Validez

(Hernández Sampieri, 2014) afirma que la validez, en términos generales, se refiere el grado en que un instrumento mide realmente la variable que pretende medir.

En este sentido para la validación de los instrumentos y con la finalidad de cumplir con los objetivos planteados en este trabajo de investigación, se utilizó la “validez de expertos” donde (Hernández Sampieri, 2014) indica que este se refiere al grado en que

aparentemente un instrumento mide la variable en cuestión, de acuerdo con “voces calificadas”.

A continuación, se presenta una Matriz de Validación de Instrumentos ante Expertos.

MATRIZ DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS ANTE EXPERTOS																											
MODELAMIENTO HIDRÁULICO PARA EL ESTUDIO DE LA SOCAVACIÓN LOCAL EN LOS PILARES DEL PUENTE SAN MARTÍN MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UN DISPOSITIVO DISIPADOR DE ENERGÍA DE FLUJO, RÍO CHILLÓN, LIMA, 2021										 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE																	
DATOS GENERALES																											
1. Apellidos y Nombres del experto																											
2. Especialidad de Validador																											
3. Registro CIP N°																											
4. Nombre del Instrumento																											
FORMATO DEL INVESTIGADOR							JUICIO DEL EXPERTO																				
VARIABLE	DIMENSION	INDICADOR	INSTRUMENTO	CRITERIOS DE VALIDACIÓN																							
				Relación entre variable y dimensión				Relación entre dimensión e indicador				Relación entre indicador e instrumento															
				0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4									
Dispositivo disipador de energía	Diseño	Tirante	IBER																								
		Velocidad																									
		Vortices	Observación																								
	Modelamiento hidráulico	Coefficiente de Rugosidad	Metodo de Cowan																								
		Caudal maximo	HEC-HMS																								
		Geometria del pilar	Expediente técnico																								
Socavación local	Analisis geotécnico	Diametro de particulas	Granulometria																								
	Analisis Hidrologico	Precipitación Máxima	Software Hydroesta																								
	Analisis Hidraulico	Velocidad de Caudal Máximo	HEC-HMS																								
	Modelamiento hidráulico	Profundidad de la socavación	IBER																								
Metodo de Froehlich																											

Confiabilidad

Según (Hernández et al., 2016) indica que la confiabilidad es el grado en que un instrumento produce resultados consistentes y coherentes.

2.7. Desarrollo de los objetivos

En la primera etapa se realizará la recopilación de la información a utilizar para el modelamiento tales como: Caudal máximo, D50, pendiente del cauce, coeficiente de rugosidad y topografía. El procesamiento de la información empezará con la generación de la superficie del área en estudio en el programa Civil 3D, luego se propondrá las geometrías para el dispositivo y dibujará el puente junto con los pilares. Una vez completas las modificaciones en Civil se importará a Iber en formato dxf, en el cual se ingresarán los parámetros de caudal máximo y rugosidad. La malla a utilizar

será no estructurada, el tiempo de cálculo por modelamiento es de 1000 seg con intervalos de 10 seg.

Para la segunda etapa y respuesta del objetivo específico 1 se calculará la socavación usando los datos de tirante, número de Froude tomados aguas arriba de cada pilar y se reemplazarán en el método de Froehlich. Además, se usará el D50 del análisis granulométrico, ancho del pilar y coeficiente de geometría del pilar.

Para la tercera etapa y respuesta del objetivo específico 2, se extraerán secciones transversales aguas arriba y aguas abajo del dispositivo para medir el número de Froude máximo en cada caso y se analizará el comportamiento de las líneas de flujo alrededor del dispositivo.

Adicionalmente de las secciones transversales obtenidas se aprovecharán los valores de velocidad y tirante máximo para demostrar la pérdida de energía con el dispositivo. Finalmente se presentarán los resultados, conclusiones y recomendaciones de la investigación.

2.8. Aspectos éticos

Los ingenieros están al servicio de la sociedad. por consiguiente, tienen la obligación de contribuir al bienestar humano, dando importancia primordial a la seguridad y adecuada utilización de los recursos en el desempeño de sus tareas profesionales. (Código deontológico de Colegio de Ingenieros del Perú, 2012, p. 1)

CAPÍTULO 3. RESULTADOS

3.1. Datos generales

3.1.1. Ubicación

El puente San Martín cruza el río Chillón que comunica ambas márgenes y conecta las poblaciones de Carabaylo. El área de estudio se encuentra políticamente en:

Tabla 2: Ubicación del puente en estudio

Departamento	Lima
Provincia	Lima
Distrito	Carabaylo
Extensión	Av. Camino Real, tramo Av. Túpac Amaru – Av. José Saco
Ubicación geográfica	Longitud Oeste: 77°01'25.23" Longitud Sur: 11°51'53.80" Altitud: 224 msnm

Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Características del área en estudio

En el distrito de Carabaylo pasa el Río Chillón, siendo la ubicación del puente proyectado en Latitud Sur 11° 51' 57" y Longitud Oeste 77° 01' 50" y discurre zona en proceso de formación de vivienda y el cauce natural tiene una pendiente de fondo de 4% en el del eje del puente y en los 450 m (170 m aguas abajo y 280 m aguas arriba) presenta 1.8% de pendiente en promedio de fondo y está conformado los bordos del cauce con suelo sin recubierta de vegetación o bolondrones de piedras.

3.1.3. Análisis Hidrológico

Tabla 3: Características de la cuenca

Departamento	Provincia	Distritos
Callao	Callao	Ventanilla (0.67 %)

Lima	Canta	Santa Rosa De Quives (18.51 %), Lachaqui (5.80 %), Huamantanga (18.24 %), Canta (6.06 %), San Buenaventura (4.85 %), Huaros (14.72 %), Arahuary (6.10 %)
Lima	Huachochiri	San Antonio (6.27 %)
Lima	Lima	Carabayllo (14.11 %), Comas (2.17 %), Puente Piedra (2.16 %)

Fuente: Elaboración propia

La delimitación de la Cuenca del río Chillón ha sido aprobada oficialmente por la Autoridad Nacional de Agua. El Chillón es un río que pertenece a la vertiente del Pacífico; y llega al puente proyectado en 112.22 Km y luego continuar 2.5 km para desembocar en el Océano Pacífico. Y en su transcurso se unen quebradas y ríos de importancia que son el aporte del flujo del agua.

Área de la Cuenca: Se ha delimitado y medido la superficie de la cuenca desde el punto de ubicación del puente proyectado obteniéndose: 1989.85 Km² para una cuenca mediana.

Perímetro de la Cuenca: El perímetro o contorno de la cuenca es: 280.77 Km.

Ancho Medio: El ancho medio es el resultado de dividir el área de la cuenca, entre la longitud del curso más largo que contenga la misma. Su relación es: 17.88 Km.

Coefficiente de Compacidad (Kc):

Ilustración 4: Cuenca del Río Chillón



Fuente: Autoridad Nacional del Agua

Orientación	Forma	Área (km ²)	Perímetro (Km)	Longitud Curso principal(Km)
NE	Alargada	1989.85	280.77	112.25

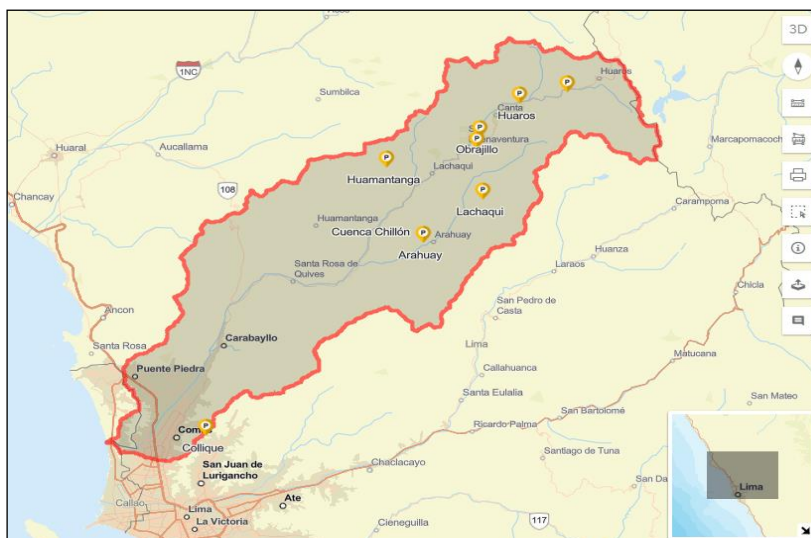
La información pluviométrica que se utilizó, son todos los datos disponibles proporcionados en la página web de SENAMHI y la ANA, referente a las precipitaciones máximas en 24 horas (mm) y precipitaciones máximas mensuales (mm), habiéndose empleado las Estaciones Pluviométricas de Lachaqui, Pariacancha, Huamantanga, Canta, Arahua y Huarangal por ser representativa y/o completa para la cuenca baja, media y superior que es la que influencia sobre el proyecto.

Tabla 4: Estaciones pluviométricas

Nombre de la Estación	Tipo	Entidad Operadora	Ubicación		Altitud msnm	Provincia	Distrito
			Latitud Sur	Longitud Oeste			
Lachaqui	MET	SENAMHI	11°33' 1"	76°37' 1"	3895	Canta	Lachaqui
Pariacancha	MET	SENAMHI	11°23' 1"	76°30' 1"	4146	Canta	Huaros
Huamantanga	MET	SENAMHI	11°30' 1"	76°45' 1"	3368	Canta	Huamantanga
Arahua	MET	SENAMHI	11°37' 1"	76°42' 1"	2690	Canta	Arahua
Canta	MET	SENAMHI	11°28' 1"	76°37' 1"	2974	Canta	Canta
Huarangal	MET	SENAMHI	11°47' 1"	77°6' 1"	300	Lima	Ancón

Fuente: Autoridad Nacional del Agua

Ilustración 5: Ubicación de estaciones pluviométricas



Fuente: Autoridad Nacional del Agua

En el estudio presente, el valor de la intensidad se calculó en base a los datos de las estaciones pluviométricas de Lachaqui, Pariacancha, Huamantanga, Arahuy, Canta y Huarangal ubicadas en la cuenca Chillón que registran los valores de precipitación máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 150 años.

Se contó con un registro de información del ANA en donde se puede apreciar que el máximo registro corresponde al año de 1998 con una precipitación máxima acumulada en 24 horas de 26.67 mm, el mínimo ocurre en el año 2011 con una precipitación máxima acumulada en 24 horas de 13.02 mm. Con la ayuda del programa HIDROESTA se puede procesar la información pluviométrica obtenida de la Autoridad Nacional del Agua para la obtención del caudal máximo de diseño en un periodo de retorno de 150 años.

3.1.4. Levantamiento topográfico

Las curvas de nivel empleadas para este estudio se obtuvieron del proyecto “Mejoramiento de la infraestructura vial en la Av. Camino Real en el tramo de Av. Túpac Amaru distrito de Carabayllo, Lima”. (ANEXO 01)

Se simuló el Río Chillón en un tramo que comprende al puente San Martín y elaboró una superficie con las curvas de nivel en AutoCad Civil 3D, dicho tramo tiene una longitud de 180 m hacia aguas abajo del puente y una longitud de 200 m hacia aguas arriba del puente.

Ilustración 6: Superficie del área de estudio



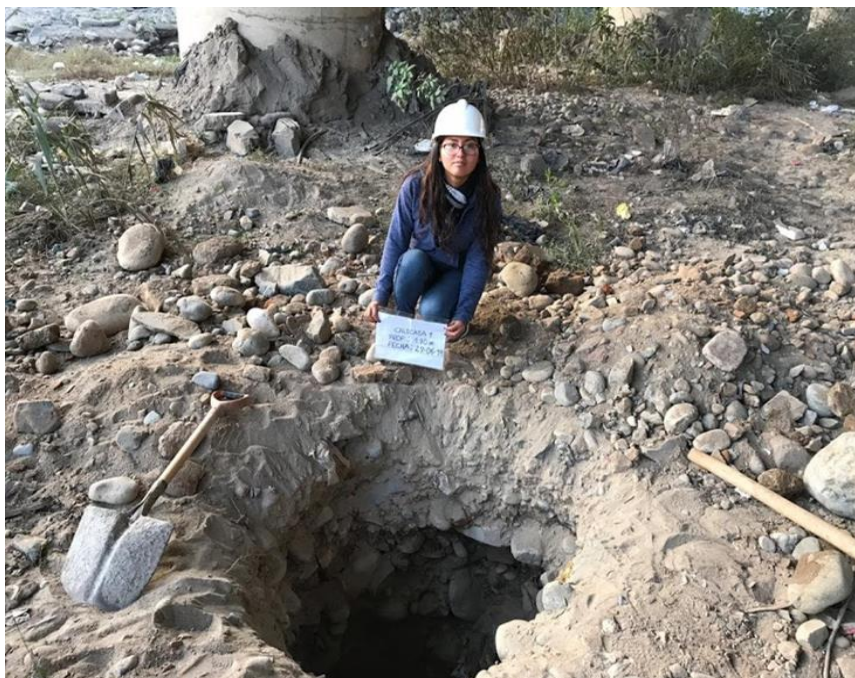
Fuente: Elaboración propia

3.1.5. Estudio de mecánica de suelos

Después de realizar el reconocimiento del proyecto, se realizaron 4 calicatas (excavaciones manuales) con 1.80 metros de profundidad con un área de 1 metro x 1 metro, estas se ubican a ambos extremos de los márgenes del río.

La clasificación de suelos se realizó con el fin de obtener muestras representativas del lugar para determinar propiedades físicas y mecánicas del terreno como es el coeficiente de Manning, según el manual de ensayo de materiales del ministerio de transporte y comunicaciones (MTC) de los cuales se realizó los ensayos de análisis granulométrico NTP 339.128 (ASTM D422) / MTC E 107, determinación de materiales más fino que el tamiz 75 μ m (N° 200) en suelos NTP 339.132 (ASTM D 1140) / MTC E 137, contenido humedad de un suelo NTP 339.127 (ASTM D2216) / MTC E 108, limite líquido y limite plástico NTP 339.129 (ASTM D4318) / MTC E 108 . Basado en la norma E050 de suelos y cimentaciones.

Ilustración 7: Calicata



Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta los resultados del estudio del material del cauce, para los cálculos se considera los siguientes valores del material del cauce:

$$d_{50} = 0.00985\text{m}$$

Luego de obtener los resultados del análisis granulométrico se tiene que el tipo de suelo es de grava mal gradada con presencia de arena.

El coeficiente de Manning se obtendrá a partir del método de Cowan.

$$n = m5 * (n0 + n1 + n2 + n3 + n4)$$

Tabla 5: Valor del coeficiente de Manning a través del método de Cowan

Condiciones del canal		Valores	
Material involucrado	Tierra	n0	0.02
	Corte en roca		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Grado de irregularidad	Suave	n1	0
	Menor		0.005
	Moderado		0.01
	Severo		0.02
Variación de la sección transversal del río	Gradual	n2	0
	Ocasionalmente alternante		0.05
	Frecuentemente alternante		0.010 - 0.015
Efecto relativo de las obstrucciones	Insignificante	n3	0
	Menor		0.010 - 0.015
	Apreciable		0.020 - 0.030
	Severo		0.040 - 0.060
Vegetación	Baja	n4	0.005 - 0.010
	Media		0.010 - 0.025
	Alta		0.025 - 0.050
	Muy alta		0.050 - 0.10
Grado de los efectos por meandros	Menor	m5	1
	Apreciable		1.15
	Severo		1.3

Fuente: Elaboración propia

Los coeficientes de Manning considerados en el estudio del puente San Martin son:

$$n_0=0.028; n_1=0.005; n_2=0; n_3=0.000; n_4=0.005; m_5=1.000$$

Se reemplaza en la formula

$$n = 1.00 * (0.028 + 0.005 + 0 + 0 + 0.005)$$

$$n = 0.038$$

Ilustración 8: Fotografía tomada aguas arriba del proyecto en el mes de mayo



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 9: Fotografía tomada aguas abajo en el mes de mayo



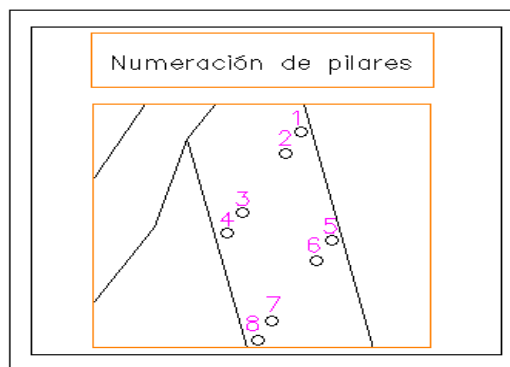
Fuente: Elaboración propia

3.1.6. Geometría de los pilares

El puente San Martín de la integración cuenta con 8 pilares circulares de 1.6 m de diámetro distribuidos en dos ejes paralelos al cauce principal.

Para el procesamiento de la información se utilizó el siguiente esquema de numeración:

Ilustración 10: Ubicación de pilares



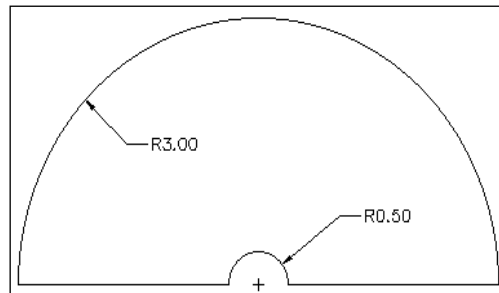
Fuente: Elaboración propia

3.1.7. Geometría del dispositivo

Se realizaron diferentes pruebas con tipos de geometría a las cuales se fue variando de distancia, cantidad y tamaño para la obtención de resultados:

G1: Esta geometría propuesta tiene la forma de una media dona con 3 m de radio externo y 0.5 m de radio interno. Se colocó tres de estas en cada eje de los pilares distanciadas a 20 m una de la otra, aguas arriba del proyecto.

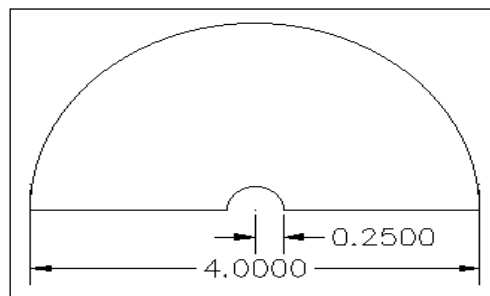
Ilustración 11: Geometría 1 "G1"



Fuente: Elaboración propia

G2: Esta geometría propuesta tiene la forma de una media dona con 2 m de radio externo y 0.25 m de radio interno. Se colocó cuatro de estas en cada eje de los pilares distanciadas a 50 m una de la otra, aguas arriba del proyecto.

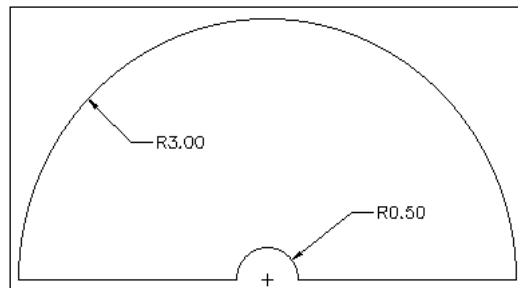
Ilustración 12: Geometría 2 "G2"



Fuente: Elaboración propia

G3: Esta geometría propuesta tiene la forma de una media dona con 3 m de radio externo y 0.5 m de radio interno. Se colocó una por cada eje de los pilares distanciadas a 30 m una de la otra, aguas arriba del proyecto.

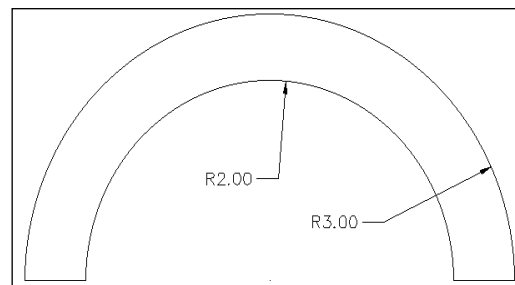
Ilustración 13: Geometría 3 "G3"



Fuente: Elaboración propia

G4: Esta geometría propuesta tiene la forma de un arco con 3 m de radio externo y 2 m de radio interno. Se colocó 2 por cada eje, aguas arriba de los pilares.

