



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

“Socavación en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente – río Rímac zona del Pedregal, distrito de Lurigancho, Lima en el 2019”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniera Civil

**AUTORA:**

Br. Lugo Espinoza, Josselyn Vanessa (ORCID: 0000-0002-3331-4677)

**ASESORA:**

Mg. Arriola Moscoso, Cecilia (ORCID: 0000-0003-2497-294X)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de obras hidráulicas y saneamiento

**LIMA – PERÚ**

2019

## **Dedicatoria**

A Dios por haberme guiado en el buen camino y brindado las fuerzas necesarias para no rendirme ante las adversidades.

A mi madre Alejandra Espinoza Veramendi por su infinito amor, comprensión y por ser un ejemplo de incansable lucha. A mi padre Julián Lugo Acevedo por su apoyo y confianza en cada etapa de mi vida. A mi hermano Jair por ser mi inspiración y motivación para ser mejor cada día.

A mi compañero de vida Helmer Eduardo Sotil Lizarraga por su constante apoyo y amor incondicional, por ser fuente de calma y consejo, y enseñarme que siendo perseverante todo se puede lograr.

A todos ustedes los amo.

### **Agradecimiento**

A mis padres por todo su esfuerzo, sacrificio y apoyo incondicional. Gracias por cada consejo y palabras que me han guiado durante toda mi vida.

A mi asesora Mg. Ing. Cecilia Arriola Moscoso por su tiempo, orientación y dedicación en compartir sus conocimientos, los cuales fueron piezas clave en esta investigación.

A Eduardo Sotil por su confianza, paciencia y motivación para que siga luchando en cada meta que me proponga.

A todas aquellas personas que de alguna manera estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y aliento para seguir adelante.

Muchas gracias.

## **Página del jurado**

## Declaratoria de autenticidad



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

### Declaratoria de Originalidad del Autor


Yo, **LUGO ESPINOZA, Josselyn Vanessa** estudiante de la Facultad de Ingeniería y Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad César Vallejo sede Lima Norte, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan al Informe de Investigación titulado:

**“Socavación en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente – río Rímac zona del Pedregal, distrito de Lurigancho, Lima en el 2019”**, es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicado ni presentado anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Lima 13 de diciembre de 2019

Apellidos y Nombres del Autor <b>LUGO ESPINOZA, Josselyn Vanessa</b>	
DNI: 73477813	Firma 
ORCID: 0000-0002-3331-4677	

 INVESTIGA  
UCV

## ÍNDICE

Carátula .....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento .....	iii
Página del jurado .....	iv
Declaratoria de autenticidad.....	v
Índice .....	vi
Índice de tablas .....	vii
Índice de figuras .....	viii
Índice de ecuaciones .....	x
Resumen .....	xi
Abstract .....	xii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MÉTODO.....	27
2.1 Tipo y diseño de investigación .....	28
2.2 Operacionalización de las variables.....	29
2.3 Población, muestra y muestreo .....	29
2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	30
2.5 Métodos de análisis de datos .....	32
2.6 Aspectos éticos .....	32
III. RESULTADOS .....	33
3.1 Descripción de la zona de estudio.....	34
3.2 Análisis de Resultados .....	45
3.3 Contrastación de hipótesis .....	66
IV. DISCUSIÓN.....	67
V. CONCLUSIONES .....	72
VI. RECOMENDACIONES .....	75
REFERENCIAS .....	77
ANEXOS .....	83

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Coeficiente que depende del ángulo $\alpha$ .....	23
<b>Tabla 2:</b> Coeficiente que depende de la relación $Q0/Q$ .....	23
<b>Tabla 3:</b> Coeficiente que depende del talud de los lados del estribo.....	24
<b>Tabla 4:</b> Magnitud de validez y rangos .....	31
<b>Tabla 5:</b> Índice de validez por juicio de expertos.....	31
<b>Tabla 6:</b> Magnitud de validez y rangos .....	32
<b>Tabla 7:</b> Análisis granulométrico por tamizado calicata C-1 .....	38
<b>Tabla 8:</b> Análisis granulométrico por tamizado calicata C-2 .....	39
<b>Tabla 9:</b> Análisis granulométrico por tamizado calicata C-3 .....	41
<b>Tabla 10:</b> Caudales máximos esperado – Método Gumbel .....	45
<b>Tabla 11:</b> Caudales de máximos esperado – Log Pearson III .....	46
<b>Tabla 12:</b> Caudales máximos esperado - Log Normal de dos parámetros .....	47
<b>Tabla 13:</b> Cálculo del coeficiente de Manning.....	50
<b>Tabla 14:</b> Parámetros hidráulicos .....	50
<b>Tabla 15:</b> Diámetro medio de la calicata C-1 .....	51
<b>Tabla 16:</b> Diámetro medio de la calicata C-2.....	52
<b>Tabla 17:</b> Diámetro medio de la calicata C-3 .....	53
<b>Tabla 18:</b> Parámetros Admisibles.....	54
<b>Tabla 19:</b> Socavación calculada – método de Lischtván – Levediev .....	54
<b>Tabla 20:</b> Condición de equilibrio de velocidades de flujo.....	55
<b>Tabla 21:</b> Socavación calculada – método de Blench .....	56
<b>Tabla 22:</b> Socavación local en la sección 09 del muro de defensa ribereña.....	57
<b>Tabla 23:</b> Socavación local en la sección 13 del muro de defensa ribereña.....	58
<b>Tabla 24:</b> Socavación local en la sección 15 del muro de defensa ribereña.....	59
<b>Tabla 25:</b> Parámetros hidráulicos – Método de Artamonov.....	60
<b>Tabla 26:</b> Parámetros adimensionales – Método Artamonov .....	61
<b>Tabla 27:</b> Socavación local para las secciones – Método de Artamonov.....	61
<b>Tabla 28:</b> Socavación Local obtenida en el Software HEC-RAS .....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Vista del río Rímac en la zona del Pedregal .....	4
Figura 2: Vivienda afectada por la inundación en la zona del Pedregal.....	4
Figura 3: Estado actual del muro de defensa ribereña.....	5
Figura 4:Flujo Permanente .....	15
Figura 5:Flujo gradualmente variado .....	16
Figura 6: Flujo rápidamente variado .....	16
Figura 7:Flujo no permanente .....	17
Figura 8:Clasificación del alineamiento de los ríos.....	17
Figura 9: Variables del método de Lischtvan-Levediev.....	19
Figura 10:Elementos geométricos de un canal .....	21
Figura 11: Ubicación de la zona de investigación.....	34
Figura 12:Vista de las viviendas en zonas aledañas al río.....	35
Figura 13: Extracción de muestra de la calicata C-1 .....	35
Figura 14: Ubicación de calicata C-2 .....	36
Figura 15: Estación Total Marca Leica .....	36
Figura 16: Levantamiento topográfico de la zona .....	37
Figura 17: Curva granulométrica–calicata C-1 .....	39
Figura 18: Curva granulométrica–calicata C-2 .....	40
Figura 19: Curva granulométrica – muestra calicata C-1 .....	41
Figura 20: % Deformación tangencialvsEsfuerzo de corte de la muestra calicata C-1.....	42
Figura 21: Esfuerzo normalvsEsfuerzo de corte de la muestra calicata C-1 .....	42
Figura 22: % Deformación tangencialvsEsfuerzo de corte de la muestra calicata C-2.....	43
Figura 23: Esfuerzo normalvsEsfuerzo de corte de la muestra calicata C-2.....	43
Figura 24: % Deformación tangencialvsEsfuerzo de corte de la muestra calicata C-3.....	44
Figura 25: Esfuerzo normalvsEsfuerzo de corte de la muestra calicata C-3 .....	44
Figura 26: Caudal máximo esperado–Gumbel .....	46
Figura 27: Caudal máximo esperado – Log Pearson III.....	47
Figura 28: Caudal máximo–Log Normal de dos parámetros .....	48
Figura 29: Caudales máximos vs períodos de retorno.....	49
Figura 30: Resumen de resultados de socavación general .....	57