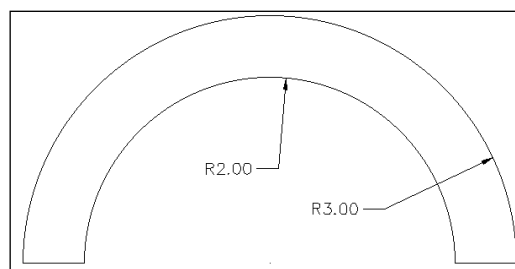
Ilustración 14: Geometría 4 "G4"



Fuente: Elaboración propia

G5: Esta geometría propuesta tiene la forma de un arco con 3 m de radio externo y 2 m de radio interno. Se colocó 3 por cada eje, aguas arriba de los pilares.

Ilustración 15: Geometría 5 "G5"

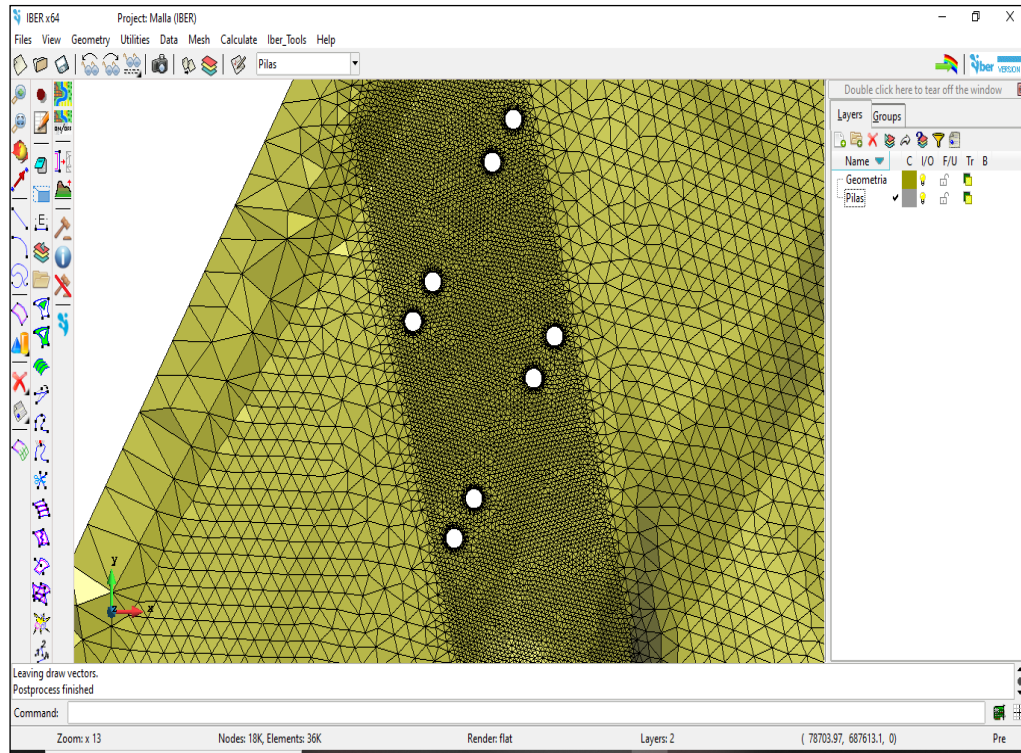


Fuente: Elaboración propia

3.2. Modelamiento

La malla de cálculo es un elemento fundamental para conseguir buenos resultados. IBER puede trabajar tanto con elementos triangulares como con cuadriláteros o con mallas mixtas de triángulos y cuadriláteros. Las mallas de cálculo pueden ser a su vez regulares o irregulares, así como estructuradas o no estructuradas. (Rodríguez, 2021)

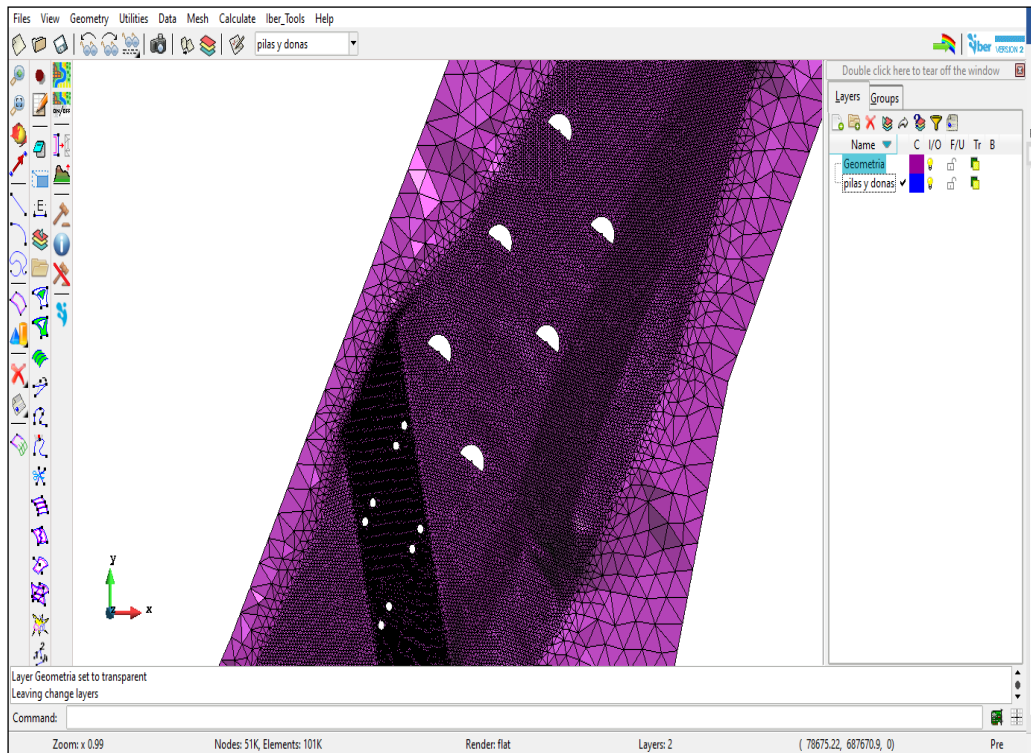
Ilustración 16: Perforación de la malla con los 8 pilares sin el dispositivo



Fuente: Elaboración propia

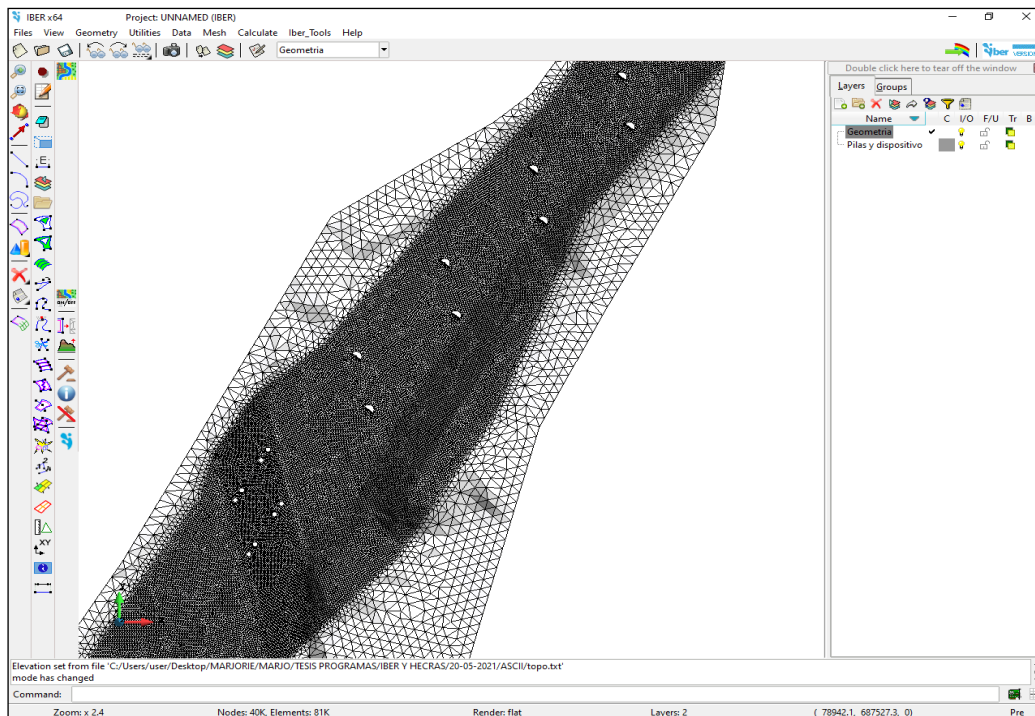
Se perforo la malla con los pilares y el dispositivo en diferentes posiciones. La calibración del programa se hizo considerando una rugosidad de 0.038, un caudal de 223.9 m³ para un periodo de retorno de 150 años

Ilustración 17: Superficie con pilares y G1



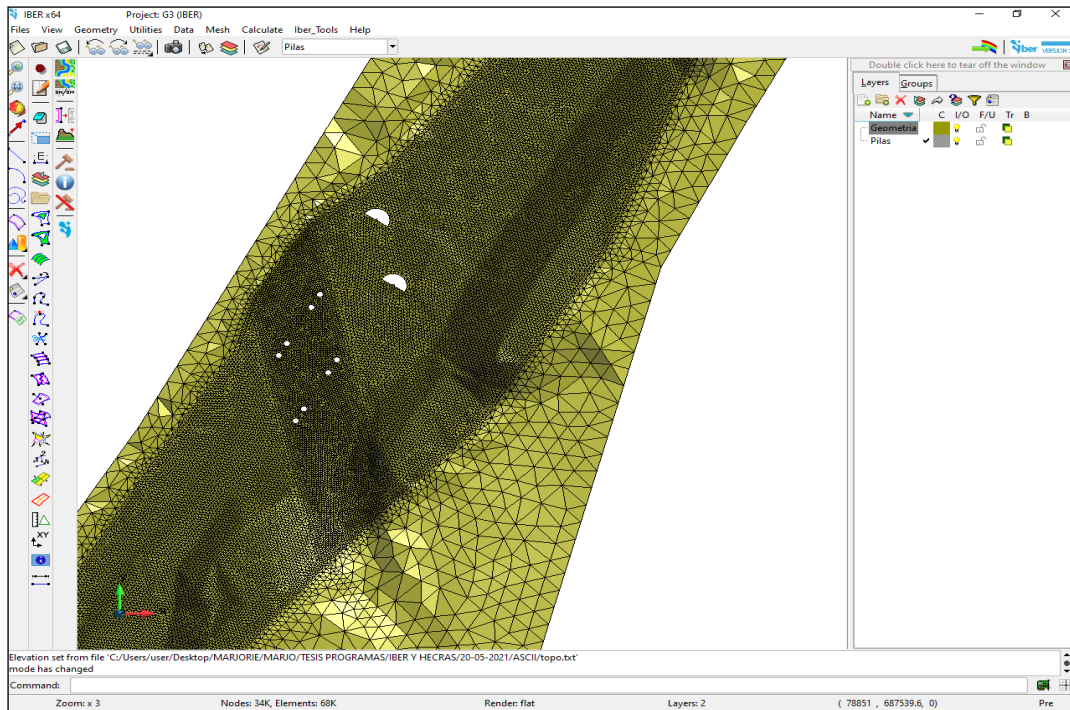
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 18: Superficie con pilares y G2



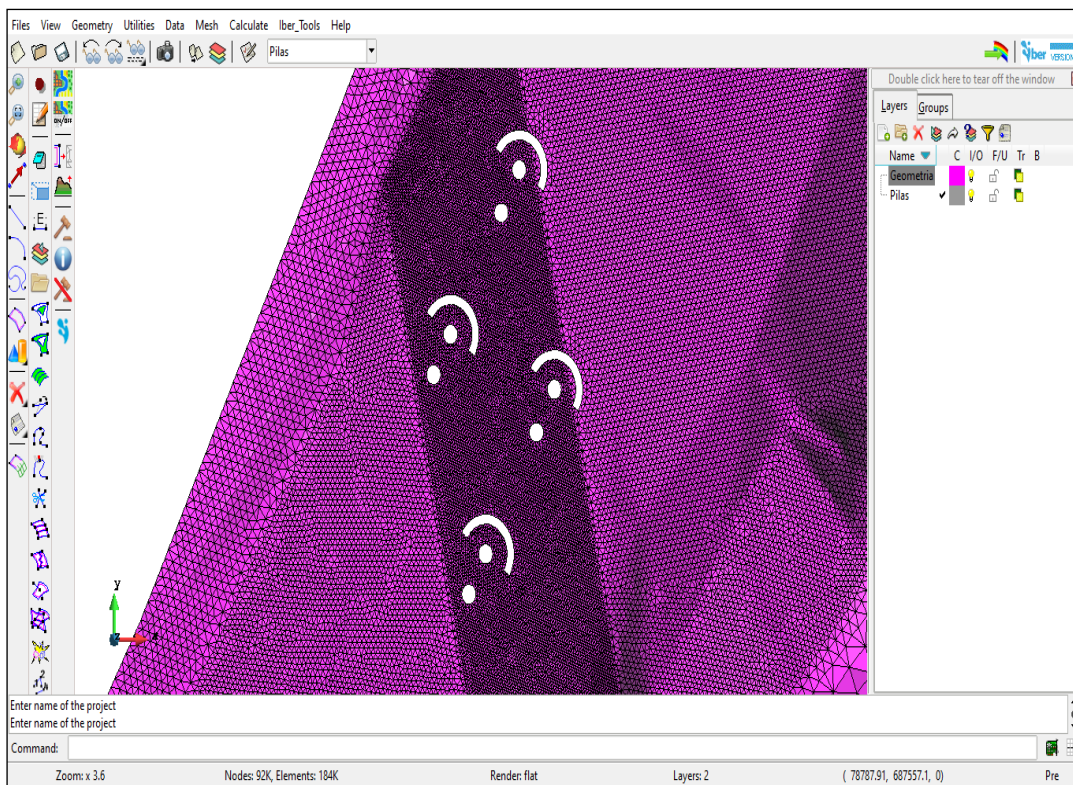
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 19: Superficie con pilares y G3



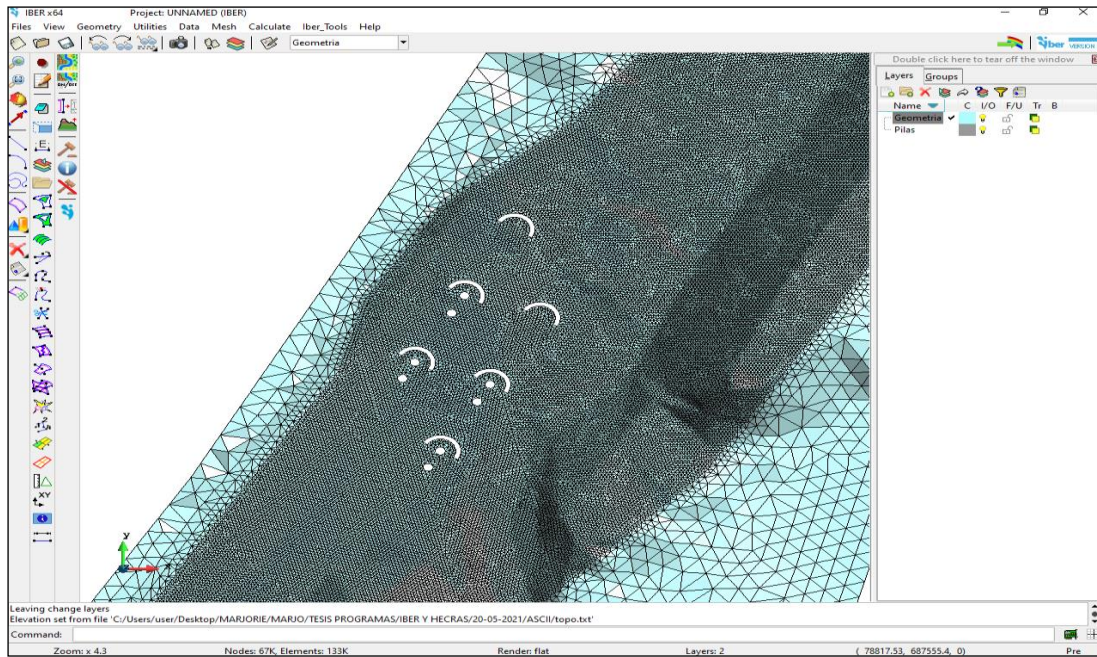
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 20: Superficie con pilares y G4



Fuente: Elaboración propia

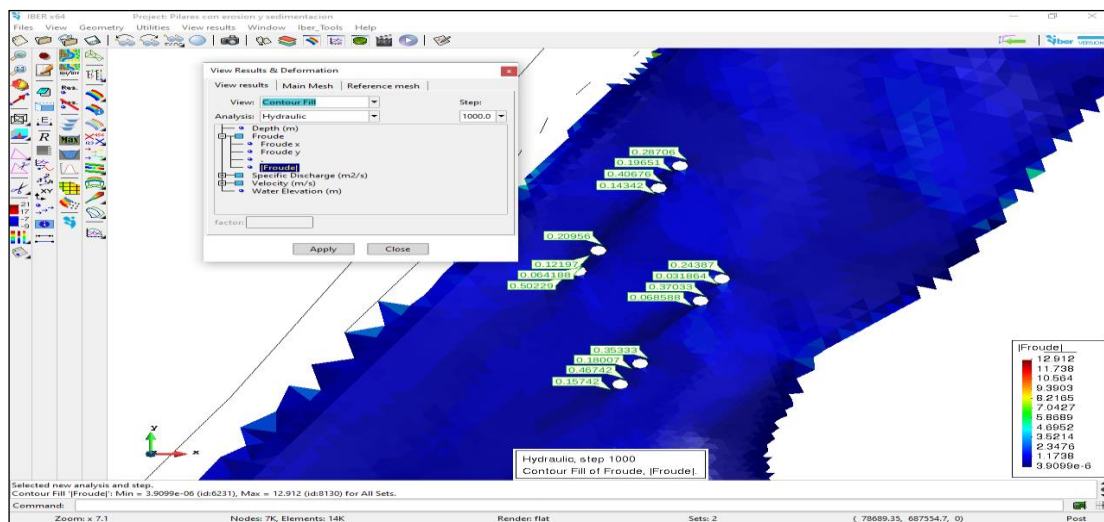
Ilustración 21: Superficie con pilares y G5



Fuente: Elaboración propia

3.2.1. Froude

Ilustración 22: Froude en 8 pilares sin dispositivo



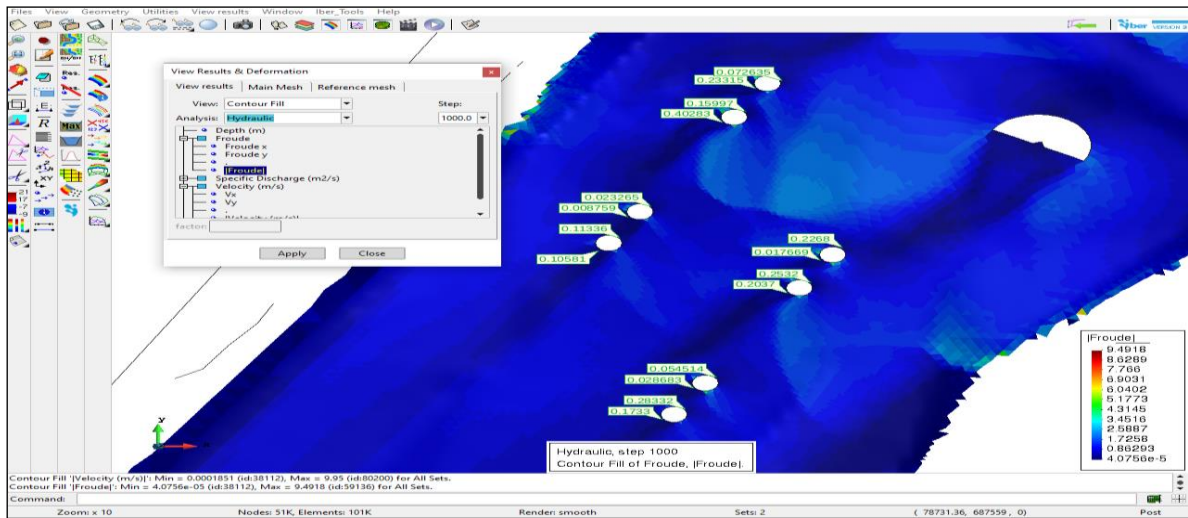
Fuente: Elaboración propia

Tabla 6: Froude en pilares sin el dispositivo

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Sin dispositivo	Aguas arriba	0.29	0.41	0.21	0.50	0.24	0.37	0.35	0.47
	Aguas abajo	0.19	0.14	0.12	0.06	0.03	0.07	0.18	0.16