Figura 31: Socavación local de la sección 09 - Método Lischtvan-Levediev .....	58
Figura 32: Socavación local de la sección 13 – Método Lischtvan-Levediev .....	59
Figura 33: Socavación local de la sección 15- Método Lischtvan-Levediev .....	60
Figura 34: Socavación local de las secciones 09 ,13 y 15-Método Artamonov .....	62
Figura 35: Resumen de resultados de socavación local .....	62
Figura 36: Socavación general obtenido en el software HEC-RAS .....	63
Figura 37:Socavación local para la sección 09 – HEC-RAS .....	65
Figura 38: Socavación local para la sección 13 – HEC-RAS .....	65
Figura 39: Socavación local para la sección 15 – HEC-RAS .....	65

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ec. 1 Ecuación de la distribución de Gumbel.....	13
Ec. 2 Desviación estándar - Gumbel .....	13
Ec. 3 Caudal - Gumbel .....	13
Ec. 4 Caudal de diseño - Gumbel .....	13
Ec. 5 Ecuación de distribución de Log-Pearson III.....	14
Ec. 6 Ecuación de forma o varianza .....	14
Ec. 7 Ecuación de Log Normal 2 parámetros .....	14
Ec. 8 Media aritmética.....	14
Ec. 9 Desviación estándar – Log Normal 2 parámetros .....	14
Ec. 10 Socavación para suelos granulares – Método Lischtvan-Levediev.....	20
Ec. 11 Socavación para suelos cohesivos – Método Lischtvan-Levediev .....	20
Ec. 12 Ecuación de coeficiente de sección .....	20
Ec. 13 Ecuación de coeficiente de frecuencia .....	20
Ec. 14 Ecuación exponente variable que depende del diámetro medio de las partículas....	20
Ec. 15 Número de Froude.....	21
Ec. 16 Tirante medio .....	21
Ec. 17 Velocidad media.....	21
Ec. 18 Radio Hidráulico .....	21
Ec. 19 Área Hidráulica .....	22
Ec. 20 Área Hidráulica .....	22
Ec. 21 Perímetro mojado .....	22
Ec. 22 Espejo de agua .....	22
Ec. 23 Socavación para arenas – Método de Blench.....	22
Ec. 24 Socavación para gravas – Método de Blench.....	22
Ec. 25 Socavación – Método de Artamonov .....	23
Ec. 26 Ecuación del riesgo admisible.....	37
Ec. 27 Diámetro medio .....	51

## RESUMEN

La presente investigación se realizó en el distrito de Chosica, región Lima en el 2019. Se estudió dos tipos de socavación que se pueden producir en los muros de defensa ribereña, para lo cual se tuvo en cuenta que el tramo en estudio del río Rímac es de pendiente alta, además de tener en cuenta las características del río El **objetivo** es determinar la socavación en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente – río Rímac zona del Pedregal, distrito de Lurigancho, Lima en el 2019. El **método** que se aplicó fue científico, el tipo de investigación aplicada, el nivel explicativo y el **diseño** no experimental, la población corresponde a la extensión del río Rímac que consta de 160km y con una muestra de 800m, el **instrumento** realizado fue la ficha de recolección de datos. Se **concluyó** que el río al ser de alta pendiente se incrementa la velocidad del flujo y con ello se aumenta la capacidad de transporte de sedimentos, por ende, se produce una mayor socavación. A su vez en el modelamiento del programa HEC-RAS, se obtuvo una socavación total de 4.98m. mientras que con las fórmulas empíricas se obtuvo una socavación de 5.41m. Los **resultados** obtenidos son un caudal de diseño de  $350.98 \text{ m}^3/\text{s}$  para un período de retorno de 100 años. Asimismo, empleando el método de Lischtván-Levediev se obtuvo una socavación general de 2.24m. y con el método de Blench se estimó un resultado de 5.52m. Con respecto, a la socavación local se analizó tres secciones donde se estimó una profundidad de 3.30m., 2.48m. y 3.17m., la variación en los resultados obtenidos con los distintos métodos empíricos se debe a que cada uno considera condiciones iniciales y se desarrollan bajo distintos parámetros.

**Palabras clave:** alta pendiente, caudal, muros de defensa ribereña, parámetros, socavación.

## ABSTRACT

This investigation was carried out in Chosica district, Lima region in 2019. In this thesis studied two types of undercutting that can occur in the riverside defense wall, for which it was considered that the section under study of the Rimac river is of high slope, in addition to taking into account the characteristics of the river. The objective is to determine the undermining in riverside defense walls in high slope rivers – Rimac river area of Pedregal, Lurigancho district, Lima in 2019. The method that was applied was scientific, the type of the research applied, the explanatory level and the non-experimental design, the population corresponds to the extension of the Rimac river that consist of 160km and with a sample of 800m, the instrument performed was the data collection form. It was concluded that the river being high slope increases the speed of the flow and thereby increases the sediment transport capacity, therefore, there is greater undermining. In turn, in the modeling of the HEC-Ras program, it was obtained a total undercut of 4.98m while with the empirical formulas was obtained an undercut of 5.41m. The results obtained are a design flow of  $350.98\text{m}^3/\text{s}$  for a return period of 100 years. Also, using the Lischtván-Levediev method was obtained a general undercut of 2.24m. and with the Blench method was estimated a result of 5.52m. Regarding the local undercutting, three sections were analyzed where a depth of 3.30m, 2.48m and 3.17m., the variation in the results obtained with the different empirical methods is due to the fact that each one considers initial conditions and develops under different parameters.

**Keywords:** High slope, flow, riverside defense walls, parameters, undermining.

## **I. INTRODUCCIÓN**

En la actualidad las inundaciones son uno de los desastres naturales que más daño ha causado a nivel mundial, debido a que son impredecibles, algunas suceden con demasiada rapidez que requieren que se opten medidas urgentes de protección mientras que otras son más lentas, se acumulan durante un periodo de tiempo y permiten la evacuación de las zonas más propensas a ser afectadas. Se debe mencionar que una de las acciones que ha incrementado este desastre es la urbanización de zonas cercanas al río o en lugares donde anteriormente circulaba el cauce natural del río, esto supone un gran riesgo para las personas que habitan en este lugar puesto que ante un desbordamiento serían los principales afectados. Por ello es un gran problema debido a que ante el eventual incremento de los niveles de agua durante periodos de máximas venidas no solo se producirían pérdidas materiales sino también de vidas humanas. En la revista de Ingeniería (Franco Idarraga, 2010 pág. 98) menciona que: “El inadecuado urbanismo junto con el crecimiento poblacional han convertido a las ciudades de ser más o menos seguras a lugares totalmente inseguras, con lo cual se han generado graves problemas ambientales. Asimismo, algunas ciudades son más propensas a los desastres porque se apreció más las ventajas que poseía el sitio que los riesgos que suponía.”

El Perú no es ajeno a estos problemas por el contrario es un país propenso a sufrir desastres naturales, los cuales terminan dejando grandes pérdidas en ciertos sectores y que en muchos casos ocasionan pérdidas de vidas humanas, lo que nos hace pensar en qué medidas se están optando para evitar y prevenir más desastres de este tipo.