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 23: Froude en pilares con dispositivo G1



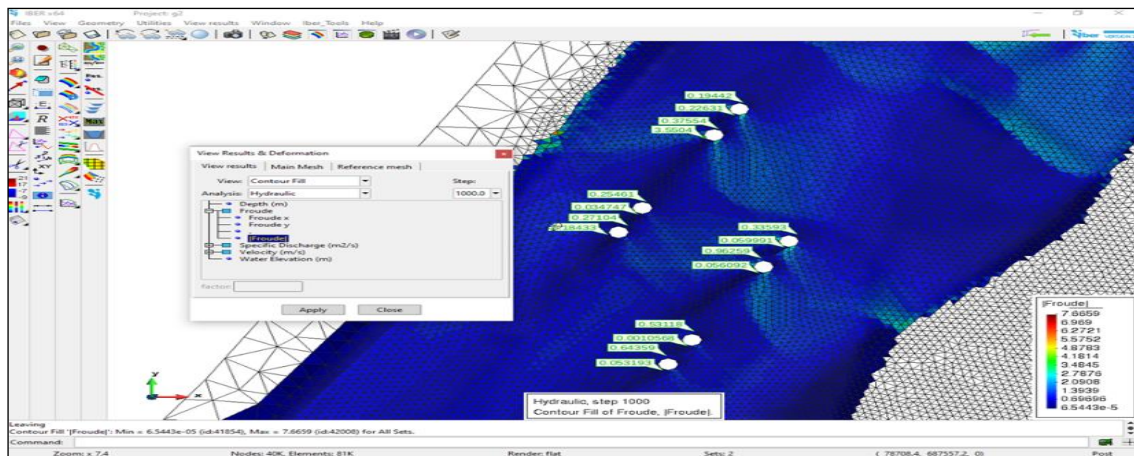
Fuente: Elaboración propia

Tabla 7: Froude en pilares con G1

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
G1	Aguas arriba	0.07	0.16	0.02	0.11	0.23	0.25	0.05	0.28
	Aguas abajo	0.23	0.40	0.01	0.11	0.23	0.20	0.03	0.17

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 24: Froude en pilares con dispositivo G2



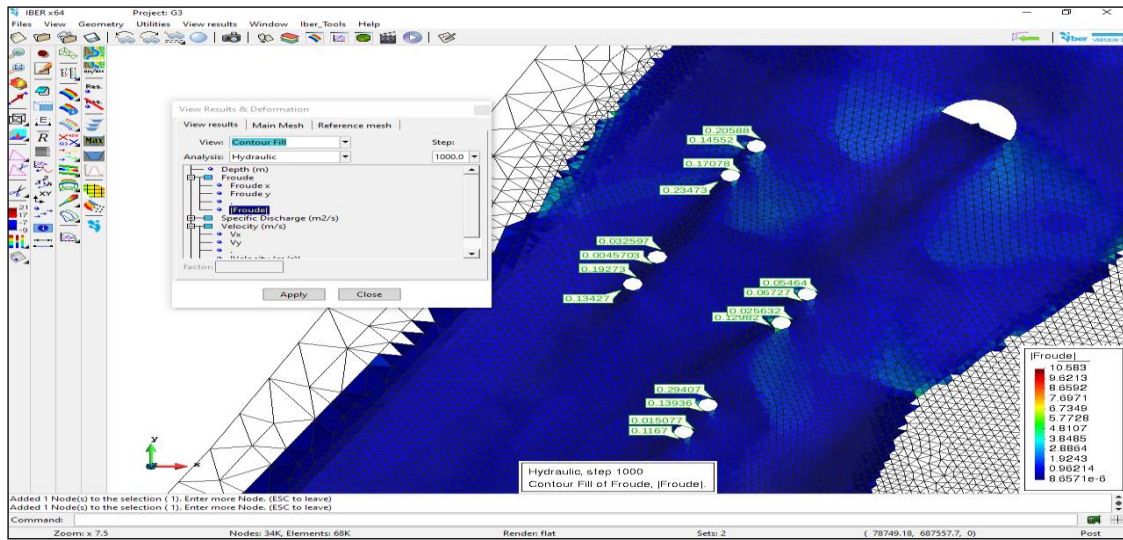
Fuente: Elaboración propia

Tabla 8: Froude en pilares con G2

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
G2	Aguas arriba	0.19	0.38	0.25	0.27	0.34	0.96	0.55	0.64
	Aguas abajo	0.23	0.55	0.03	0.18	0.06	0.06	0.00	0.05

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 25: Froude en pilares con dispositivo G3

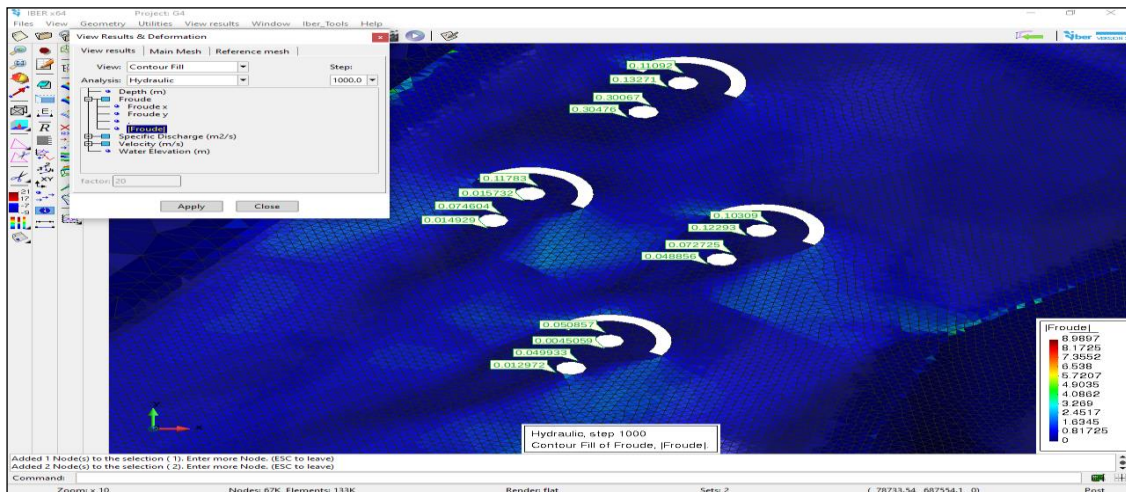


Fuente: Elaboración propia

Tabla 9: Froude en pilares con G3

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
G3	Aguas arriba	0.21	0.17	0.03	0.19	0.05	0.03	0.28	0.02
	Aguas abajo	0.15	0.23	0.00	0.13	0.07	0.13	0.14	0.12

Ilustración 26: Froude en pilares con dispositivo G4



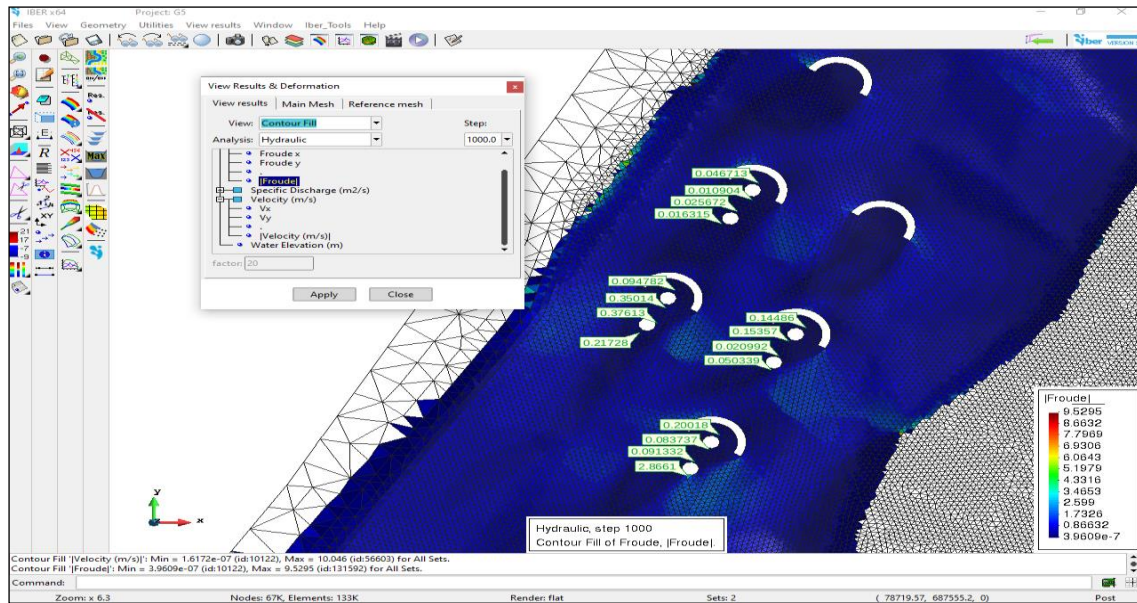
Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: Froude en pilares con G4

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
G4	Aguas arriba	0.11	0.30	0.12	0.07	0.10	0.07	0.05	0.05
	Aguas abajo	0.13	0.30	0.02	0.01	0.12	0.05	0.00	0.01

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 27: Froude pilares con dispositivo G5



Fuente: Elaboración propia

Tabla 11: Froude en pilares con G5

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
G5	Aguas arriba	0.05	0.03	0.09	0.38	0.14	0.02	0.20	0.09
	Aguas abajo	0.01	0.02	0.35	0.22	0.15	0.05	0.20	0.87

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12: Resumen de Froude en pilares

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Sin dispositivo	Aguas arriba	0.29	0.41	0.21	0.50	0.24	0.37	0.35	0.47
	Aguas abajo	0.19	0.14	0.12	0.06	0.03	0.07	0.18	0.16
G1	Aguas arriba	0.07	0.16	0.02	0.11	0.23	0.25	0.05	0.28
	Aguas abajo	0.23	0.40	0.01	0.11	0.23	0.20	0.03	0.17
G2	Aguas arriba	0.19	0.38	0.25	0.27	0.34	0.96	0.55	0.64
	Aguas abajo	0.23	0.55	0.03	0.18	0.06	0.06	0.00	0.05
G3	Aguas arriba	0.21	0.17	0.03	0.19	0.05	0.03	0.28	0.02
	Aguas abajo	0.15	0.23	0.00	0.13	0.07	0.13	0.14	0.12
G4	Aguas arriba	0.11	0.30	0.12	0.07	0.10	0.07	0.05	0.05
	Aguas abajo	0.13	0.30	0.02	0.01	0.12	0.05	0.00	0.01
G5	Aguas arriba	0.05	0.03	0.09	0.38	0.14	0.02	0.20	0.09
	Aguas abajo	0.01	0.02	0.35	0.22	0.15	0.05	0.20	0.87

Fuente: Elaboración propia

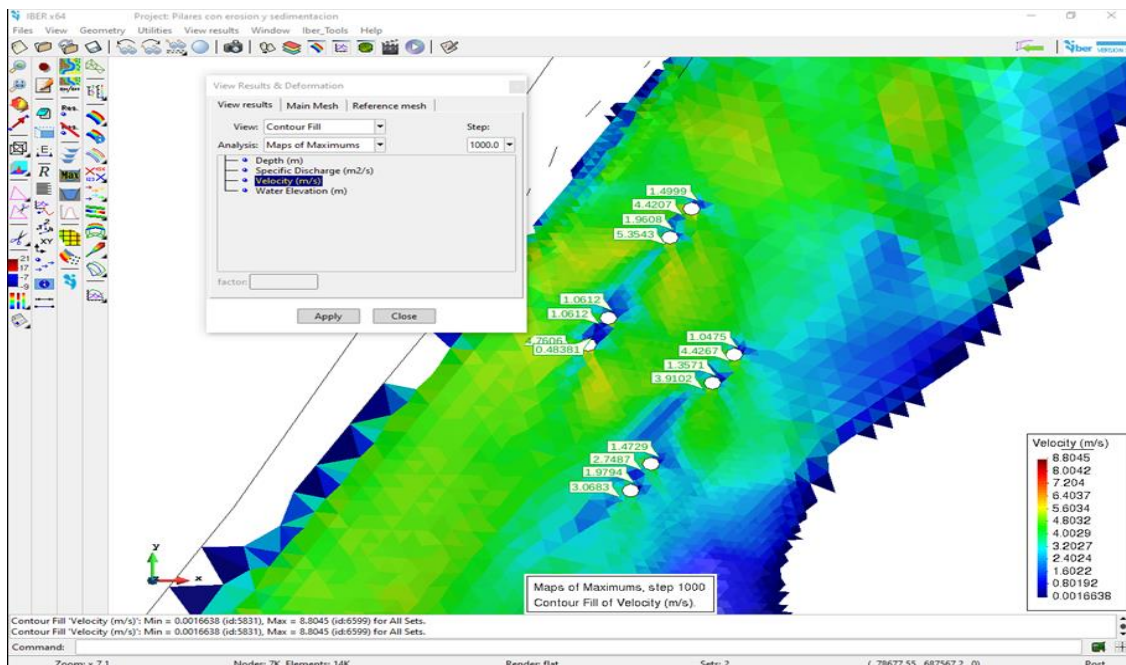
Tabla 13: Resumen de Froude en dispositivo

	Aguas arriba	Aguas abajo
G1	0.62638	0.3956
G2	0.57155	0.38856
G3	0.89431	0.71809
G4	0.38993	0.26857
G5	0.67882	0.17165

Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Velocidad

Ilustración 28: Velocidad sin el dispositivo



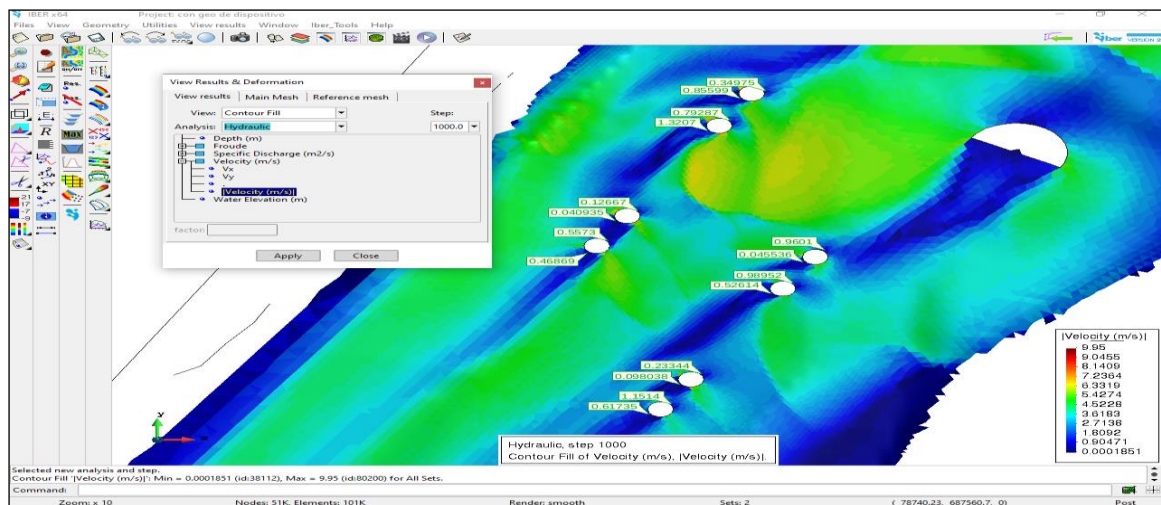
Fuente: Elaboración propia

Tabla 14: Velocidad sin el dispositivo

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Sin dispositivo	Aguas arriba	1.50	1.96	1.06	0.48	1.05	1.36	1.47	1.98
	Aguas abajo	4.42	5.35	1.06	4.76	4.43	3.91	2.75	3.07

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 29: Velocidad en pilares con dispositivo G1



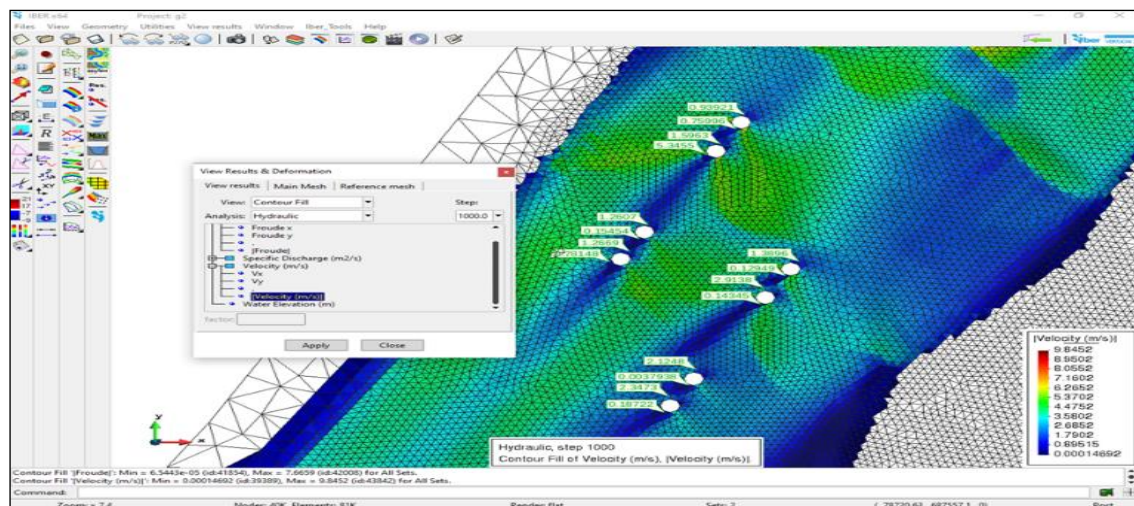
Fuente: Elaboración propia

Tabla 15: Velocidad en pilares con dispositivo G1

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
G1	Aguas arriba	0.35	0.79	0.13	0.56	0.96	0.99	0.23	1.15
	Aguas abajo	0.86	1.32	0.04	0.47	0.05	0.53	0.10	0.62

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 30: Velocidad en pilares con dispositivo G2



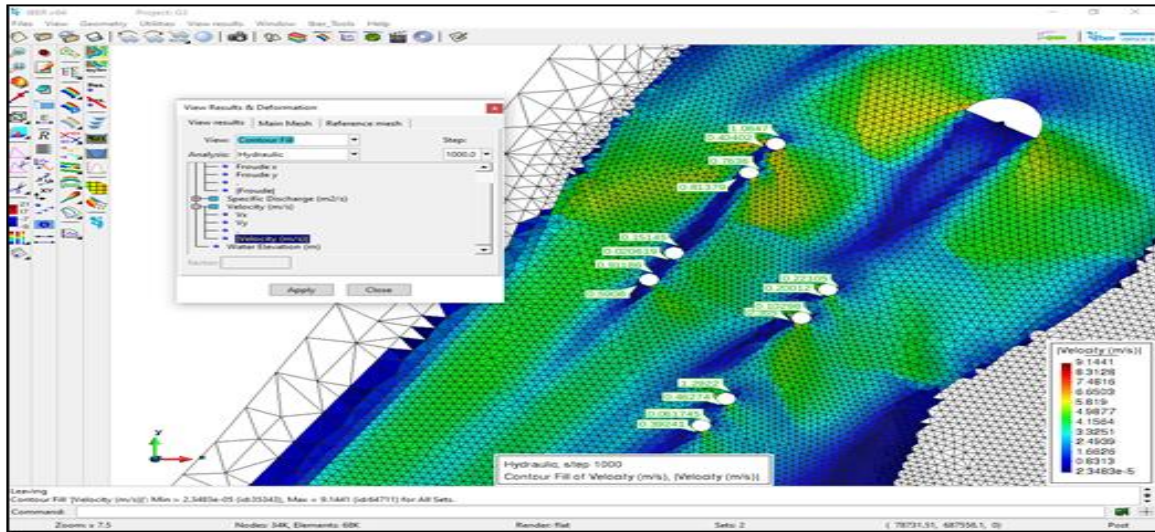
Fuente: Elaboración propia

Tabla 16: Velocidad en pilares con dispositivo G2

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
G2	Aguas arriba	0.94	1.60	1.26	1.26	1.39	2.91	2.12	2.35
	Aguas abajo	0.76	5.35	0.15	0.15	0.13	0.14	0.00	0.19

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 31: Velocidad en pilares con dispositivo G3



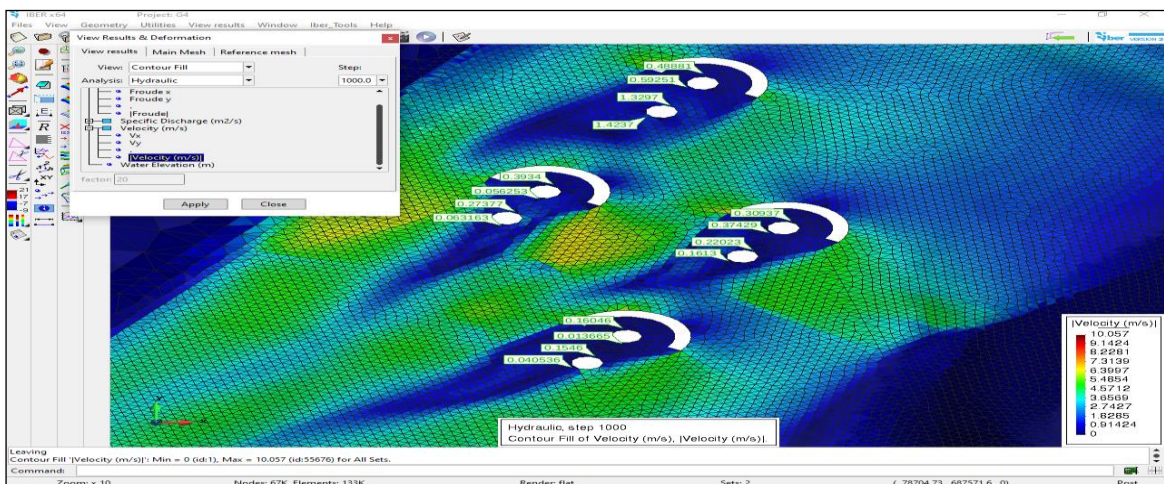
Fuente: Elaboración propia

Tabla 17: Velocidad en pilares con dispositivo G3

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
G3	Aguas arriba	1.08	0.76	0.15	0.91	0.22	0.10	1.29	0.06
	Aguas abajo	0.43	0.81	0.02	0.50	0.20	0.36	0.45	0.39

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 32: Velocidad en pilares con dispositivo G4



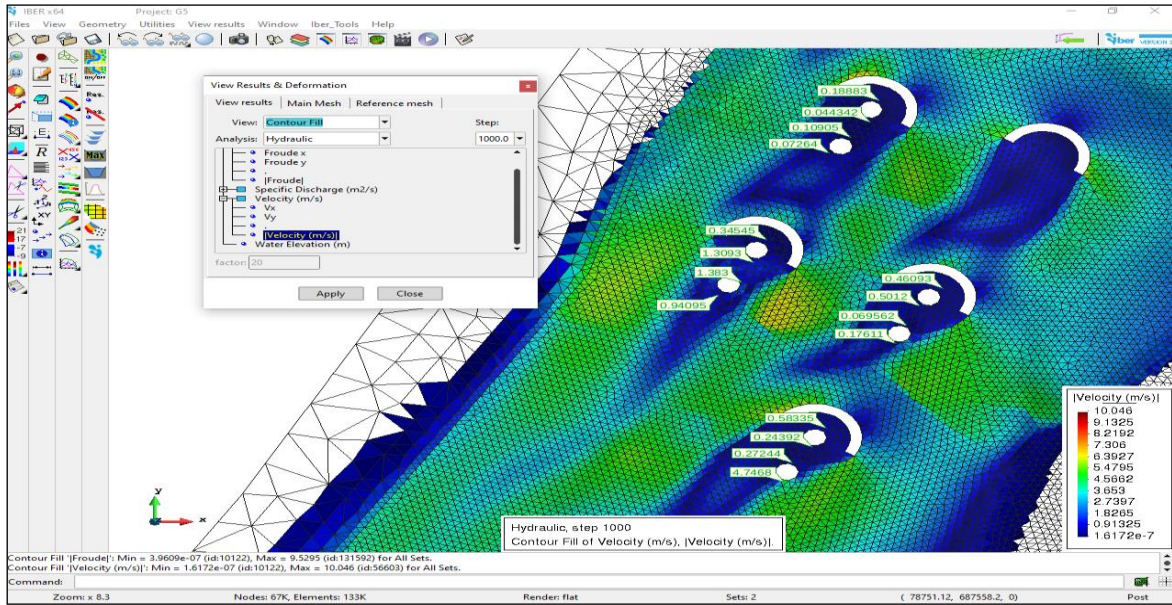
Fuente: Elaboración propia

Tabla 18: Velocidad en pilares con dispositivo G4

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
G4	Aguas arriba	0.49	1.32	0.39	0.27	0.31	0.22	0.16	0.15
	Aguas abajo	0.59	1.42	0.06	0.06	0.37	0.16	0.01	0.04

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 33: Velocidad en pilares con dispositivo G5



Fuente: Elaboración propia

Tabla 19: Velocidad en pilares con dispositivo G5

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
G5	Aguas arriba	0.19	0.11	0.35	1.38	0.41	0.07	0.58	0.27
	Aguas abajo	0.04	0.07	1.31	0.94	0.50	0.18	0.24	4.75

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20: Resumen de velocidades en pilares

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Sin dispositivo	Aguas arriba	1.50	1.96	1.06	0.48	1.05	1.36	1.47	1.98
	Aguas abajo	4.42	5.35	1.06	4.76	4.43	3.91	2.75	3.07
G1	Aguas arriba	0.35	0.79	0.13	0.56	0.96	0.99	0.23	1.15
	Aguas abajo	0.86	1.32	0.04	0.47	0.05	0.53	0.10	0.62
G2	Aguas arriba	0.94	1.60	1.26	1.26	1.39	2.91	2.12	2.35
	Aguas abajo	0.76	5.35	0.15	0.15	0.13	0.14	0.00	0.19
G3	Aguas arriba	1.08	0.76	0.15	0.91	0.22	0.10	1.29	0.06
	Aguas abajo	0.43	0.81	0.02	0.50	0.20	0.36	0.45	0.39
G4	Aguas arriba	0.49	1.32	0.39	0.27	0.31	0.22	0.16	0.15
	Aguas abajo	0.59	1.42	0.06	0.06	0.37	0.16	0.01	0.04
G5	Aguas arriba	0.19	0.11	0.35	1.38	0.41	0.07	0.58	0.27
	Aguas abajo	0.04	0.07	1.31	0.94	0.50	0.18	0.24	4.75

Fuente: Elaboración propia

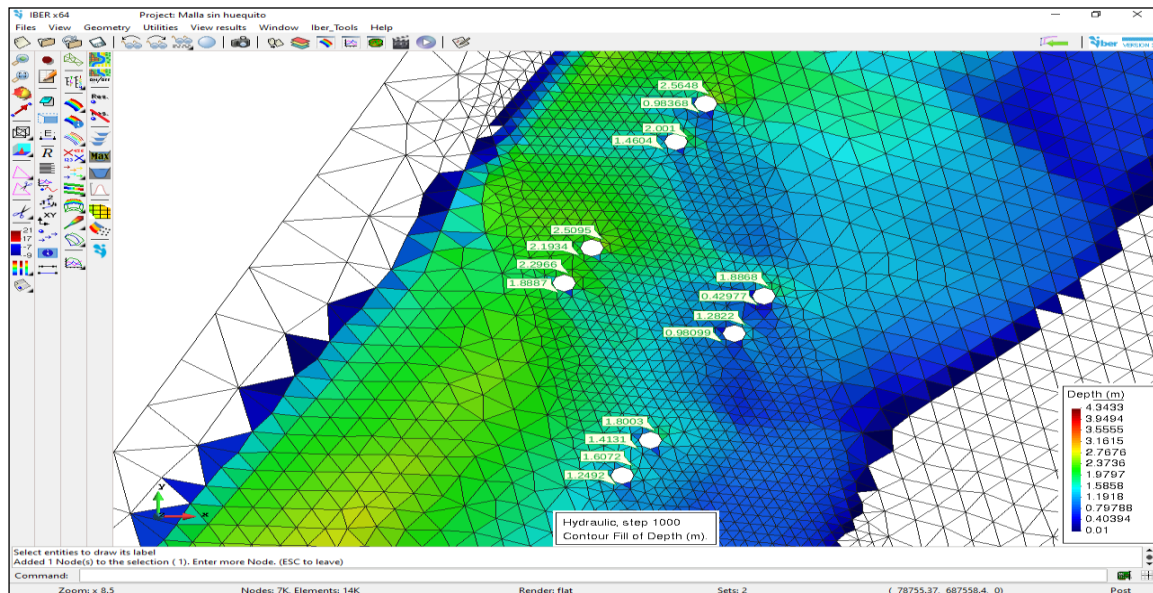
Tabla 21: Resumen de velocidades en dispositivo

	Aguas arriba	Aguas abajo
G1	5.45	4.36
G2	6.94	4.48
G3	4.90	4.60
G4	4.87	5.81
G5	4.97	4.55

Fuente: Elaboración propia

3.2.3. Tirante

Ilustración 34: Tirante en pilares sin el dispositivo



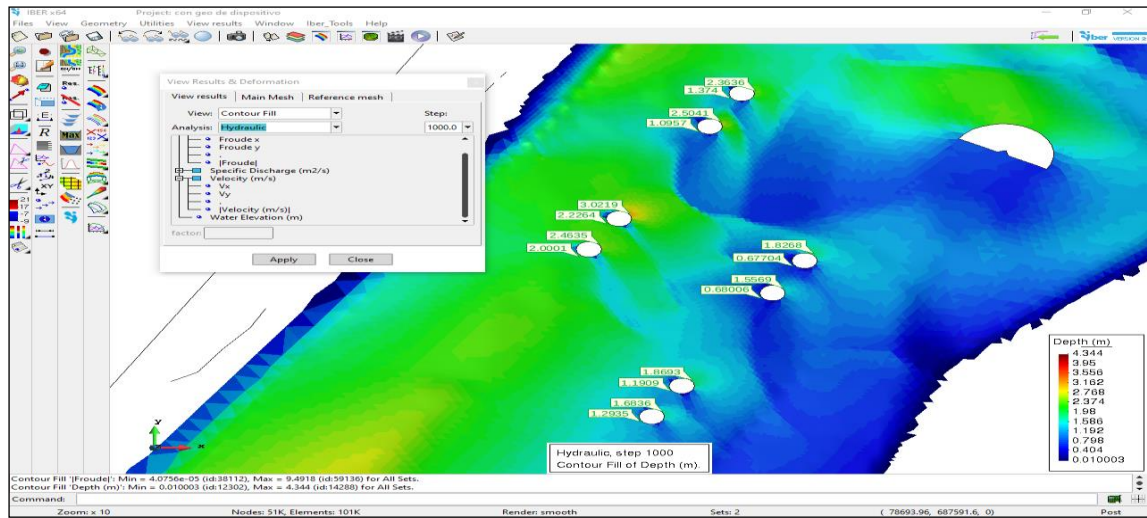
Fuente: Elaboración propia

Tabla 22: Tirante en pilares sin el dispositivo

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Sin dispositivo	Aguas arriba	2.56	2.00	2.51	2.51	1.89	1.28	1.80	1.61
	Aguas abajo	0.98	1.46	2.19	2.19	0.43	0.98	1.41	1.25

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 35: Tirante en pilares con dispositivo G1



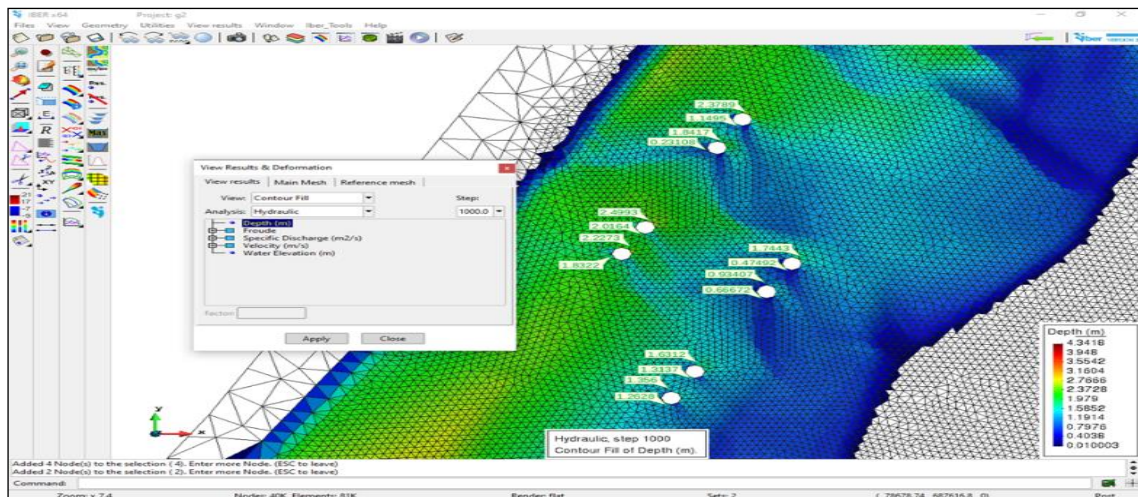
Fuente: Elaboración propia

Tabla 23: Tirante en pilares con dispositivo G1

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
G1	Aguas arriba	2.36	2.50	3.02	2.46	1.83	1.56	1.87	1.68
	Aguas abajo	1.37	1.10	2.23	2.00	0.68	9.68	1.19	1.29

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 36: Tirante en pilares con dispositivo G2



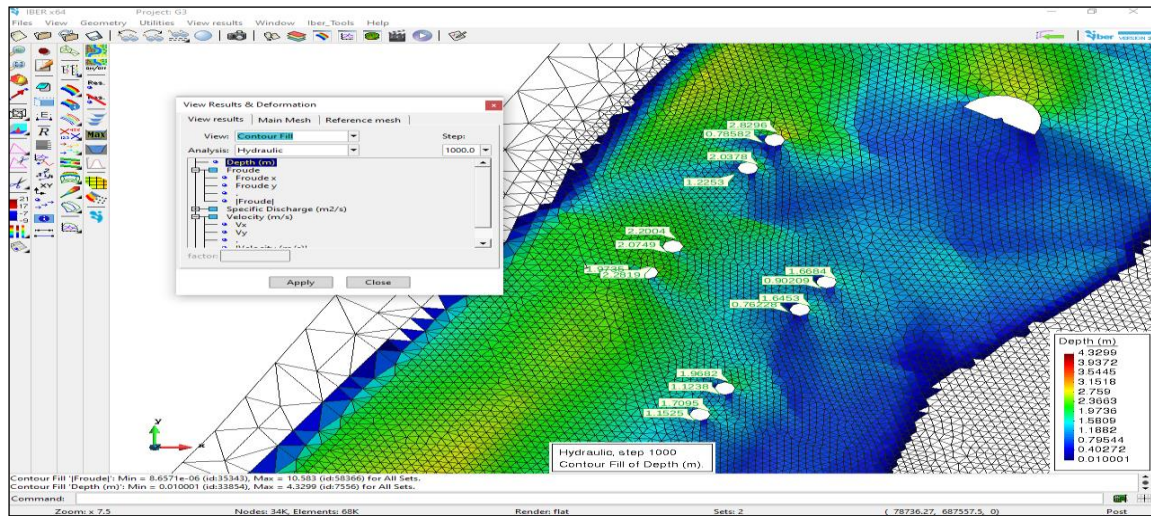
Fuente: Elaboración propia

Tabla 24: Tirante en pilares con dispositivo G2

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
G2	Aguas arriba	2.38	1.84	2.50	2.50	1.74	0.93	1.63	1.36
	Aguas abajo	1.15	0.23	2.02	2.02	0.47	0.67	1.31	1.26

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 37: Tirante en pilares con dispositivo G3



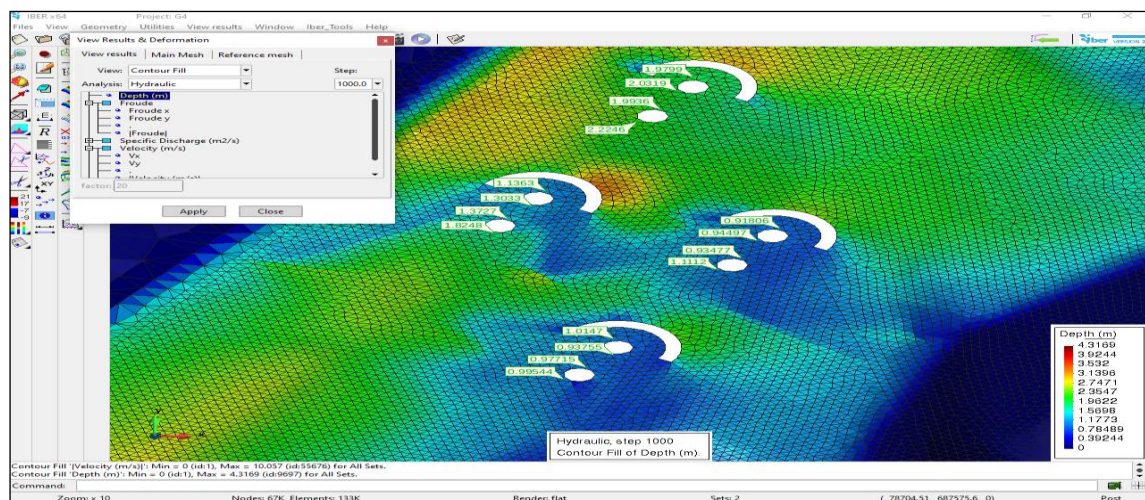
Fuente: Elaboración propia

Tabla 25: Tirante en pilares con dispositivo G3

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
G3	Aguas arriba	2.83	2.04	2.20	2.28	1.67	1.65	1.97	1.70
	Aguas abajo	0.79	1.23	2.07	1.97	0.90	0.76	1.12	1.15

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 38: Tirante en pilares con dispositivo G4