A fines del año 2016 hasta marzo del 2017, el Perú sufrió uno de los peores fenómenos, el cual dejó terribles consecuencias sociales y económicas, este fue el denominado “Niño Costero”. Este suceso mostró la capacidad de respuesta que tienen las instituciones del estado en la planificación y prevención de riesgos. Es imposible determinar los daños que podrían causar un desastre natural, pero si con la ayuda de los métodos y tecnologías que se han ido desarrollando se puede representar en cierto grado que impacto tendría, de esta manera se podría tomar medidas preventivas, para así minimizar el impacto de las consecuencias que podría tener.

Además, se debe señalar que, ante el crecimiento poblacional en nuestro país y la situación económica de muchas personas, estas optan por ubicar sus viviendas en las cercanías de los ríos sin tener en cuenta el riesgo al que se exponen. Por ello es necesario la construcción de

defensas ribereñas para prevenir los desbordamientos en épocas de lluvia, y de esta manera proteger las vidas de las personas que viven en las zonas aledañas de las infraestructuras que se encuentran en el riesgo hídrico (Ver Figura 1).

Sin embargo, frente a la presencia de estructuras de defensas ribereñas se debe tener en cuenta el efecto de socavación, este es un fenómeno complejo donde se incrementa la propiedad erosiva del flujo, y con ello el traslado de sedimentos y material de la profundidad y del margen del río. En estos procesos se involucran diversos factores, como las condiciones del propio cauce como la de las obras construidas en él. Por ello, se entiende que la existencia de una estructura representará un obstáculo para el curso del agua y esto resultará en un factor que podría incrementar la socavación a la que podría ser propensa.

Las defensas ribereñas son obras construidas en ambos márgenes de los ríos, para resguardar sus zonas laterales contra la erosión y para evitar inundaciones. Una de las razones de colapso de sus muros es la socavación, cuando este efecto sucede la cimentación queda expuesta y al no tener suficiente soporte para que la estructura se mantenga en pie, está es propensa a colapsar (Ver figura 3). En muchos casos esto sucede al no darle la importancia debida a la socavación al momento de diseñar, es decir que se tiene cimentaciones poco profundas.

Una de las zonas más afectadas constantemente con los desastres de inundación, en este caso el denominado Huayco, es la zona de Chosica, en el distrito de Lurigancho. Que, pese a contar con la infraestructura de protección termina siendo siempre perjudicada, viéndose muchas veces afectada la población con los daños ocasionados y con la destrucción de la defensa ribereña, quedando expuestos ante otro eventual suceso (Ver Figura 2). Además, se debe mencionar que debido a las fuertes precipitaciones que se dan entre los periodos de diciembre a marzo, las quebradas que se encuentran en la zona tienden a aumentar su caudal y con ello incrementado el nivel del agua del río, produciendo así socavaciones en los muros de las defensas ribereñas existentes, y con esto como se mencionó anteriormente esta estructura sería propensa a colapsar ante una eventual inundación ocasionando grandes pérdidas.

Por ello, es necesario evaluar o realizar un estudio de la socavación en los muros de las defensas ribereñas existentes en la zona para de esta manera dar las recomendaciones necesarias para que las autoridades correspondientes realicen acciones pertinentes con el fin

de prevenir el posible colapso de la estructura y de esta manera evitar que los pobladores sean las más afectados.

Por lo tanto, la presente investigación estudió los muros de defensa ribereña del río Rímac en la zona de Pedregal, ubicado en el km 33 de la carretera central, distrito de Lurigancho. En la zona de estudio se realizaron trabajos de defensa ribereña por parte de la municipalidad de Lurigancho en la margen derecha para controlar el cauce del río. Por ello, al contar con estas estructuras fue posible realizar el estudio de los diferentes tipos de socavación que las estructuras pueden sufrir a lo largo de su funcionamiento.



*Figura 1:* Vista del río Rímac en la zona del Pedregal Fuente: Elaboración Propia



*Figura 2:* Vivienda afectada por la inundación en la zona del Pedregal Fuente: Elaboración Propia





Figura 3: Estado actual del muro de defensa ribereña  
Fuente: Elaboración Propia

**Antecedente internacional:** (Guanocunga Choca, 2019) En la tesis de grado *titulada:* “Investigación hidrológica - hidráulica de socavación y protecciones de estructuras, tramo del río Capelo y río San Pedro, sector Armenia 1, Cantón Quito” tesis para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional del Ecuador. Fijo como *objetivo:* Realizar el estudio técnico hidrológico e hidráulico que defina una metodología para estimar la susceptibilidad de socavación en la confluencia del río Capelo A.J. San Pedro. Se empleo una *metodología:* Teórica porque se usó y recopiló investigaciones bibliográficas y de laboratorios, se desarrollaron ensayos de laboratorio. Obtuvo el siguiente *resultado:* La profundidad de socavación de los causes varía en función de los coeficientes de cada fórmula, por ello en este caso los métodos de Lacey y Maza & Echavarría son los más indicados porque concuerdan con los datos arrojados por el programa HEC-RAS. Fijo como *conclusiones:* La afectación que se provoca en las estructuras junto al cauce del río Capelo es reducida, se registra socavaciones con profundidad de 1.20 a 1.0m. Además, se debe destacar que la información del estudio hidrológico de la zona, el estudio hidráulico del flujo de los cauces y los datos de la medición de precipitación y escurrimientos son importantes porque serán utilizados para determinar las avenidas de diseño y mejoras urbanísticas para construcción de obras hidráulicas.

(Barbosa Gil, 2015) En la tesis de grado **titulada**: “Metodología para calcular la profundidad de socavación general en ríos de montaña (lecho de gravas)” tesis para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional de Colombia. Fijo como **objetivo**: Desarrollar una metodología para el cálculo de la profundidad de socavación general, apoyada en modelos morfodinámicos e hidrodinámicos que incluyan herramientas de modelación de transporte de sedimentos. Aplico una **metodología**: Empírico y semi-empírico, utilizando el método empírico en la observación, recolección de datos e información. Y semi-empírico porque se hizo uso de las ecuaciones que junto al diámetro característico del lecho y caudal unitario permitieron el cálculo de la socavación general. Obtuvo el siguiente **resultado**: La metodología propuesta es óptima para este tipo de río y permite estimar la profundidad de la socavación en ríos de montaña para posteriormente proceder con el diseño. Fijo como **conclusiones**: Se debe señalar que en las metodologías tradicionales se depende en gran medida del caudal unitario que genera la socavación y que este análisis podría simular los cambios en los lechos de los ríos, variando por uno de menor recurrencia. Además, que en la modelación hidrodinámica se obtienen mejores resultados comparados con los obtenidos con las ecuaciones tradicionales.

(Hernández Martínez , y otros, 2016) En la tesis de grado **titulada**: “Estimación de la socavación en el río Fonce (San Gil, Santander) bajo condiciones de caudales mínimos y mediante el método de momentos estadísticos iniciales y centrales” tesis para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad Militar Nueva Granada. Fijo como **objetivo**: Estimar la socavación del lecho del Río Fonce en San Gil, Santander, bajo condiciones de caudales mínimos aplicando los modelos estadísticos. Aplico una **metodología**: Proyectivo, este consiste en elaborar un plan para dar solución a una incógnita. Para ello se necesitó el análisis, comparación y explicación con los datos que se tomaron del IDEAM. Fijo como **conclusión**: Sé estimo la socavación del lecho del río Fonce con consideraciones de los valores mínimos anuales. Esto permite decir que, aunque no se presenten caudales máximos se puede esperar que el lecho del río se socave en aguas bajas.