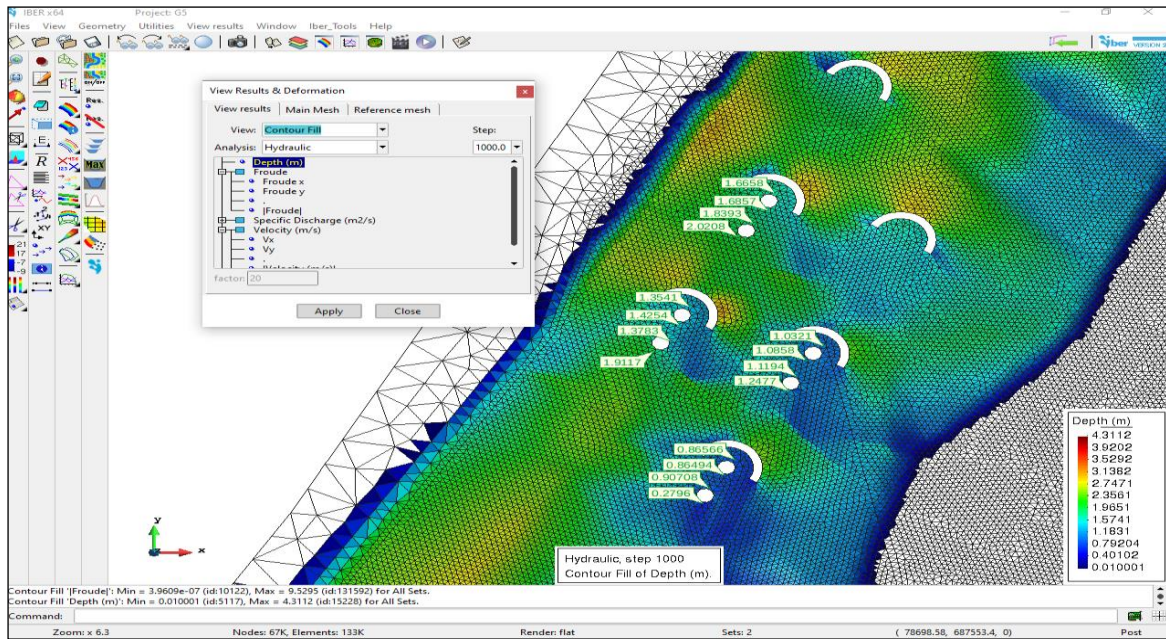
Fuente: Elaboración propia

Tabla 26: Tirante en pilares con dispositivo G4

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
G4	Aguas arriba	1.98	1.99	1.14	1.37	0.92	0.93	1.01	0.98
	Aguas abajo	2.03	2.22	1.30	1.82	0.94	1.11	0.94	1.00

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 39: Tirante en pilares con dispositivo G5



Fuente: Elaboración propia

Tabla 27: Tirante en pilares con dispositivo G5

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
G5	Aguas arriba	1.67	1.84	1.35	1.38	1.03	1.12	0.87	0.91
	Aguas abajo	1.69	2.02	1.43	1.91	1.09	1.25	0.86	0.28

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28: Resumen de tirantes en pilares

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Sin dispositivo	Aguas arriba	2.56	2.00	2.51	2.51	1.89	1.28	1.80	1.61
	Aguas abajo	0.98	1.46	2.19	2.19	0.43	0.98	1.41	1.25
G1	Aguas arriba	2.36	2.50	3.02	2.46	1.83	1.56	1.87	1.68
	Aguas abajo	1.37	1.10	2.23	2.00	0.68	9.68	1.19	1.29
G2	Aguas arriba	2.38	1.84	2.50	2.50	1.74	0.93	1.63	1.36
	Aguas abajo	1.15	0.23	2.02	2.02	0.47	0.67	1.31	1.26
G3	Aguas arriba	2.83	2.04	2.20	2.28	1.67	1.65	1.97	1.70
	Aguas abajo	0.79	1.23	2.07	1.97	0.90	0.76	1.12	1.15
G4	Aguas arriba	1.98	1.99	1.14	1.37	0.92	0.93	1.01	0.98
	Aguas abajo	2.03	2.22	1.30	1.82	0.94	1.11	0.94	1.00
G5	Aguas arriba	1.67	1.84	1.35	1.38	1.03	1.12	0.87	0.91
	Aguas abajo	1.69	2.02	1.43	1.91	1.09	1.25	0.86	0.28

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29: Resumen de tirantes en dispositivos

	Aguas arriba	Aguas abajo
G1	2.79	1.77
G2	2.45	1.20
G3	1.97	2.31
G4	2.65	2.37
G5	2.11	2.53

Fuente: Elaboración propia

3.2.4. Profundidad de la socavación

Para el presente trabajo de investigación se calculará la socavación en los pilares de manera indirecta con los parámetros obtenidos del modelo IBER como lo son el número de Froude y el tirante teniendo en cuenta los diferentes escenarios con o sin dispositivo y se reemplazará en la ecuación de Froehlich. A continuación, se muestran las tablas de datos utilizadas:

Tabla 30: Parámetros para el cálculo de socavación:

Geometría	Parámetros	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Solo Pilares (sin dispositivo)	Kf	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	a	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60
	h	2.56	2.00	2.51	2.30	1.89	1.28	1.80	1.61
	Fr	0.29	0.41	0.21	0.06	0.24	0.37	0.35	0.47
	D50	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
G1	Kf	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	a	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60
	h	2.36	2.50	3.02	2.46	1.83	1.56	1.87	1.68
	Fr	0.07	0.16	0.02	0.11	0.23	0.25	0.05	0.28
	D50	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
G2	Kf	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	a	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60
	h	2.38	1.84	2.50	2.23	1.74	0.93	1.63	1.36
	Fr	0.19	0.38	0.25	0.27	0.34	0.96	0.55	0.64
	D50	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
G3	Kf	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	a	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60
	h	2.83	2.04	2.20	1.97	1.67	1.65	1.97	1.71
	Fr	0.21	0.17	0.03	0.19	0.05	0.03	0.28	0.02
	D50	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
G4	Kf	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	a	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60
	h	1.97	1.99	1.13	1.37	0.92	0.93	1.01	0.98

	Fr	0.11	0.30	0.12	0.07	0.10	0.07	0.05	0.05
	D50	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
G5	Kf	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	a	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60
	h	1.66	1.83	1.35	1.37	1.03	1.12	0.87	0.91
	Fr	0.05	0.03	0.09	0.38	0.14	0.02	0.20	0.09
	D50	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31: Resumen de resultados del cálculo de socavación

	Sin dispositivo	G1	G2	G3	G4	G5
P1	2.63	2.33	2.51	2.60	2.34	2.16
P2	2.59	2.49	2.53	2.42	2.52	2.12
P3	2.55	2.24	2.59	2.19	2.17	2.20
P4	2.30	2.42	2.55	2.43	2.17	2.41
P5	2.46	2.43	2.49	2.18	2.11	2.18
P6	2.38	2.39	2.43	2.09	2.07	1.99
P7	2.51	2.21	2.56	2.51	2.05	2.17
P8	2.52	2.44	2.51	2.04	2.04	2.09

Fuente: Elaboración propia

3.2.5. Comportamiento del flujo

Para analizar el comportamiento del flujo se observó las variaciones del número de Froude y velocidad obtenidas aguas arriba y aguas debajo de los pilares y dispositivo

Tabla 32: Número de Froude en pilares

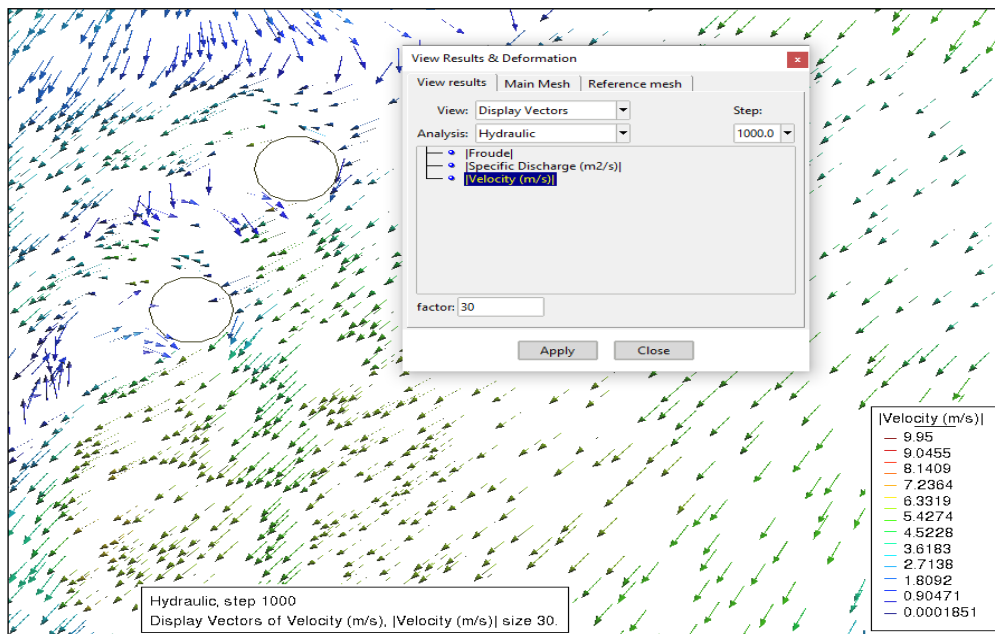
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
G1	Aguas arriba	0.07	0.16	0.02	0.11	0.23	0.25	0.05	0.28
	Aguas abajo	0.23	0.40	0.01	0.11	0.23	0.20	0.03	0.17
G2	Aguas arriba	0.19	0.38	0.25	0.27	0.34	0.96	0.55	0.64
	Aguas abajo	0.23	0.55	0.03	0.18	0.06	0.06	0.00	0.05
G3	Aguas arriba	0.21	0.17	0.03	0.19	0.05	0.03	0.28	0.02
	Aguas abajo	0.15	0.23	0.00	0.13	0.07	0.13	0.14	0.12
G4	Aguas arriba	0.11	0.30	0.12	0.07	0.10	0.07	0.05	0.05
	Aguas abajo	0.13	0.30	0.02	0.01	0.12	0.05	0.00	0.01

G5	Aguas arriba	0.05	0.03	0.09	0.38	0.14	0.02	0.20	0.09
	Aguas abajo	0.01	0.02	0.35	0.22	0.15	0.05	0.20	0.87

Fuente: Elaboración propia

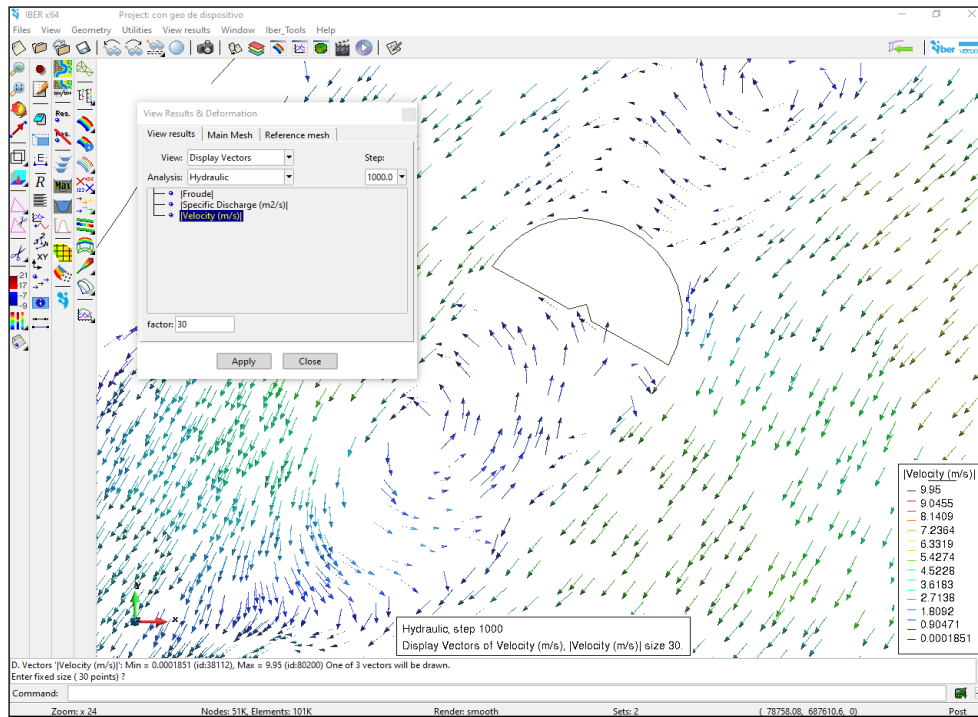
Adicionalmente se observó el comportamiento de las líneas de flujo alrededor de los pilares y el dispositivo.

Ilustración 40: Vectores en pilares con G1



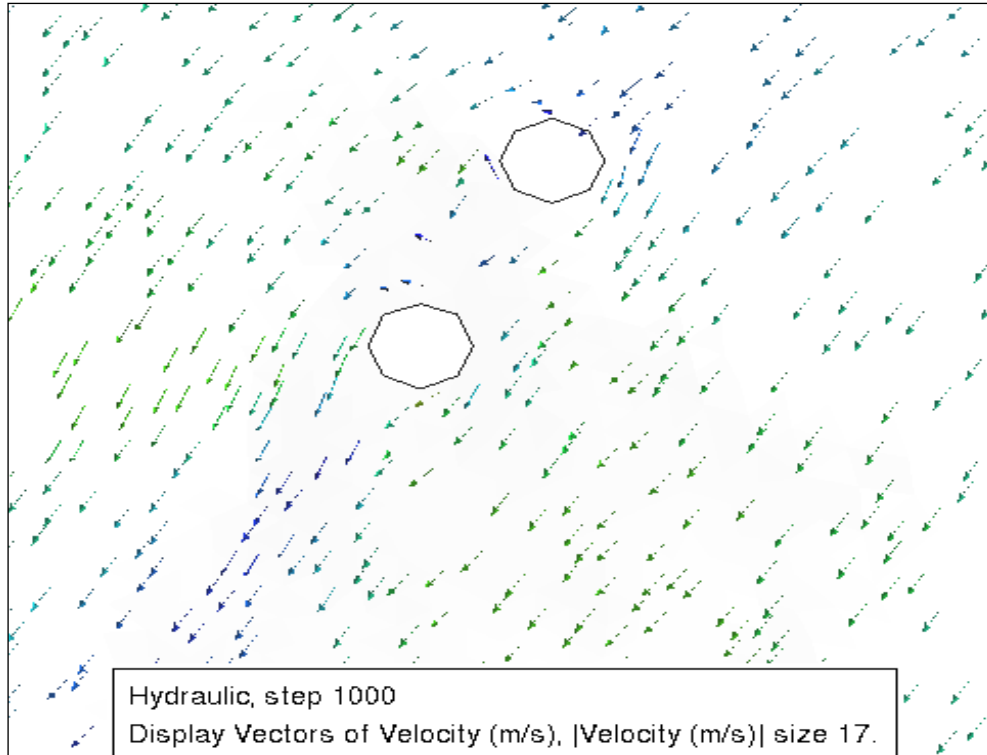
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 41: Vectores en dispositivo G1



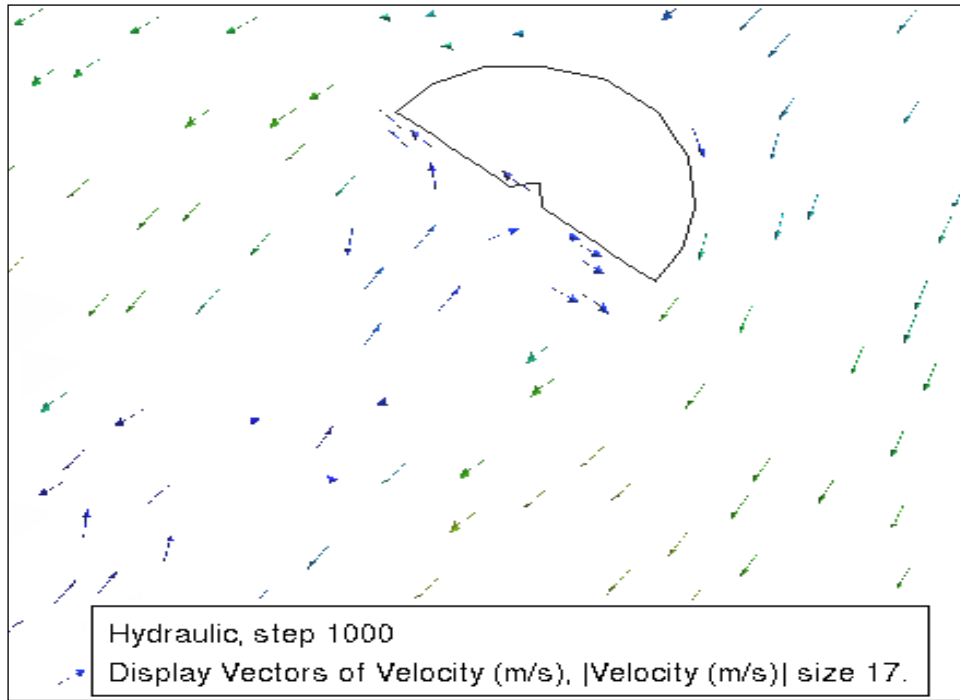
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 42: Vectores en pilares G2



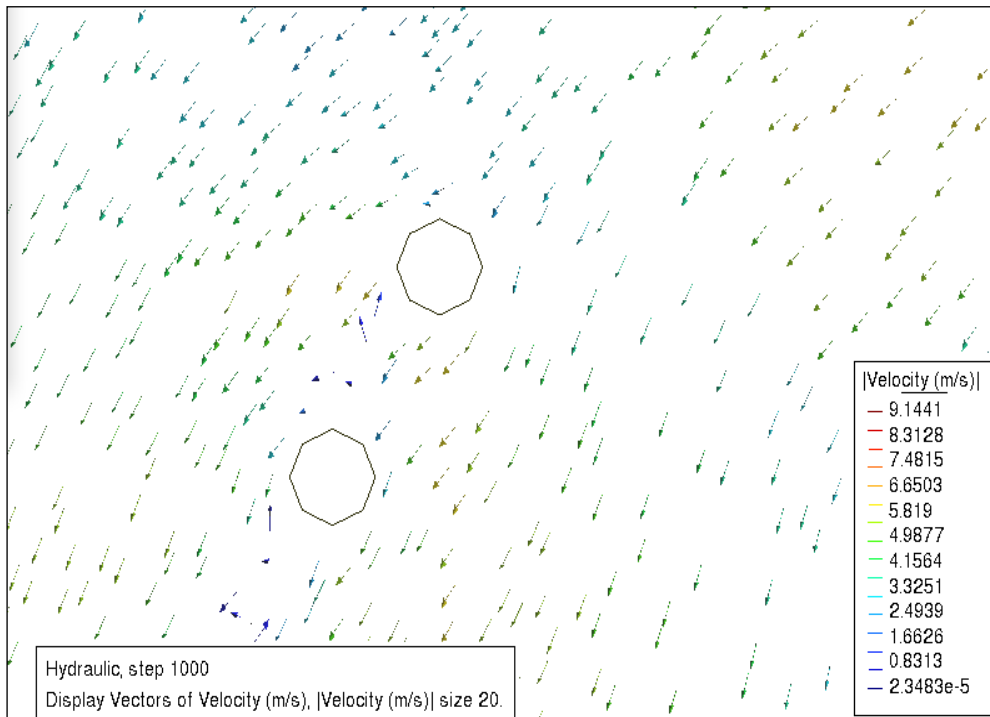
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 43: Vectores en dispositivo G2



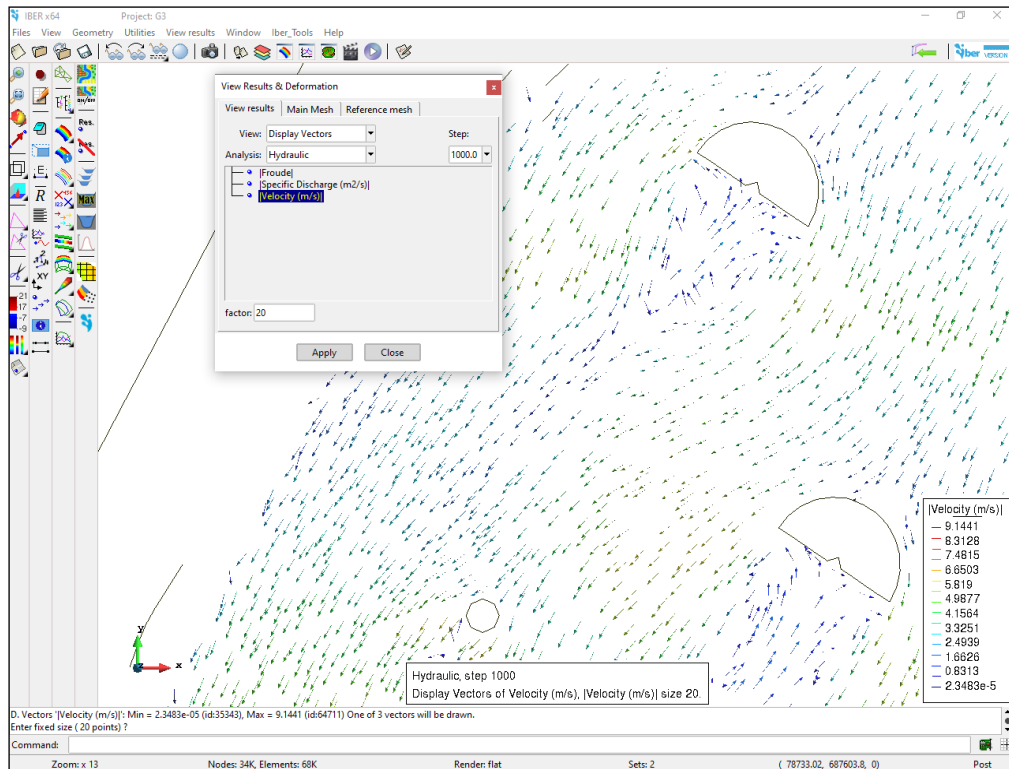
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 44: Vectores en pilares con G3



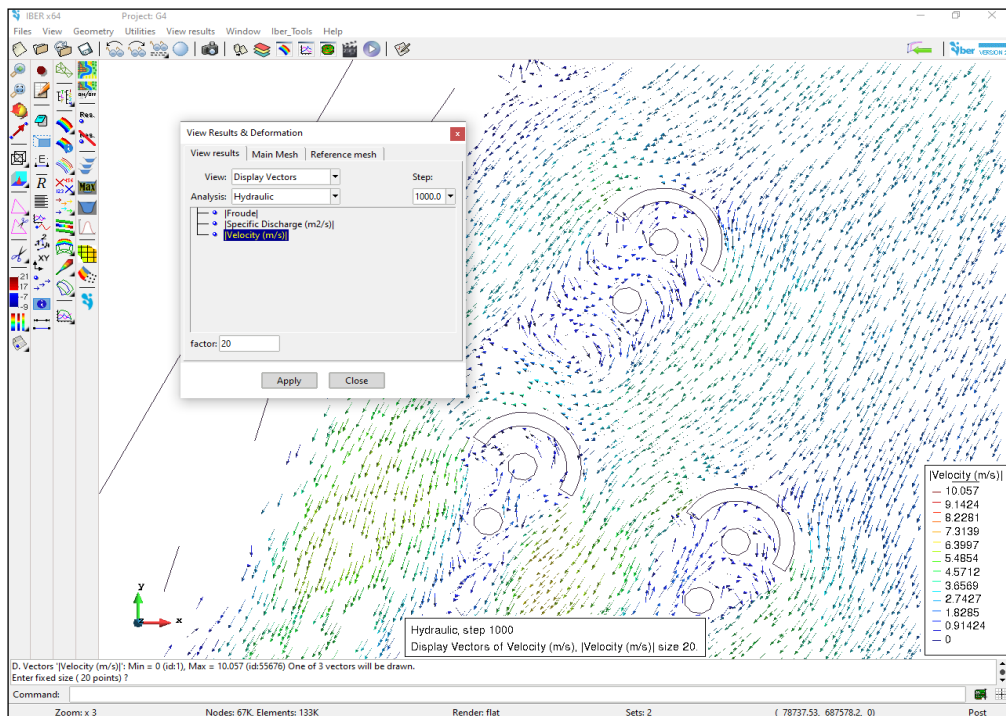
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 45: Vectores en dispositivo G3



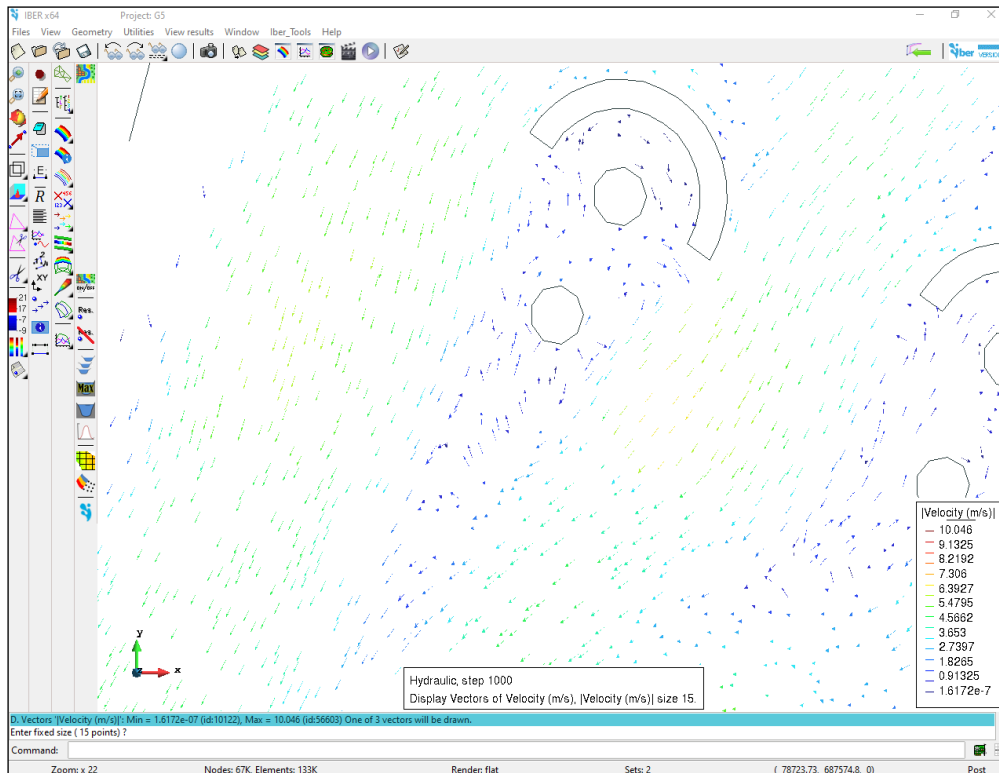
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 46: Vectores en dispositivo G4



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 47: Vectores en dispositivo G5



Fuente: Elaboración propia

3.2.6. Otras condiciones observadas

Se realizó el cálculo de la pérdida de energía en distintos puntos tomados de las secciones transversales antes y después de la colocación de cada geometría propuesta en las que se tomó en cuenta parámetros tales como la velocidad máxima, tirante máximo y cota. Finalmente se reemplazó en la ecuación 1.

Tabla 33: Datos para el cálculo de energía en dispositivo

Geometría	Parámetros	E1	E2
G1	Z1=	1.50	0.80
	Y1=	2.79	1.77
	V1=	5.45	4.36
	g=	9.81	9.81
G2	Z1=	3.50	0.50
	Y1=	2.45	1.20
	V1=	6.94	4.48
	g=	9.81	9.81
G3	Z1=	1.30	0.50
	Y1=	1.97	2.31
	V1=	4.90	4.60
	g=	9.81	9.81

G4	Z1=	2.90	1.10
	Y1=	2.65	2.37
	V1=	4.87	5.81
	g=	9.81	9.81
G5	Z1=	2.80	0.50
	Y1=	2.11	2.53
	V1=	4.97	4.55
	g=	9.81	9.81

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34: Resultado de energía en dispositivo

		Energía	
		E1	E2
Geometría	G1	5.80	3.54
	G2	8.40	2.73
	G3	4.49	3.89
	G4	6.76	5.19
	G5	6.17	4.08

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35: Energía en pilares

		E1	E2
		G2	P1
P2	4.34		2.98
P3	4.82		3.23
P4	3.48		2.81
P5	2.67		1.48
P6	2.41		1.29
P7	2.47		1.69
P8	2.25		1.81

Fuente: Elaboración propia

3.3. Prueba de hipótesis general

Se determinó que la magnitud de la socavación se reduce con la aplicación del dispositivo disipador de energía de flujo frente a máximas avenidas en los pilares del puente San Martín.

El comportamiento del flujo se ve afectado mediante la aplicación del dispositivo en el modelamiento hidráulico de los pilares del puente San Martín.

Finalmente, se puede afirmar que la hipótesis general formulada en esta investigación “se aprueba”

3.4. Respuestas a las preguntas de investigación

Problema general

¿Cómo el modelamiento hidráulico de un dispositivo disipador de energía de flujo contribuye a reducir la socavación local en los pilares del puente San Martín, Río Chillón, Lima, 2021?

Se realizó el modelamiento hidráulico de un dispositivo disipador de energía de flujo contribuye a reducir la socavación local en los pilares del puente San Martín, Río Chillón, Lima.

Problemas específicos

¿Cuál es la magnitud de la socavación local aplicando el modelamiento hidráulico del dispositivo disipador de energía frente a máximas avenidas en los pilares del puente San Martín, Río Chillón, Lima, 2021?

Se determinó la magnitud de la socavación mediante el modelamiento hidráulico dispositivo disipador de energía frente a máximas avenidas en los pilares del puente San Martín, Río Chillón, Lima.

¿Cuál es el comportamiento del flujo al proponer un dispositivo como disipador de energía que se evaluara mediante el modelamiento hidráulico en los pilares del puente San Martín, Río Chillón, Lima, 2021?

Se observó el comportamiento del flujo al proponer un dispositivo como disipador de energía que se evaluara mediante el modelamiento hidráulico en los pilares del puente San Martín, Río Chillón, Lima.

3.5. Respuestas a los objetivos de investigación

Objetivo General

El presente trabajo de investigación cumplió con el objetivo general trazado, en donde se afirma que existe una correlación entre la implementación de un dispositivo y la reducción de la socavación local en los pilares del puente San Martín, Río Chillón mediante el modelamiento hidráulico.

Objetivos específicos

Se cumplió con el objetivo específico 1 donde mediante el modelamiento hidráulico en Iber de los pilares y el dispositivo propuesto se determinó la magnitud de la socavación local del puente San Martín, Chillón ante un escenario en máximas avenidas.

Se cumplió con el objetivo específico 2 donde mediante el modelamiento hidráulico en Iber de los pilares y el dispositivo propuesto se determinó el comportamiento del flujo del puente San Martín, Chillón.

CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Fase de recolección de datos

Las curvas de nivel obtenidas en Civil 3D permitieron el procesamiento adecuado de la superficie en estudio, así como las secciones transversales de la batimetría del Río Chillón cada 20 m.

La estimación del caudal se realizó con la información hidrológica disponible, considerando un periodo de retorno de 150 años con lo cual se estableció un caudal según el método Probabilístico de Gumbel. Las secciones Transversales tomadas en el cauce del río son 20 en total, a partir de la progresiva del cauce de río 0+000 hasta 0+400.00, a lo largo de todo este perfil longitudinal que presenta el río, se encontró que la pendiente promedio es de 1.9 %, lo que indica que en el curso del río las velocidades son relativamente baja. Para la lluvia de 150 años de 28.65 mm, se ha analizado mediante el hietograma para una distribución tipo II de lluvia según el Soil Conservation Centre – SCS. La metodología está descrita en los journal de Hidrología y la bibliografía disponible. Con las características de la cuenca para una tormenta horaria, haciendo uso del software HEC-HMS se ha determinado el caudal máximo de 223.9 m³/s.

Los estudios de suelos a partir de 4 calicatas excavadas en la zona de estudio son necesarios para obtener el tipo de clasificación del suelo a través de los ensayos granulométricos y determinar el diámetro medio (D_m) de partícula, dato que es utilizado para el cálculo de la profundidad de la socavación en los distintos escenarios del modelamiento.

Modelamiento de dispositivo

Iber es un programa de modelamiento de flujo que aporta información del tirante, velocidad, número de Froude, sección hidráulica, entre otros, en los distintos escenarios e intervalos de tiempo a analizar con o sin dispositivo, de manera que se puede saber con exactitud los valores requeridos en cada nodo de la malla aguas arriba y aguas debajo de los pilares.

El modelamiento se realizó con los parámetros de entrada de superficie con pilares y dispositivo en formato dxf, caudal de 223.9 m³/s y rugosidad de 0.038 para los cuales se generó una malla no estructurada de 0.15 en la zona del cauce.

Los valores obtenidos en cada simulación se tomaron en la zona más crítica requerida para el cálculo.

Cálculo de la socavación

De los métodos sugeridos por el Manual de Hidrología y Drenaje con respecto al cálculo de la socavación local en pilares se escogió el método de Froehlich debido a que considera parámetros como el número de Froude, D50, profundidad del flujo aguas arriba, obtenidos de la simulación en IBER dando mayor confiabilidad a los resultados obtenidos, otros parámetros considerados por el método son el ancho del pilar, y factor de corrección de forma del pilar. Los datos utilizados fueron los tomados aguas arriba de cada pilar.

El cálculo de la socavación en la geometría G1 arrojó valores favorables para los pilares P1, P2, P3, P5, P7, P8. En los pilares P4 y P6 los valores de socavación no fueron óptimos porque el tirante en la zona sobrepaso al del modelamiento sin el dispositivo.

El cálculo de la socavación en la geometría G2 arrojó valores favorables solo para los pilares P1, P2 y P3. En los pilares P4, P5, P6, P7, P8 el número de Froude es mayor al modelamiento sin el dispositivo

El cálculo de la socavación en la geometría G3 arrojó valores favorables solo para los pilares P1, P2, P3, P5, P6, P7, P8. En el pilar 4 se vio un aumento del número de Froude en comparación al del modelamiento sin el dispositivo

El cálculo de la socavación en la geometría G4 arrojó valores favorables en el 100% de la muestra debido a que el flujo no impactó directamente a los pilares lo que redujo el tirante y velocidad aguas arriba.

El cálculo de la socavación en la geometría G5 arrojó los valores más altos favorables en el 100% de los pilares de la investigación

Comportamiento del flujo

Froude:

Para la descripción del tipo de flujo se observó las secciones transversales en cada escenario en el que se verificó el régimen subcrítico al tener un número de Froude menor a 1, que representa un flujo lento, velocidad mínima para un tiempo de retorno de 150 años. La propuesta G5 tiene el número de Froude más bajo de 0.17165.

Energía:

El análisis de la energía a través de las secciones transversales sacadas aguas arriba de la primera geometría y aguas debajo de la última respectivamente es de gran importancia,

comprobandose la efectividad del dispositivo en el 100% de las propuestas como disipador de energía de flujo.

Vectores:

Se mostraron los vectores de velocidad con el objetivo de conocer la dirección que representa el flujo secundario que genera el proceso de socavación, en los que se evidenció lo siguiente:

En la modelación de G1 se presentó el fenómeno de recirculación aguas abajo del dispositivo con variaciones de velocidad de 0 a 2m/s, y en el radio interno se observó incluso vectores en la posición z que representa a un pequeño salto hidráulico. Por otro lado, el efecto del flujo en los pilares P1, P2, P3, P5, P7, P8 el flujo transcurrió en su sentido natural mientras que aguas debajo de los pilares P4 y P6 se observó vectores en el sentido opuesto lo que simboliza una recirculación en la zona.

En la modelación de G2 se presentó el fenómeno de recirculación aguas abajo del dispositivo con variaciones de velocidad de 0 a 2m/s. Por otro lado, el efecto del flujo en los pilares P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8 transcurrió en su sentido natural.

En la modelación de G3 se presentó el fenómeno de recirculación aguas abajo del dispositivo con variaciones de velocidad de 0 a 2m/s. Por otro lado, el efecto del flujo en los pilares P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8 transcurrió en su sentido natural mientras que aguas abajo del pilar P1 se observó un vector en el sentido contrario del flujo de velocidad de 0 a 1m/s.

En la modelación de G4 se presentó el fenómeno de recirculación aguas abajo del dispositivo con variaciones de velocidad de 0 a 2m/s en los que se ven comprometidos los pilares P1, P2, P5 y P6. El flujo en los pilares P3, P4, P7 y P8 transcurrió en su sentido natural.

En la modelación de G5 se presentó el fenómeno de recirculación aguas abajo del dispositivo con variaciones de velocidad de 0 a 1m/s.

4.1.1. Limitaciones

Entre los muchos métodos para el cálculo de la socavación local se evaluó solo aplicando Froehlich siendo este el que más se moldea a este tipo de investigación.

El modelamiento de las geometrías propuestas para el dispositivo se hizo asumiendo que estas son de superficie lisa y sólida.

La pérdida de energía obtenida es aplicable debido a que la pendiente del cauce es baja.

La particularidad de las características de cada proyecto según su necesidad o envergadura hacen complicada la elaboración de una serie de pasos estrictos a seguir, por lo cual esta tesis deberá ser aplicada solo dentro de los parámetros de estudio detallados y desarrollados a lo largo del trabajo de la investigación.

4.1.2. Implicancias

La presente investigación permitirá estudiar la magnitud de la socavación local en los pilares del puente San Martín de la integración proponiendo distintas geometrías de dispositivo mediante el modelamiento hidráulico en el software IBER. Por otro lado, también se estudia el comportamiento del flujo en diferentes puntos del cauce aguas arriba y abajo del dispositivo. Este puente de 4 carriles de 90 mts de largo, es una de las más importantes en el distrito de Carabayllo. La aplicación de esta investigación será de gran utilidad para aquellos que estén evaluando implementar un sistema de protección en las pilas de puentes sumergidos en el cauce de un río. Tendrá utilidad académica, porque la investigación realizada podrá servir en el aprendizaje de la prevención de la socavación usando el dispositivo reductor de energía de flujo.

CONCLUSIONES

Objetivos específicos

Se cumplió con el objetivo específico 1 donde mediante el modelamiento hidráulico en Iber de los pilares y el dispositivo propuesto se determinó la magnitud de la socavación local del puente San Martín, Chillón ante un escenario en máximas avenidas. Se determinó mediante el método de Froehlich que la geometría con mejores resultados con respecto a la socavación es la G5. Sin embargo, los datos arrojados por el programa Iber en los pilares más alejados al dispositivo son los que menos eficiencia presentan, esto debido a que a mayor distancia las líneas de flujo presentan un efecto de recirculación.

Los datos de velocidad tomada aguas arriba de los pilares después de la aplicación de cada geometría se vio disminuida en comparación a los datos tomados solo con los pilares.

Se cumplió con el objetivo específico 2 donde mediante el modelamiento hidráulico en Iber de los pilares y el dispositivo propuesto se determinó el comportamiento del flujo del puente San Martín, Chillón.

El número de Froude aguas arriba de los pilares es menor a 1 lo que nos permite concluir que el tipo de flujo es subcrítico. Esto debido a la disminución de la velocidad después de la colocación de cada geometría.

La geometría del dispositivo propuesto disipa la energía de flujo. Se observó poca profundidad de socavación en el frontis del pilar y casi nula a los flancos mejorando su eficiencia a mayor diámetro del disco de acero alrededor de la pila, ante la socavación que aumenta rápidamente en función del tiempo, luego fluctúa alrededor de un valor medio presentando un comportamiento cíclico, porque el hoyo de socavación que se desarrolla al pie de la obstrucción durante la etapa de crecida de la avenida, se rellena durante el período de disminución de la misma.

RECOMENDACIONES Y POSIBLES INVESTIGACIONES

Se sugiere llevar a escala el modelamiento físico del dispositivo realizado en IBER para obtener resultados en campo en contraste al presente investigación

La geometría descrita fue modelada asumiendo que el material del dispositivo es completamente liso y solido por lo cual el comportamiento del flujo mediante el uso de mallas, geotextiles u algún otro tipo de materiales que permita el paso del flujo a través de él sería una nueva variable de estudio para futuras investigaciones.

Se recomienda analizar este tipo de geometrías en una pendiente de cauce alta.