(Díaz Yáñez, 2015) En la tesis de grado **titulada**: “Análisis comparativo de las relaciones funcionales para el cálculo de la profundidad de socavación alrededor de obstáculos” tesis para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad Central del Ecuador. Fijo como **objetivo**: Analizar y comparar varios métodos empíricos y semi-empírico que existen para el cálculo de la profundidad de socavación alrededor de obstáculos y proponer aquel o aquellos que generen resultados satisfactorios de manera rápida y sencilla. Se empleo una **metodología**: Empírico y semi-empírico, utilizando el método empírico en la observación, recolección de datos e información. Y semi-empírico porque se hizo uso de las ecuaciones que permitan el cálculo de la socavación. Obtuvo el siguiente **resultado**: Los métodos Yaroslavtziev y Laursen y Toch se consideran como válidos puesto que no hay mucha diferencia en cuanto a sus valores con respecto a la profundidad de socavación en pilas por lo que se puede decir que ambos métodos dan valores un poco conservadores. Y en cuanto a la profundidad de socavación alrededor de pilas se puede decir que estos métodos propuestos dan como resultado una profundidad que está dentro de un promedio, por ello se consideran como resultados un tanto conservadores. Fijo como **conclusiones**: Las relaciones empíricas y semi-empírico que permiten el cálculo de la profundidad de socavación alrededor de obstáculos se encuentran basados en experimentos de laboratorio y campo, por lo que al tener diferentes coeficientes y variables darán diferentes resultados. Además, se proponen Yaroslavtziev, Laursen y Toch y Artamanov porque presentan más beneficios ante las demás, considerando la confiabilidad de resultados, facilidad de cálculo e interpretación de los parámetros.

(Castellanos Hernández, 2018) En la tesis de grado **titulada**: “Medidas de mitigación al efecto 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 CIL. 15, aplicando soluciones de ingeniería” tesis para optar al titulo de Ingeniero civil en la Universidad Santo Tomás. Fijo como **objetivo**: 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 cerca de la calle quince, en la cuenca media caño Buque. Se empleo una **metodología**: Aplicada. Obtuvo el siguiente **resultado**: en la sección 1 recta se identificó un volumen de socavación de 223.28m<sup>3</sup>, siendo la altura máxima de socavación

de 1.05m y la menor fue de 0.71m. Además, en la sección 2 curva se estimó una socavación de 3.2m y volumen de socavación de 197.39m<sup>3</sup> mientras que en la sección 3 recta se calculó una altura máxima de socavación de 3.05m y en la sección 4 a la altura del puente se estimó una socavación de 1.86m y en los estribos se calculó una socavación máxima de 4.69m. Fijo como **conclusión**: que con referencia a los resultados se puede precisar que el caño Buque se encuentra en un ciclo de erosión y socavación muy alto en la cuenta alta y media, esto se debe al volumen de agua que se maneja, causada por la alta pendiente y precipitaciones.

**Antecedente Nacional:** (Vilchez Cerna, y otros, 2018) En la tesis de grado **titulada**: “Alternativas de solución para prevenir la socavación en el río Rímac, entre los puentes Libertadores y Talavera, distrito de El Agustino”, tesis para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Fijo como **objetivo**: Determinar que el diseño de mampostería con sistema Terramesh es la alternativa más viable para proteger el talud más crítico entre los puentes Libertadores y Talavera, distrito de El Agustino. Utilizó la **metodología**: teórica porque se usó y recopiló investigaciones bibliográficas y de laboratorios, además de que se realizó una entrevista - encuesta a tres ingenieros especializados teniendo en cuenta los aspectos técnicos, económicos y ventajas y desventajas en la etapa de gestión-construcción. Obtuvo como **resultado** lo siguiente: El muro de mampostería con sistema Terramesh es la alternativa con mayor viabilidad para proteger la ladera más crítica del río Rímac. Fijo como **conclusión** lo siguiente: En los estudios hidrológicos e hidráulicos se determinó que el caudal de diseño es 584m<sup>3</sup>/s. Además, los resultados que se obtuvieron del programa HEC-RAS, involucran las características del suelo y condiciones hidráulicas y mediante la teoría de Lischvan-Levediev se calculó la profundidad de socavación que es aproximadamente de 3m.

(Castro Toro, 2015) En la tesis de grado **titulada**: “Evaluación de la socavación al pie de los muros de encauzamiento del río Amojú, zona urbana - Jaén”, tesis para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional de Cajamarca. Fijo como **objetivo**: Evaluar la socavación existente al pie de los muros de encauzamiento del río Amojú, zona urbana – Jaén. Aplicando la **metodología**: De tipo teórica porque usó y recopiló investigaciones

bibliográficas y de laboratorios, se desarrollaron ensayos de laboratorio. Obtuvo como **resultados** lo siguiente: Se determinó que la socavación de los muros de encauzamiento sobrepasa 0.91m la profundidad de su cimentación para un periodo de retorno de 100 años, esto significa un riesgo ante un colapso para las personas que habitan en las riberas. Y si se basa en caudales menores a 238.70 m<sup>3</sup>/s se observó 1.20m de socavación. Fijo como **conclusión** lo siguiente: Siendo los tramos en curva y de estrechamiento los puntos más críticos y de mayor socavación

(León Chávez, 2016) En la tesis para el grado de Doctor **titulada**: “Evaluación de la socavación del cauce del río Crisnejas adyacente al muro de encausamiento, en el ámbito geográfico del centro poblado de Aguas Calientes – San Marcos – Cajamarca”, tesis para optar el Grado Académico de Doctor en Ciencias en la Universidad Nacional de Cajamarca. Siendo su **objetivo**: Evaluar la profundidad de socavación del cauce del río Crisnejas en las coordenadas UTM 17 M 818796 y 9274079 junto al muro de encausamiento en el ámbito geográfico del centro poblado de Aguas Calientes – San Marcos – Cajamarca. Se empleó una **metodología**: tecnológico o aplicado porque corresponde a las ciencias aplicadas y es de tipo Causal cuantitativo comparativo porque cumple con el fin de preservar una obra hidráulica que resguarda a los pobladores frente a un desastre natural. Se obtuvo como **resultado** lo siguiente: La socavación varía entre 1.80, este es la socavación mínima obtenida con el método de Niel, hasta 2.54 que es la máxima y se obtuvo con el método de Larnes, siendo la diferencia de 0.74 m. Por otro lado, en el modelo hidráulico en laboratorio se obtuvo una profundidad de socavación de 2.80 m. Fijo como **conclusión**: La socavación en el cauce del Río Crisnejas, al pie del muro de encauzamiento con modelos matemáticos vario desde 1.80m hasta 2.54m. Además, el caudal en máxima avenida es de 4,788.63 m<sup>3</sup>/s. Y la profundidad mínima para la cimentación de muros de protección y encausamiento es de 2.80 metros.

(Medina Olivas, 2018) En la tesis de grado **titulada**: “Estudio de socavación en estructuras de protección ribereña fundadas sobre cauces variables del río Chillón-Puente Piedra en el 2017”, tesis para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad César Vallejo. Fijo como **objetivo**: Analizar la socavación en estructuras de protección ribereña en cauces variables

del río Chillón – Distrito de Puente Piedra en el 2017. Se empleó una **metodología**: Aplicada. Se obtuvo como **resultado** lo siguiente: se estimó un coeficiente de variación  $\pm 0.102$  para un caudal de 125.77 m<sup>3</sup>/s y con ello resultó que para la socavación estudiada en el río Rímac se obtuvo un máximo de 1.41m por el método de Lischtván-Levediev y un mínimo de 1.17m por el método de Michiue. Fijo como **conclusión**: que los métodos empíricos permiten analizar la socavación en estructuras de protección ribereña del río Chillón debido a que estos métodos incluyen las dimensiones presentes en el cauce variable que determinan en cierto grado los niveles de socavación que se puedan presentar.

(Ticona Cansaya , 2018) En la tesis de grado **titulada**: “Estudio hidrológico para la propuesta de construcción de una defensa ribereña ante amenazas de derrumbes por la crecida del río Patambuco en el sector de Puna Ayllu del distrito de Patambuco, provincia de Sandía – Puno” tesis para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez. Fijo como **objetivo**: Analizar y realizar el estudio hidrológico para la propuesta de construcción de una defensa ribereña ante amenazas de derrumbes por la crecida del río Patambuco en el sector de Puna Ayllu, distrito de Patambuco, provincia de Sandía – Puno. Se empleó una **metodología**: Cuantitativo-Correlacional. Se obtuvo como **resultado** lo siguiente: Las defensas ribereñas de tipo enrocado y muro gavión mitigarán los daños que se ocasionan en épocas de avenida. Fijo como **conclusión**: Con el método empírico se determinó los caudales de diseño, con ello se propone que para diseñar una defensa ribereña se debe optar por el caudal de diseño de un período de retorno de 100 años que es 60m<sup>3</sup>/seg. Además, se terminó los valores de profundidad de socavación para periodos de retorno de 50,100, 200 y 500 años siendo los resultados 1.17, 1.20, 1.24 y 1.26 m. respectivamente.

**Artículos científicos**: (Toapaxi, y otros, 2015) En el artículo científico **titulado**: “Análisis de la socavación en cauces naturales”, artículo publicado en la revista Politécnica. Se obtuvo como **resultado** lo siguiente: Para determinar la socavación general se debe basar en fundamentos teóricos y experimentales, es decir, se usan ecuaciones semiempíricas. Además de ello, para suelos heterogéneos, con el propósito de lograr resultados más claros luego de una máxima avenida, se debe calcular la socavación en distintos puntos de la sección transversal del cauce. Fijaron como **conclusión**: Con respecto a la socavación general, se

tiene que mientras mayor sea la fuerza del flujo, la socavación también será mayor, esto se debe a que la intensidad del flujo define la capacidad de transporte de las partículas del lecho. A su vez, para la estimación de esta socavación es importante considerar: el factor geomorfológico, factor de transporte y las características del lecho.

(Ramos Moreno, y otros, 2017) En el artículo científico **titulado**: “Análisis hidrológico e hidráulico de la cuenca del río Frío, municipios de Ciénaga y zona bananera, departamento del Magdalena”, artículo publicado en la revista LOGOS CIENCIA & TECNOLOGÍA. Se obtuvo como **resultado** lo siguiente: En la parte alta de la cuenta hasta los 5000 metros se calculó una socavación fffvalta, pero en los tramos comprendidos entre los 10000 a 25000 metros se encuentra la acumulación de sedimentos, para hallar estos resultados se definieron las secciones y características de sedimentos, teniendo en cuenta que es para un régimen de flujo permanente. Fijaron como **conclusión**: Teniendo en cuenta los resultados logrados del modelamiento de transporte de sedimentos se puede mencionar que los sedimentos de las secciones son mayores a los tres metros y que la socavación máxima tiene una profundidad mayor a cuatro metros y que estos valores se encuentran aguas abajo del río Frío.

**Ríos de alta pendiente**, según (Nava Hernández, y otros, 2012 p.27) indica que:

Los tramos de ríos de pendiente alta poseen pendientes mayores al 3% y sus velocidades resultan considerablemente mayores haciendo posible la movilización de material de fondo con diámetros mayores a 5cm., a su vez transportan los sólidos que circulan producto del efecto producido por el flujo del cauce.

Se debe mencionar que esto afecta e incrementa la propiedad que posee el flujo para trasladar sedimentos, y a su vez esto está relacionado directamente con la velocidad del flujo.

Asimismo (Ashworth, Philip J, 1989 p. 2) señala que en los ríos de alta pendiente el transporte de sedimentos es retrasada y obstaculizada por el tamaño de las partículas, además de la disposición y agrupamiento de las mismas.

**Características de ríos de alta pendiente**, al respecto (Rocha Felices, 2010 p.1) manifiesta que:

Las características de los ríos no son estables ni permanentes. Estas están en constante modificación, donde el movimiento fluvial simboliza una amenaza para las estructuras que se encuentran situadas en las inmundaciones del río.

Por ello es necesario tener presente las características de los ríos entre las cuales tenemos la geometría de sección, características hidráulicas y las características de planta. A continuación, se dará más detalle de ellas.

**Geometría de sección**, (Martín Vide, 2003 p.29) sostiene que “El problema de deducir la geometría del río ha centrado a muchos investigadores en la geomorfología. Además, se cuenta con observaciones sencillas de las características geométricas de los ríos que sugieren relaciones empíricas entre ellas”.

**Sección en U**, se consideran de sección en “U” cuando su perfil transversal es más ancho y aplanado simulando una U. Esto se debe a que en esta sección el principal agente erosivo es el hielo. Este agente erosiona a la sección típica “V”, ensanchándola, y removiendo los lados y el fondo dándole un contorno muy similar a U. En estas secciones comúnmente se transporta arena, cantos rodados, piedras, rocas y otros, por ello terminan desgastando el lecho y lo convierten en una superficie lisa.

**Sección en V**, son considerados de sección en “V” debido a que su sección transversal simula una forma de “V” teniendo sus lados más pronunciados. Esto es debido a la erosión, estos ríos transportan piedras y rocas en sus aguas, y estos en conjunto con la fuerza misma del agua tallan el lecho dándole la forma mencionada. Con el transcurso del tiempo la sección transversal de estos se va profundizando y ensanchando.

**Sección mixta**, este tipo de sección fue formada por arroyos, a medida que la pendiente del canal se va volviendo suave, esta empieza a suavizar la forma empinada “V” o la curvatura de “U”, terminando por ensancharse y aplanarse. Y con el pasar del tiempo esta continúa



erosionando con lo cual se ensancha más y durante esto la sección va cambiando de una forma de “V” o de “U”.

**Caudal**, se entiende por caudal de un río a la cantidad de flujo que fluye por una sección transversal, la unidad de medida es el  $m^3/s$ . La información correspondiente de estos caudales es registrada por estaciones hidrométricas, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) es quien pone en conocimiento a la población de esta información. Asimismo, estos registros tienen que analizarse para así conseguir el que sería el caudal de diseño. Para ello se aplica las siguientes metodologías:

**Método Estadístico**, según (Villón Béjar, 2002 p.281) “Estos métodos se fundamentan en tener en cuenta el caudal máximo anual. Para su uso se tiene que tener la relación de los caudales máximos anuales, se debe mencionar que mientras la relación de datos sea más considerable, la proximidad de determinación será más cercana para un periodo de retorno establecido.”