Se recomienda realizar un análisis del proceso constructivo y viabilidad del modelo propuesto

REFERENCIAS

- Bishwajit Singh, N., Tamphasana Devi, T., & Kumar, B. (2020). The local scour around bridge piers—a review of remedial techniques. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 15.
- Aldana, J., & Ordóñez, J. I. (2003). COMPARACIÓN DE FORMULAS PARA CALCULAR LA SOCAVACIÓN GENERAL EN CAUCES ALUVIALES. *Universidad Nacional de Colombia*, 17.
- Alvarez, J. M., & Bribiesca, J. L. (1964). Contribucion al estudio de la socavacion local en pilas de puente. *UNAM*, 17.
- Arriola Carrasco, G. G., & Bejarano Trujillo, L. M. (2013). ESTUDIO DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS BASADOS EN LA SUPERPOSICIÓN DE LOS COMPONENTES DE SOCAVACIÓN PARA PILARES COMPLEJOS APLICADOS AL PUENTE REQUE. *Tzhoeco*, 22.
- Bolivar Bello, G. E. (2020). MODELAMIENTO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO BIDIMENSIONAL DEL RIO MARAÑÓN SECTOR PUENTE TINGO CHICO, CARRETERA HUANUCO -CONOCOCHA. Lima, Perú.
- Castellanos Hernández, Y. (2018). Medidas de mitigación al efecto de socavación que se presenta en el caño Buque, entre el puente ubicado en la vía Bogotá a 1km del túnel Buenavista al puente de la Av. 40 cerca de la Cll. 15, aplicando soluciones de ingeniería. Bogotá, Colombia.
- Castro Barco, D. A. (2017). *TERRAPLÉN DE PRUEBA SOBRE SUELOS BLANDOS. ESTUDIO DEL CAMPO DE DESPLAZAMIENTOS*. Universidad de Sevilla, Sevilla, España.
- Chirinos Sota, F. R. (2017). *Estudio de socavación de la subestructura de puente y análisis de estabilidad – caso puente Nicolás Dueñas de la ciudad de Lima en el 2017*. Universidad Cesar Vallejo, Lima, Peru.
- Diaz Aguilar, G. R. (2019). MODELAMIENTO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RÍO SAN RAMÓN PARA EL DISEÑO DEL PUENTE EVITAMIENTO, PROVINCIA DE SATIPO, JUNÍN. Lima, Peru.
- Elbio Felipe, M. (2016). *SOCAVACIÓN PRODUCIDA POR EL RÍO HUALLAGA AL PUENTE COLPA RÍO HUALLAGA AL PUENTE COLPA ALTA EN LA PROVINCIA DE HUÁNUCO, UTILIZANDO LOS MÉTODOS DE ARTAMANOV, STRAUB Y MAZA, EN EL HEC-RAS*. Universidad de Piura, Piura, Peru.
- Enciso Navarro, P. (2015). *Estudio Hidráulico y Estimación de Socavación en el Puente Interconexión Muyurina- Ayacucho*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA, Ayacucho, Peru.
- Escuder Bueno, I. (2000). *ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO TENSO-DEFORMACIONAL DE PEDRAPLENES INUNDABLES MEDIANTE SIMULACIONES NUMÉRICAS FORMULADAS EN DIFERENCIAS FINITAS Y CALIBRADAS CON LECTURAS DE INSTRUMENTACIÓN*. UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA, Valencia, España.
- Espinoza Figueroa, D. (2010). *VULNERABILIDAD POR SOCAVACIÓN DE VULNERABILIDAD POR SOCAVACIÓN DE*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA, Mexico.D.F, Mexico.
- Esteves Diaz, M. N. (2018). *EVALUACIÓN DE MÉTODOS PARA EL CALCULO DE LA SOCAVACIÓN EN PUENTES, CASO DEL PUENTE SOBRE EL RIO SHANUSI*

- EN EL DISTRITO DE YURIMAGUAS, PROVINCIA DE ALTO AMAZONAS, 2018.*
Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo.
- Gomez Cunya, L. A. (2010). *SOCAVACIÓN ALREDEDOR DE PILARES DE PUENTES EN. UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA, Lima.*
- Gupta, U. (2016). Mejora de la utilidad de los pilares sumergidos con collar. *ASCE.*
- Hernández Sampieri, R. (2014). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN.* Mexico D.F.
- Jimenez Perez, F. G., Roldán Herrera, M. D., & Uribe Chavez, D. Y. (2006). *REDUCCION DE LA SOCAVACION LOCAL EN PIAS CIRCULARES MEDIANTE EL USO DE RUGOSIDADES ARTIFICIALES.* Ciudad de Mexico, Mexico.
- Martinez Vargas, A. (2007). ¿POR QUE FALLAN LOS PUENTES EN EL PERU? *Boletín Geotecnico M.I.G, 5.*
- Medina Oliva, Y. B. (2018). ESTUDIO DE SOCAVACIÓN EN ESTRUCTURAS DE PROTECCIÓN RIBEREÑA FUNDADAS SOBRE CAUCES VARIABLES DEL RIO CHILLÓN –PUENTE PIEDRA EN EL 2017. Lima, Perú.
- Millan Barrera, C., Salgado Maldonado, G., & Arroyo Correa, V. (2019). REVISION OF LOCAL SOCAVATION AROUND A PILE WITH DIFFERENT ROUGHNESS BY MEANS OF NUMERICAL SIMULATION AND PREDICTIVE EQUATIONS OF LABORATORY. *IAHR World Congress, 11.*
- MTC. (2012). *MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y DRENAJE.* LIMA: PERÚ.
- MTC. (2018). *MANUAL DE PUENTES.* LIMA: PERÚ.
- Pfleger, F., Rapp, C., & Manhart, M. (2014). Experimental investigation on the sediment movement in the vicinity of a cylindrical bridge pier. *Hydraulic Engineering Repository, 9.*
- Quispe Ccahuin, N. A. (2019). MODELAMIENTO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA CONTROL DE SOCAVACIÓN DE ESTRIBOS DEL PUENTE MARITA DE LA CARRETERA SANCOS SACCSAMARCA, PROVINCIA DE HUANCA SANCOS - AYACUCHO. Ayacucho, Peru.
- Quispe Quiñonez, D. R., & Rojas Felix, J. E. (2018). “Modelamiento hidráulico del cauce en río huaycoloro mediante el programa HecRas para mitigar las inundaciones en Huachipa, 2018”. Lima, Peru.
- Rivering. (2015). Estudio Hidrológico, Hidráulico y de Socavación para Contramedidas en Dos Tramos Problemáticos del Río Corrogres. Santa Ana, Costa Rica.
- Rojas Gomez, W. T. (2014). *MODELAMIENTO HIDRAULICO PARA EL ESTUDIO DE LA SOCAVACION EN PILARES DE PUENTES Y ANALISIS DE LOS METODOS PARA SU CALCULO.* Universidad Catolica de Santa Maria, Arequipa. Obtenido de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCSM_df6394361ccea3af1731a4df7cb8c0a
- Solano Zuñiga, T. D., & Vintimilla Villavicencio, N. C. (2013). ESTUDIO FLUVIOMORFOLÓGICO DEL RÍO VINCES Y DETERMINACIÓN DE LAS ÁREAS DE INUNDACIÓN DE LA ZONA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO PACALORI APLICANDO HEC- GEORAS. Cuenca, Ecuador.
- Suarez Diaz, J. (2001). CONTROL DE EROSION EN ZONAS TROPICALES. Bucaramanga, Colombia. Obtenido de <https://www.erosion.com.co/control-de-erosion-en-zonas-tropicales.html>
- Terry Cerdeña, M. A. (2019). MODELAMIENTO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO RUNICHINCHAY PARA EL DISEÑO DEL PUENTE RUNICHINCHAY, PROVINCIA DE HUARI, ANCASH. Lima, Perú.

- Tito Quispe, Y. A. (2017). MODELAMIENTO HIDRAULICO DEL RIO CAÑETE SECTOR PUENTE SOCSI -ALTURA PUENTE COLGANTE (9 KM), CON FINES DE DISEÑO DE DEFENSAS RIBEREÑAS. Lima, Perú.
- Torres Artica, B. K. (2019). FLUJOS EN RIOS POR CAMBIOS DE SECCION POR ACUMULACION DE DEMOLICIONES- SECTOR PUENTE SAN MARTIN DE LA INTEGRACION, RIO CHILLON, LIMA-2019. Lima, Perú.
- Torres Villegas, I., Ramírez Aguirre, S. G., & León Toledo, V. (2017). PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE EN EL CAMPO DE LA INGENIERÍA HIDRÁULICA, APLICADO AL ESTUDIO DE LA SOCAVACIÓN EN CAUCES DE ARENA EN LA PILA DE LOS PUENTES. *Universidad de Guayaquil*, 17.
- VEN TE CHOW, D. R. (2000). *Hidrologia Aplicada*. Colombia: McGRAW-HILL.
- Wang, S., Wei, K., Shen, Z., & Xiang, Q. (2019). Experimental Investigation of Local Scour Protection for Cylindrical Bridge Piers Using Anti-Scour Collars. *MDPI - Publisher of Open Access Journals*.
- Yanmaz, M., & Kose, O. (2006). Surface Characteristics of Scouring at Bridge Elements. *TUB İTAK*, 8.

ANEXOS

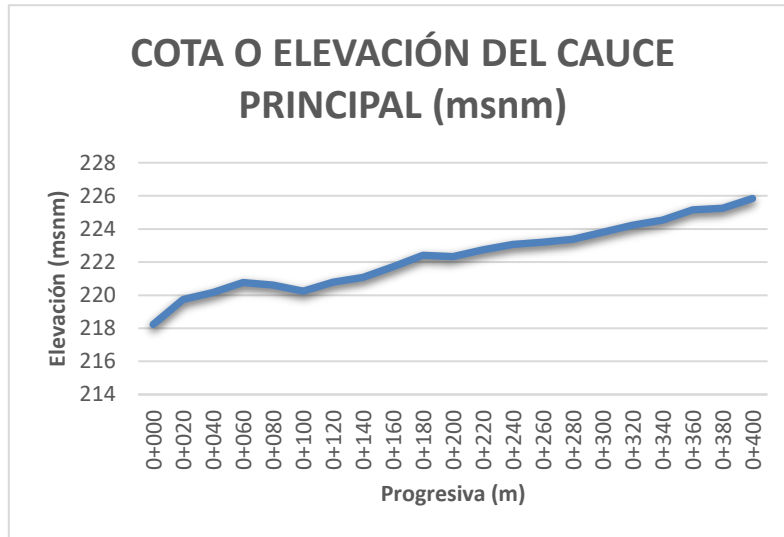
ANEXO 01

Curvas de nivel



ANEXO 02

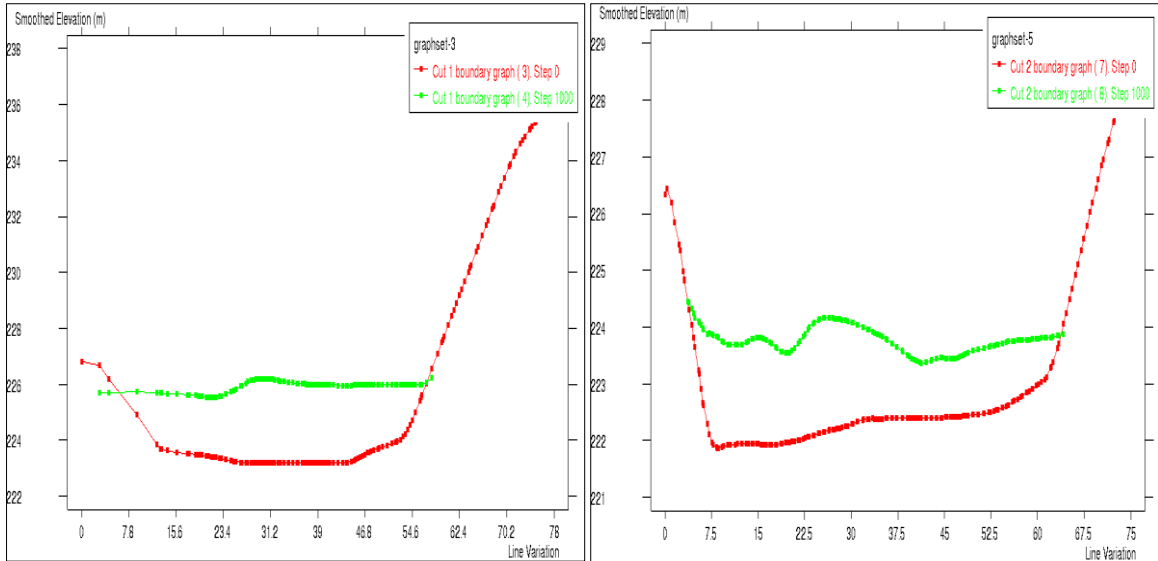
Pendiente media del río (Ic):



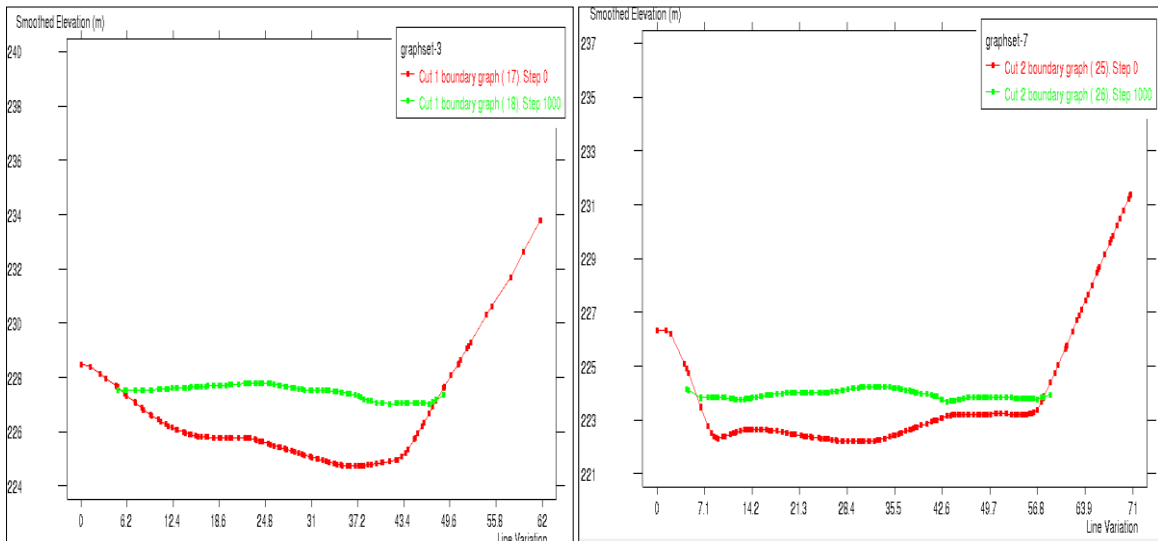
PROGRESIVA (m)	COTA O ELEVACIÓN DEL CAUCE PRINCIPAL (msnm)
0+000	218.23
0+020	219.73
0+040	220.17
0+060	220.76
0+080	220.6
0+100	220.25
0+120	220.78
0+140	221.07
0+160	221.72
0+180	222.4
0+200	222.34
0+220	222.73
0+240	223.07
0+260	223.2
0+280	223.38
0+300	223.81
0+320	224.22
0+340	224.53
0+360	225.16
0+380	225.25
0+400	225.84