**Método de Gumbel**, para este método se usa la ecuación:

$$Q_{max} = Q_m - \frac{\sigma_Q}{\sigma_N} (\bar{Y}_N - \ln T) \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde:

$Q_{max}$  = Caudal máximo para determinado periodo de retorno, en  $m^3/s$

$N$  = Número de años de registro

$Q_i$  = Caudales máximos anuales registrados, en  $m^3/s$

$Q_m = \frac{\sum_{i=1}^N Q_i}{N}$ , Caudal promedio, en  $m^3/s$

$\sigma_Q$  = Desviación estándar

$$\sigma_Q = \sqrt{\frac{\sum (Q_i - Q_m)^2}{N-1}} \quad (\text{Ec. 2})$$

$$\Delta Q = \pm \frac{1.14\sigma_Q}{\sigma_N} \quad (\text{Ec. 3})$$

$Q_d$  = Caudal de diseño para un periodo determinado

$$Q_d = Q_{max} + \Delta Q \quad (\text{Ec. 4})$$

**Método de Log – Pearson III**, la distribución de frecuencias en este método puede ser representado por la siguiente función de densidad:

$$f(x) = \frac{x}{(x-x_0)\sqrt{(2\pi)S_y}} x e^{-1/2\left(\frac{\ln(x-x_0)-u_y}{S_y}\right)^2} \quad (\text{Ec. 5})$$

Para  $x > x_0$

Dónde:

$x_0$ : factor de posición

$u_y$ : factor de escala o media

$S_y$ : factor de forma o varianza

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_m)^2}{n-1}} \quad (\text{Ec. 6})$$

**Método de Log Normal 2 parámetros**, la función de distribución de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{x}{\sqrt{2\pi}} \frac{x}{x\beta} x e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \alpha}{\beta}\right)^2} \quad (\text{Ec. 7})$$

Dónde:

$\alpha$ : Media aritmética, la cual se estima con la siguiente expresión:

$$\alpha = \sum_{i=1}^n \frac{\ln x_i}{n} \quad (\text{Ec. 8})$$

$\beta$ ; Desviación estándar de los caudales, la cual se determina con la siguiente expresión:

$$\beta = \left[ \sum_{i=1}^n \frac{(\ln x_i - \alpha)^2}{n} \right]^{1/2} \quad (\text{Ec. 9})$$

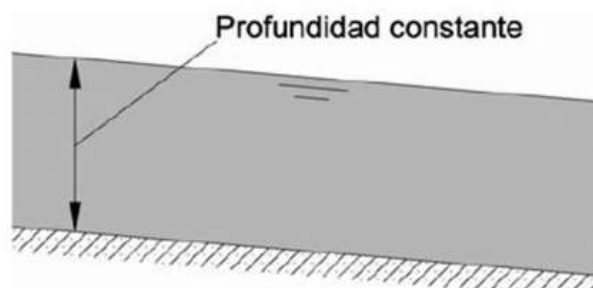
**Velocidad**, según (Tapia Rodríguez, y otros, 2012 p.8) sostiene:

La velocidad es la proporción de metros por segundo que el agua fluye en un río. Se debe señalar que la velocidad cumple un rol de vital importancia puesto que es necesario para precisar el principio del desplazamiento de una partícula; con ello se fija si existe o no el traslado de sedimentos.

Al respecto se debe mencionar que existe una relación directamente proporcional entre velocidad y socavación, esto se refiere a que ante el incremento de la velocidad también será mayor la socavación.

**Tipo de Flujo**, la clasificación que se presenta a continuación se realiza teniendo en cuenta la modificación de los parámetros de profundidad, velocidad, área, etc. Del flujo con relación al espacio y tiempo. Esta clasificación se presenta a continuación:

Flujo permanente, según (Chow, 1994 p.5) indica que un flujo es permanente cuando la profundidad del flujo no varía o podría considerarse invariable en el transcurso de un interludio de tiempo. Se debe mencionar que en la mayoría de casos es necesario estudiar al flujo bajo consideraciones permanentes (Ver figura 4).

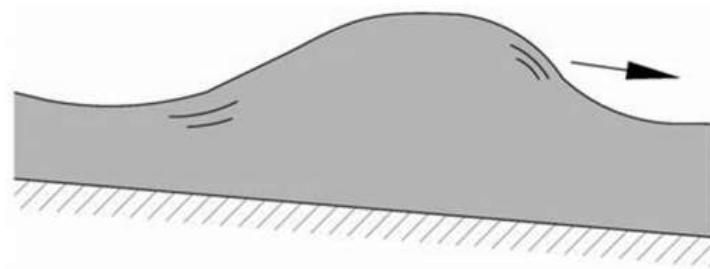


*Figura 4:* Flujo Permanente  
Fuente: (Rodríguez Ruiz, 2008 pág. 9)

Flujo uniforme, para (Rodríguez Ruiz, 2008 p.9) se dice que un flujo es uniforme si sus indicadores hidráulicos (tirante, velocidad, área, etc.) se mantienen constantes en el transcurso del canal.

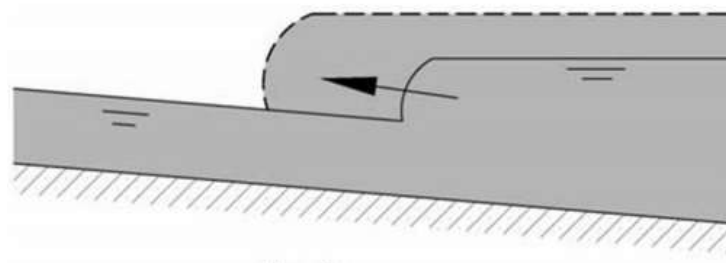
Flujo variado, según (Chow, 1994 p.6) El flujo variado se da cuando estos indicadores cambian en un sector y luego en otro en el transcurso del canal.

Flujo gradualmente variado, el flujo variado se da cuando estos indicadores cambian en un sector y luego en otro en el transcurso del canal. (Villón Béjar, 2007 p.46) (Ver figura 5).



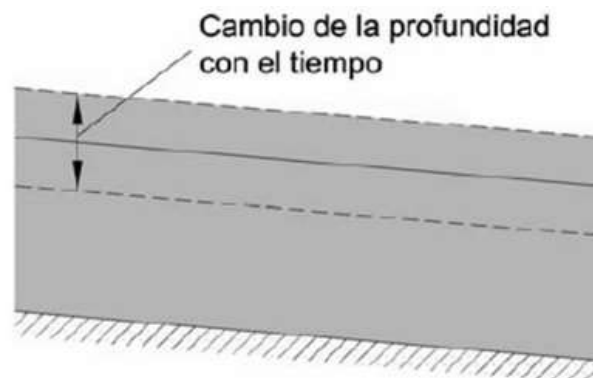
*Figura 5:* Flujo gradualmente variado  
Fuente: (Rodríguez Ruiz, 2008 p.10)

Flujo rápidamente variado, para (Villón Béjar, 2007 p.46) El flujo es rápidamente variado cuando los indicadores cambian repentinamente en un tramo demasiado corto (Ver figura 6).



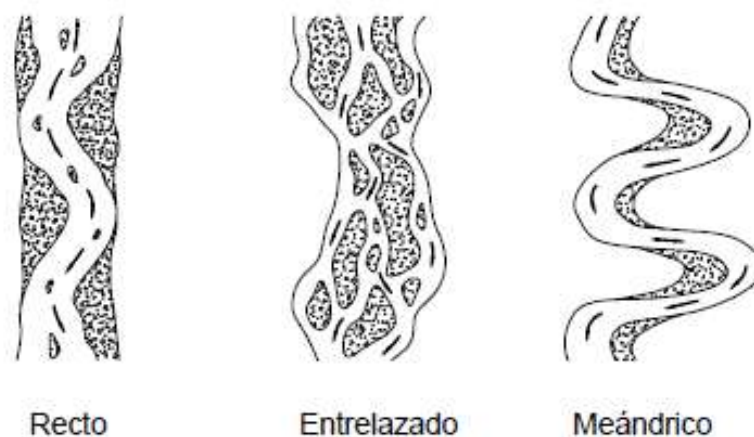
*Figura 6:* Flujo rápidamente variado  
Fuente: (Rodríguez Ruiz, 2008 p.10)

Flujo no permanente, según (Rodríguez Ruiz, 2008 p.9) “Caso contrario al flujo permanente, se considera flujo no permanente cuando la profundidad varía en un lapso de tiempo” (Ver figura 7).



*Figura 7:* Flujo no permanente  
Fuente: (Rodríguez Ruiz, 2008 p.9)

**Alineamiento**, según (Basile, 2018 p.24) indica que, según el patrón morfológico de los cauces, el río se puede definir en tres tipos básicos de ríos: rectos, meándricos y entrelazados (Ver figura 8).



*Figura 8:* Clasificación del alineamiento de los ríos  
Fuente: (Rocha Felices, 1998 p.188)

**Cauce recto**, según (Basile, 2018 p.25) manifiesta que:

Los tramos rectos se forman debido a determinadas condiciones de pendiente y tipos de sedimentos, o en tramos que fueron rectificadas ficticiamente. Se debe mencionar que es complicado apreciar en el entorno natural cauces rectos de largas longitudes. Asimismo, en tramos donde la pendiente es alta y los sedimentos de mayor espesor se puede ver este tipo de cauce con una conformación de hoyas y que tienen mayor rapidez, este parámetro constituye un conjunto de expansión y contracción vertical del flujo.

Además, se debe mencionar que un cauce es recto cuando su sinuosidad es menor a 1.25. Es poco frecuente ubicar estos cauces y comúnmente son considerablemente cortos debido a factores de su morfología.

**Cauce meándrico**, se encuentran conformados por una serie de curvas. Se caracterizan por ser muy dinámicas, esto se debe al comportamiento del flujo propio y no a las propiedades del terreno. (Rocha Felices, 1998 p.187)

En estos ríos la sinuosidad es superior a 1.5, y comúnmente se caracterizan por ser de pendientes bajas y presentar problemas de erosión en los bordes del río. Es más frecuente de encontrar debido a los cambios morfológicos.

**Cauce Entrelazados**, según (Rocha Felices, 1998 p.187) indica que:

A los cauces entrelazados también se le conoce como cauces trenzados. Y estos son generalmente ríos anchos, donde la pendiente es alta, por ello es que se generan tirantes de menor consideración. Se planteó que su presencia se debe a la abundancia de sedimentos, los cuales no pueden ser transportados por el río.

**Socavación**, se entiende como socavación a la degradación del fondo de un lecho y el transporte de materiales del lecho de un río esto por efecto de la fuerza del flujo que se encuentra en torno a las obras hidráulicas.

Según (Suárez Díaz, 2001 p.135) define que “La socavación consiste en la remoción del nivel del fondo del cauce de un flujo ocasionada por el incremento del agua en las avenidas, cambios en la forma del lecho o por la existencia de estructuras en ella”.

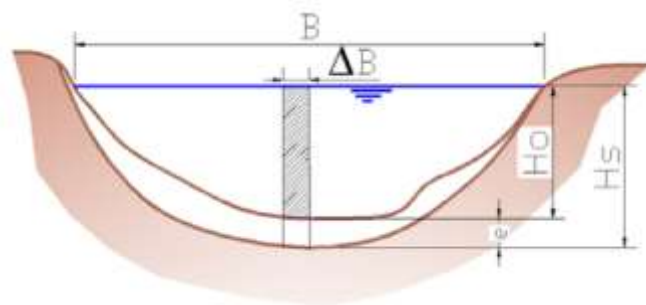
Por ello se debe mencionar que esta socavación en muros de defensas ribereñas al cambiar la morfología del río terminaría afectando a las poblaciones de las zonas aledañas puesto que pondría en riesgo la estabilidad de estas estructuras y de esta manera podría no cumplir con su función de protección ante grandes avenidas dejando expuesta a la población.

**Tipos de Socavación**, cuando la socavación se presenta en la naturaleza como fenómeno natural, se le conoce como socavación general y cuando es provocada por una estructura hidráulica construida se le llama socavación inducida, y se estudia la socavación local y por contracción.

**Socavación General**, al respecto (Toapaxi, y otros, 2015 p.1) sostienen que la socavación general, también llamada socavación normal, es el descendimiento habitual de la profundidad del río debido al incremento de la propiedad de transporte de material que se debe al aumento del flujo del agua (crecidas).

Se debe mencionar que este tipo de socavación se puede producir independientemente de la existencia de un puente o una estructura hidráulica. El resultado que tiene es el descendimiento del fondo del cauce y con ello podrían quedar expuestas las fundaciones de los elementos construidos en el cauce del río

**Método de Lischtvan-Levediev**, este método es el más analizado en el Perú puesto que facilita el cálculo de la socavación general durante las avenidas. Se justifica en la supuesta existencia de un equilibrio entre la velocidad media real de la corriente y la velocidad media erosiva. Además, de acuerdo al tipo de suelo sea granular o cohesivo tendrá una ecuación diferente con la cual se podrá calcular la socavación (Ver figura 9).



*Figura 9: Variables del método de Lischtvan-Levediev*  
Fuente: (Guitelman, A., Valle, A. y Bebezuk A., 2006, p. 12)

Las expresiones para la evaluación de este tipo son las siguientes:

- Para suelos granulares o no cohesivos (grava, arena y limos):

$$y_s = \left[ \frac{\alpha \cdot y_o^{5/3}}{0.68 \cdot D_m^{0.28} \cdot \beta \cdot \varphi} \right]^{\frac{1}{1+z}} \quad (\text{Ec. 10})$$

- Para suelos cohesivos (arcilla):

$$y_s = \left[ \frac{\alpha \cdot y_o^{5/3}}{0.68 \cdot \gamma^{1.18} \cdot \beta \cdot \psi} \right]^{\frac{1}{1+x}} \quad (\text{Ec. 11})$$

Dónde:

$y_s$  = Desnivel entre la superficie del agua y el fondo del río al pasar la avenida.

$y_s, y_o$  = Se mide en cada sección vertical.

$B_e$  = ancho efectivo de la superficie del cauce en la sección transversal

$\alpha$  = Coeficiente de sección, definido como:

$$\alpha = \frac{Q_d}{B_e \cdot (R)^{5/3}} \quad (\text{Ec. 12})$$

$\beta$  = coeficiente de frecuencia. Se estima de la siguiente manera:

$$\beta = 0.7929 + 0.0973 \ln(T) \quad (\text{Ec. 13})$$

$\mu$  = coeficiente de contracción

$H_m$  = Profundidad media de la sección

$D_m$  = Diámetro medio de las partículas del suelo.