ANEXO 03 Secciones transversales

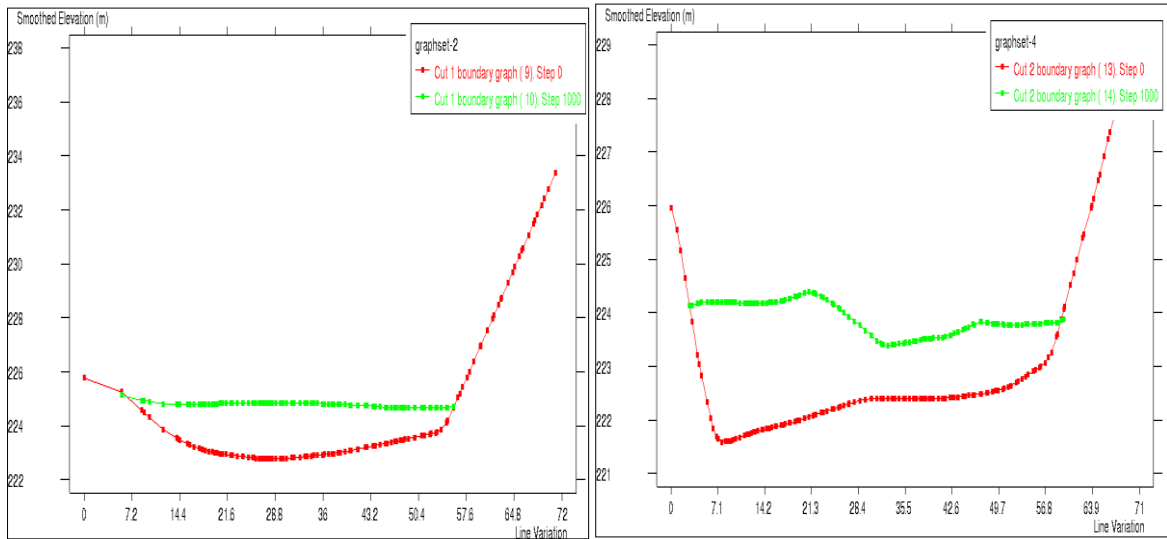
G1



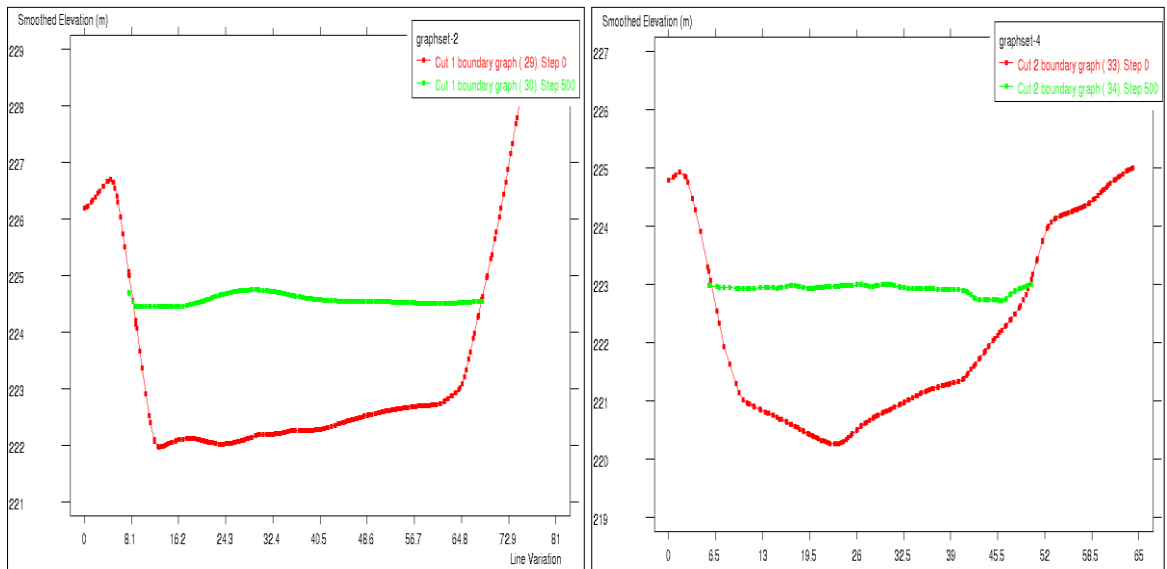
G2



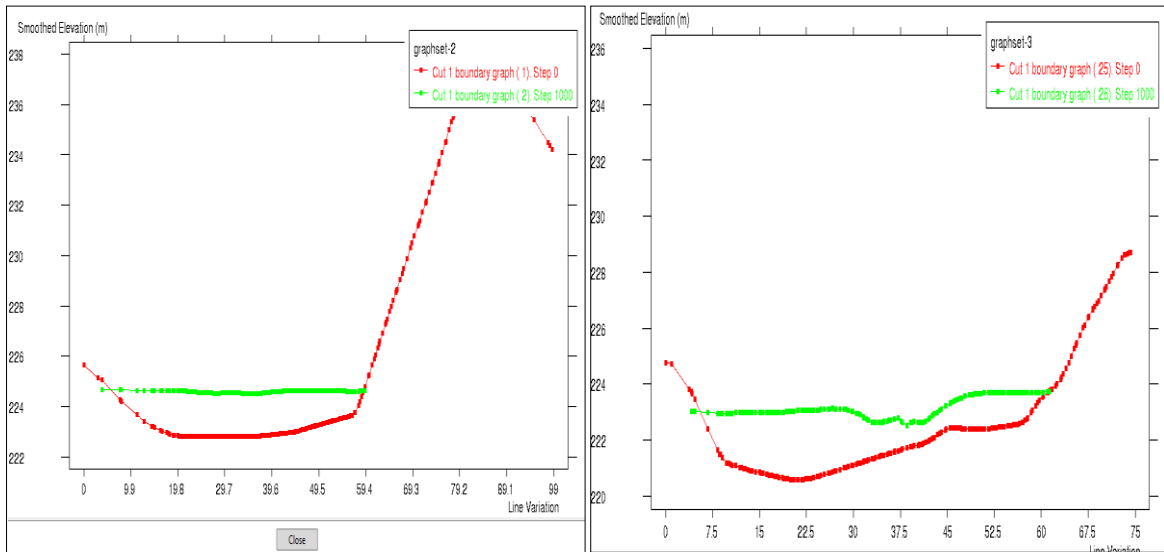
G3



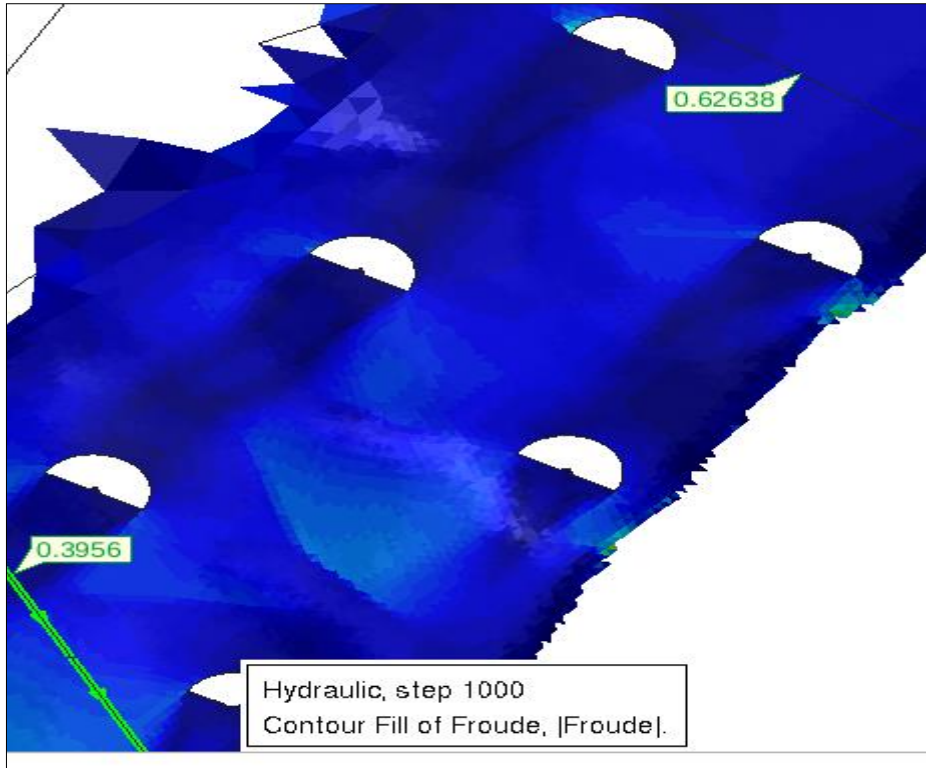
G4



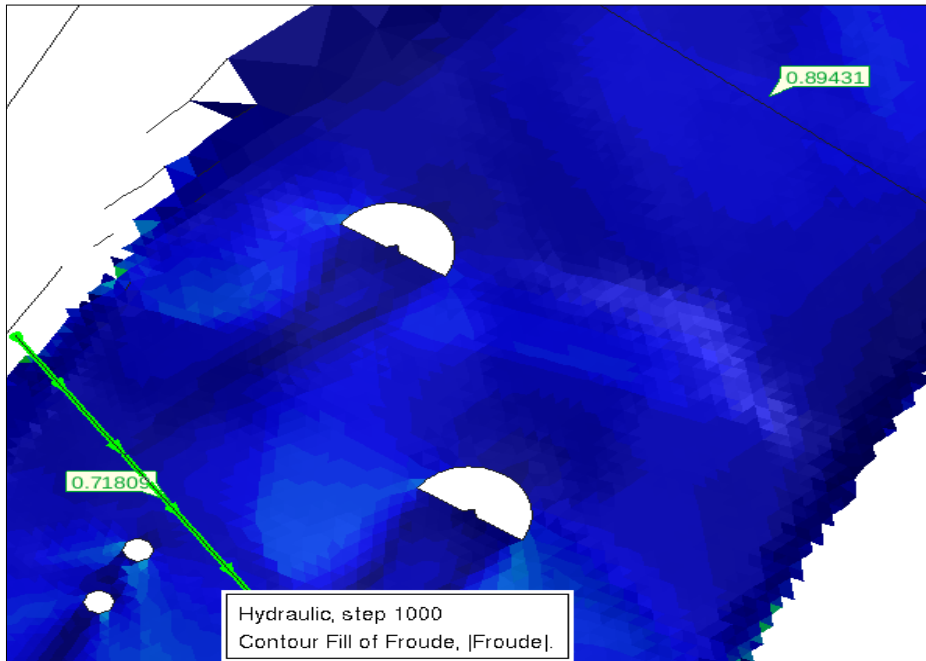
G5



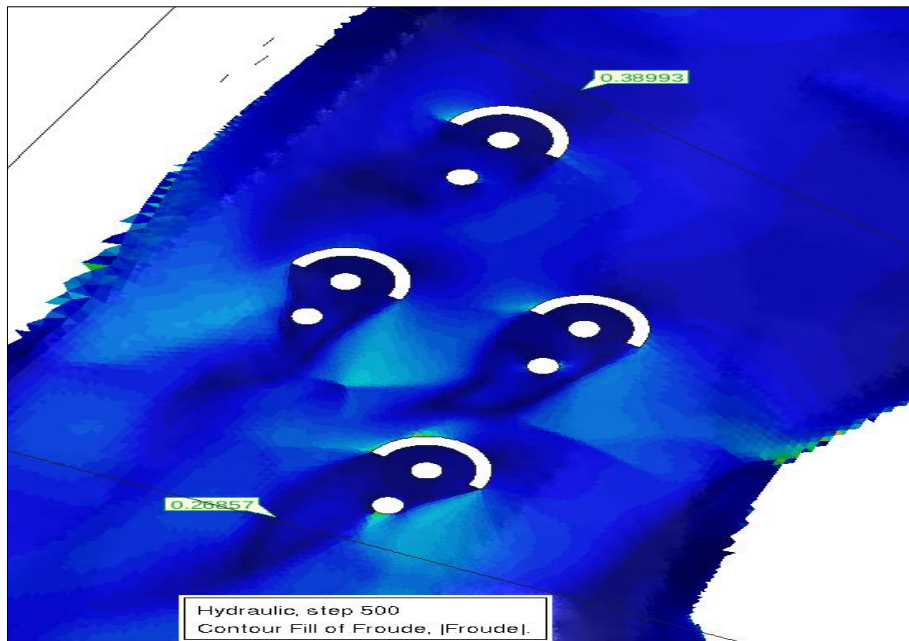
ANEXO 04
Froude en secciones transversales
G1



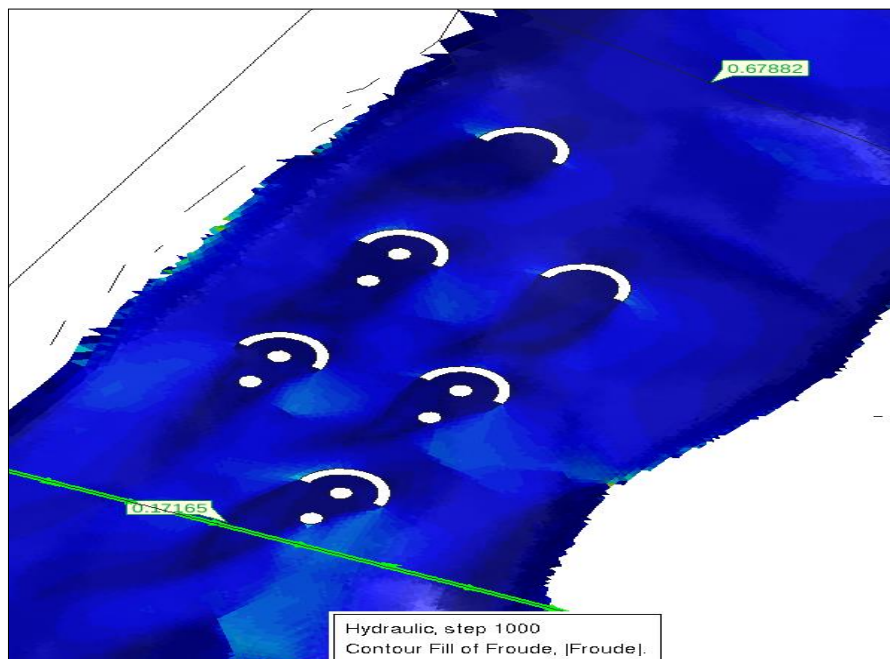
G3



G4



G5



ANEXO 05 Análisis granulométrico

ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN NPT 339-126 - ASTM D422
CONTENIDO HUMEDAD NPT 339-127 - ASTM D2216

SOLICITANTE:	Rafael Mosquea Flores Carrasco Flores	COORDENADAS DE GALGATA	
PROYECTO:	Estudio hidráulico e influencia de un dispositivo disipador en la reducción de la socavación local en el puente San Martín, Lima	HORTE:	001704.00
DIRECCIONES:	Dir. Construcción Puentes, LIMA Dpto. Lima	POSTE:	278700.00
FECHA:	16/10		

Mallas		
Nº	Área (mm²)	75 µm (µm)
1	50.00	150.0
2	20.00	150.0
3 55 µ	20.00	75.0
4	20.00	75.0
10	20.00	75.0
20	9.50	75.0
30	4.75	150.0
40	3.00	150.0
60	2.00	250.0
80	1.50	250.0
100	1.18	250.0
150	0.85	250.0
200	0.75	250.0
250	0.60	250.0
300	0.50	250.0

Gráfico de Probabilidad

Distribución Cuantitativa

% Grava	% Arena	% Fines
0.0%	21.0%	79.0%
0.0%	11.0%	89.0%
0.0%	9.0%	91.0%
0.0%	10.0%	90.0%

CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA

MATESTLAB S.A.C.

TECNICO - GEL

[Firma]

MATESTLAB S.A.C.

INGENIERO - LEM

[Firma]

HENRY W. SANTIAGO FLORES
INGENIERO CIVIL
REG. CIP Nº 205749

MATESTLAB S.A.C.

CCC - DPT

[Firma]

Oficina: Mariscal Luzaranga 176 Pab 2 Dpto. 204 - Jesús María - Lima Ofic: 978 856 572 hwsantiago@uni.pe
Laboratorio: J. Arequipa 3197 - San Martín de Porres - Lima Lab: 997 010 483 www.laboratoriomatestlab.com



ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN NPT 339-126 - ASTM D422

CONTENIDO HUMEDAD NPT 339-127 - ASTM D2216

MUESTRIANTE: Duct Mayor Normal Carretera Flores

PROYECTO: Estudio preliminar a infraestructura de un sistema de drenaje en la zona de la 1ra evaluación local en el puente San Martín, Lima

DIRECCIÓN: Dte. Gerencia, Pisco, Lima, Dpto. Lima

FECHA: 14-11

CODIFICACIONES DE CALGATA

MORTE: 8807188-01

ESTR: 279150-01

Calibre:	4" - 2	
Material:	SI - 2	
Porcentaje (L):	0.20 - 1.00	
Malla		
Nº	Abertura (mm)	% que pasa
1"	25.400	100.0
3/4"	19.000	100.0
1.5X1"	20.000	100.0
3/8"	9.500	100.0
20"	2.000	100.0
40"	1.000	100.0
60"	0.850	100.0
80"	0.750	100.0
100"	0.600	100.0
120"	0.500	100.0
150"	0.425	100.0
200"	0.300	100.0
250"	0.250	100.0
300"	0.200	100.0
400"	0.150	100.0
500"	0.106	100.0
600"	0.075	100.0

Distribución de Grava

% Grava	100%	100%	100%
% Arena	0%	0%	0%
% Fina	0%	0%	0%

Norma de Referencia:	ASTM D422	1.0	0.01
Norma Capilar (L):	ASTM D422	1.0	1.0
Norma Plástico (LP):	ASTM D422	1.0	1.0
Norma Líquido (LL):	ASTM D422	1.0	1.0
Norma Líquido (LL):	ASTM D422	1.0	1.0
Norma Líquido (LL):	ASTM D422	1.0	1.0
Norma Líquido (LL):	ASTM D422	1.0	1.0

CURVA GRANULOMÉTRICA




TECNICO: JED



MATESTLAB S.A.C.


JEFE: LEM



HENRY W. SANTIAGO FLORES
INGENIERO CIVIL
(Reg. CIP N° 25574)

MATESTLAB S.A.C.

CCC: DEM



MATESTLAB S.A.C.

Oficina: Mariscal Luzarriaga 176 Pab.2 Dpto. 204 - Jesús María - Lima

Laboratorio: Jr. Atacámpa 2197 - San Martín de Porres - Lima



Tel: 978 858 572






Lab: 997 010 483

hsantiago@unpn.pe

henry.santiago@cipilima.org.pe

www.laboratoriomatestlab.com

 ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN NPT 309-136 - ASTM D432 CONTENIDO HUMEDAD NPT 309-137 - ASTM D2216																																																							
ENCARGANTE: HACE: Majoreto Torres Carrasco Flores PROYECTO: Estudio hidrológico e influencia de un dispositivo hidrodinámico en la erosión de la cimentación local en el puente San Martín, Lima. FINANCIADOR: Dni. Gerardo P. Poma Tzafra Dpto. Lima FECHA: Abril 2021	COORDENADAS DE CALIDAD: NORTE: 8087504.00 ESTE: 279719.00																																																						
Clasificación: C-2 Viscosidad: M-1 Contenido de agua: 6.25 - 1.25																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Módulo</th> <th colspan="2">Nº de golpes</th> </tr> <tr> <th>Abertura (mm)</th> <th>4.75 mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2"</td><td>75.200</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>1 1/2"</td><td>36.200</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>1 1/4"</td><td>28.100</td><td>50.0</td></tr> <tr><td>3/4"</td><td>15.400</td><td>50.0</td></tr> <tr><td>3/8"</td><td>10.000</td><td>25.0</td></tr> <tr><td>1/4"</td><td>4.500</td><td>25.0</td></tr> <tr><td>1/8"</td><td>1.000</td><td>7.0</td></tr> <tr><td>1/16"</td><td>0.420</td><td>2.0</td></tr> <tr><td>1/32"</td><td>0.150</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>1/64"</td><td>0.075</td><td>0.5</td></tr> <tr><td>1/128"</td><td>0.037</td><td>0.25</td></tr> </tbody> </table>	Módulo	Nº de golpes		Abertura (mm)	4.75 mm	2"	75.200	100.0	1 1/2"	36.200	100.0	1 1/4"	28.100	50.0	3/4"	15.400	50.0	3/8"	10.000	25.0	1/4"	4.500	25.0	1/8"	1.000	7.0	1/16"	0.420	2.0	1/32"	0.150	1.0	1/64"	0.075	0.5	1/128"	0.037	0.25	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Frecuencia de Gradación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>% Grava</td> <td>100%</td> <td>100%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>% Arena</td> <td>0%</td> <td>0%</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>% Fines</td> <td>0%</td> <td>0%</td> <td>0%</td> </tr> </tbody> </table>	Frecuencia de Gradación				% Grava	100%	100%	100%	% Arena	0%	0%	0%	% Fines	0%	0%	0%
Módulo		Nº de golpes																																																					
	Abertura (mm)	4.75 mm																																																					
2"	75.200	100.0																																																					
1 1/2"	36.200	100.0																																																					
1 1/4"	28.100	50.0																																																					
3/4"	15.400	50.0																																																					
3/8"	10.000	25.0																																																					
1/4"	4.500	25.0																																																					
1/8"	1.000	7.0																																																					
1/16"	0.420	2.0																																																					
1/32"	0.150	1.0																																																					
1/64"	0.075	0.5																																																					
1/128"	0.037	0.25																																																					
Frecuencia de Gradación																																																							
% Grava	100%	100%	100%																																																				
% Arena	0%	0%	0%																																																				
% Fines	0%	0%	0%																																																				
Comisión de Ensayos: ASTM D1131 Norma Liquidación: ASTM D422 Norma Plástico: ASTM D424 Medida Plástico: 1.5% Control de Calidad: 1.5% Control de Calidad: 1.5% Control de Calidad: 1.5% Control de Calidad: 1.5%	Nota: Este polímero probado con arena																																																						
CURVA GRANULOMÉTRICA																																																							
																																																							
MATESTLAB S.A.C.																																																							
TÉCNICO:  MATESTLAB S.A.C.	INGENIERO:  HENRY H. SANTIAGO FLORES INGENIERO CIVIL Reg. CIP Nº 205749 MATESTLAB S.A.C.	CIC:  MATESTLAB S.A.C.																																																					
Oficina: Mariscal Luzuriaga 178 Pab.2 Dpto. 204 - Jesús María - Lima Laboratorio: Jr. Anapípa 3197 - San Martín de Porres - Lima	Ofc. 978 856 572 Lab. 997 010 483	hsantiago@unp.pe henry.santiago@ciplima.org.pe www.laboratorioinstitutoh.com																																																					

ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN NPT 339-128 - ASTM D422		CONTENIDO HUMEDAD NPT 339-127 - ASTM D2218		
SUBSTRANTE:	Earth Retention System Concrete Pile cap	COORDINADORA DEL GRUPO:		
PROYECTO:	Epilato horizontal e vertical en las aberturas estructurales en la redacción de la ejecución local en el puente San Martín, Lima	NOMBRE:	987013.08	
PROYECTADO:	Dir. Contratos, Pres. Ltda. Depto. Lima	ESTE:	278726.80	
FECHA:	Nov.18			
Edificio:	111			
Materia:	111			
Profesional (a):	1928 - 1.88			
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MÉTODOS DE PASADO MÁS PASAJE	Malla:			
	Nº	Apertura (mm)		
	2"	50.80		100.0
	3"	76.20		100.0
	4.75"	119.0		100.0
	7.5"	190.5		100.0
	15"	381.0		100.0
	30"	762.0		100.0
	Nº 4	4.75		10.0
	Nº 10	2.00		10.0
Nº 20	0.85	11.0		
Nº 40	0.425	15.0		
Nº 60	0.25	2.0		
Nº 100	0.15	5.0		
Nº 200	0.075	5.0		
Norma de Pasado:	ASTM D422	4.75	10.0	
Norma de Pasado (S.S.):	ASTM D422	4.75	5.0	
Norma (Método) (P.):	ASTM D422	1.75	5.0	
Norma (Método) (F.):		1.75	5.0	
Norma (Método) (S.S.):			5.0	
Norma (Método) (S.A.):			4.75 y 200	
Norma de Pasado:	Según procedimiento granular con arena			
Observaciones:				
Distribución granulométrica				
% Grava	100%	100	100	
% Arena	00%	0.0	0.0	
% Fines	00%	0.0	0.0	
GRUVA GRANULOMÉTRICA				
				
MATESTLAB S.A.C.				
TÉCNICO (a)	JEFE - LIMA	COO - LIMA		
				
HENRY W. SANTIAGO FLORES INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 205748 MATESTLAB S.A.C.				
Oficina: Matucal Lazarraga 178 Pab.2 Depto. 204 - Jesús María - Lima		Ofc. 978 856 572 Lab. 997 010 483		
Laboratorio: J. Arequipa 3197 - San Martín de Porres - Lima		hsantiago@uni.pe henry.santiago@cplima.org.pe www.laboratoriomatestlab.com		