$z$  = Exponente variable que depende del  $D_m$  de las partículas, se define como:

$$z = 0.394557 - 0.04136 \cdot \log(D_m) - 0.00891 \cdot \log^2(D_m) \quad (\text{Ec. 14})$$



## Número de Froude Fr

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot \bar{y}}} \quad (\text{Ec. 15})$$

Dónde:

$V$  = Velocidad media de la sección, en  $m/s$

$\bar{y}$  = Profundidad media o tirante medio, en  $m$

## Tirante medio

$$\bar{y} = \frac{A}{T} \quad (\text{Ec. 16})$$

Dónde:

$A$  = Área de la sección transversal, en  $m^2$

$T$  = Espejo de agua, en  $m$

## Velocidad media

Se emplea la ecuación de Manning:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (\text{Ec. 17})$$

Dónde el radio hidráulico es:

$$R = \frac{A}{P} \quad (\text{Ec. 18})$$

## Consideraciones practicas

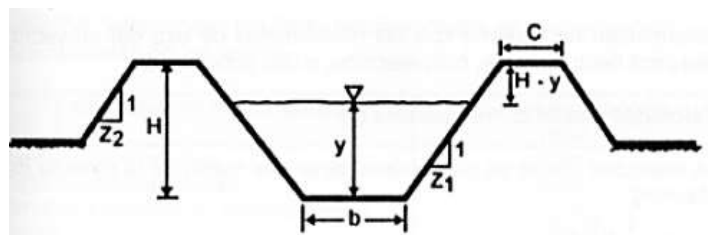


Figura 10: Elementos geométricos de un canal

Fuente: (Villón Béjar, 2007 p.18)

Para secciones transversales de forma trapezoidal con taludes iguales se tendrá en cuenta las siguientes relaciones geométricas.

$$A = \frac{(T+b)}{2} \cdot y \quad (\text{Ec. 19})$$

$$A = \frac{(b+2Zy+b)}{2} \cdot y \quad (\text{Ec. 20})$$

$$p = b + 2y \cdot \sqrt{1 + Z^2} \quad (\text{Ec. 21})$$

$$T = b + 2Zy \quad (\text{Ec. 22})$$

### Método de Blench (1969)

Para arenas de  $0.06 < d_{50} < 2$  (mm)

$$H_{ms} = 1.20 \left( \frac{q^{2/3}}{d_{50}^{1/6}} \right) \quad (\text{Ec. 23})$$

Dónde:  $q = \frac{Q}{B}$

Para gravas de  $S_5 = 2.65$  y  $d_{50} > 2$  (mm)

$$H_{ms} = 1.23 \left( \frac{q^{2/3}}{d_{50}^{1/12}} \right) \quad (\text{Ec. 24})$$

Dónde:

$q$  = Caudal por unidad de ancho, en  $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ .

$d_{50}$  = Diámetro de la muestra, en la cual el 50% es más fino, en metros.

**Socavación Local**, se origina principalmente por la interacción entre la corriente de un río y los elementos de fundación de la estructura hidráulica. Esto produce que la fuerza del flujo del río incremente y sea capaz de retirar el lecho del río

Asimismo (Barbosa Gil, 2013 p.10) sostiene que la socavación local es el descendimiento repentino en el cauce, esto es producido por el removimiento del material del lecho generado por algún elemento físico de una obra ubicada en el cauce o de alguna particularidad de la naturaleza que interfiera en el flujo del río

### Método de Artamonov

Se expresa como:

$$H_s = P_q * P_\alpha * P_R * H_0 \quad (\text{Ec. 25})$$

Dónde:

$H_s$  = Socavación local a partir del fondo.

$P_q$  = Coeficiente en función de la relación  $Q_0/Q$  (Tabla 2)

$P_\alpha$  = Coeficiente en función del ángulo  $\alpha$ . (Tabla 1)

$P_R$  = Coeficiente en función del talud de los lados del estribo. (Tabla 3)

$H_0$  = Profundidad media inicial

Este método depende los siguientes factores:

**Tabla 1:** Coeficiente que depende del ángulo  $\alpha$

$\alpha$	20	60	90	120	150
$P_\alpha$	0.84	0.94	1.00	1.07	1.19

Fuente: Juárez, E. y Rico, A. (1992)

**Tabla 2:** Coeficiente que depende de la relación  $Q_0/Q$

$Q_0/Q$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
$P_q$	2.00	2.65	3.22	3.45	3.67	3.87	4.06	4.20

Fuente: Juárez, E. y Rico, A. (1992)

**Tabla 3:** Coeficiente que depende del talud de los lados del estribo.

$R$	<b>0</b>	<b>0.5</b>	<b>1</b>	<b>1.5</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
$P_R$	1.00	0.91	0.85	0.83	0.61	0.50

Fuente: Juárez, E. y Rico, A. (1992)

**Modelo de simulación,** Para la modelación hidráulica se utilizará el software HEC RAS, este es un software que tiene como finalidad modelar el comportamiento de un caudal en un cauce artificial o natural. Este sistema permite realizar el cálculo en simulación de inundaciones, análisis de transporte de sedimentos, cálculos de perfiles de una superficie. Además, trabaja en conjunto al sistema de información geográfica y CAD (GIS/CAD), permitiendo importar y exportar datos.

(Benayas Polo, 2014) indica que:

El software HEC-RAS, desarrollado por Hydrologic Engineering Center del US Army Corps of Engineers, es un programa de gran importancia en la rama de hidráulica. Este es un software que permite modelizar una estructura hidráulica. Realiza la idealización del flujo, del traslado de sedimentos y el análisis de calidad de agua. Además, permite representar la corriente en cauces naturales y artificiales. Su principal propósito es desarrollar estudios de inundación así como ubicar cuales son las zonas más propensas.

### **Problema general**

¿Cuánto es la socavación en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente-río Rímac zona del Pedregal, distrito de Lurigancho, Lima en el 2019?

### **Problemas específicos**

¿Cuánto es la socavación general en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente – río Rímac zona del Pedregal, distrito de Lurigancho, Lima en el 2019?

¿Cuánto es la socavación local en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente – río Rímac zona del Pedregal, distrito de Lurigancho, Lima en el 2019?

**Justificación práctica,** Permitir analizar el estado actual de la socavación en las defensas ribereña. Teniendo en cuenta que los ríos de alta pendiente tienen una gran implicación en este efecto y que ante máximas avenidas las obras de protección podrían no cumplir con su función de protección a las poblaciones aledañas. Por ello esta investigación es de utilidad porque dio a conocer el estado actual en estas obras civiles y con esto se podrá tomar medidas preventivas ante desbordes e inundaciones en puntos específicos.

**Justificación metodológica,** Para lograr los objetivos propuestos se recurrió a la ficha de recolección de datos e instrumentos de medición, las cuales se encontraron en relación a las dimensiones e indicadores, además que se realizó la verificación de la validez para así obtener una confiabilidad aceptable.

### **Hipótesis general**

La socavación en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente es significativa – río Rímac zona del Pedregal, distrito de Lurigancho, Lima en el 2019

### **Hipótesis específicas**

La socavación general en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente es considerable – río Rímac zona del Pedregal, distrito de Lurigancho, Lima en el 2019.

La socavación local en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente es considerable – río Rímac zona del Pedregal, distrito de Lurigancho, Lima en el 2019.

### **Objetivo general**

Determinar la socavación en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente – río Rímac zona del Pedregal, distrito de Lurigancho, Lima en el 2019.

### **Objetivos específicos**

Analizar la socavación general en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente – río Rímac zona del Pedregal, distrito de Lurigancho, Lima en el 2019.

Calcular la socavación local en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente – río Rímac zona del Pedregal, distrito de Lurigancho, Lima en el 2019.

## **II. MÉTODO**

## 2.1 Tipo y diseño de investigación

### **Tipo de investigación: Aplicada**

Según (Borja Suárez, 2012 p.10) Este tipo de investigación tiene como propósito comprender, ejecutar y modificar un problema existente en la realidad. Se caracteriza en que está más inclinada en la aplicación de la solución a un problema en lugar de dar un conocimiento de valor universal.

La investigación es de **tipo aplicada** porque al estudiar las teorías que existen se dio solución a una realidad problemática, haciendo uso de las teorías y conocimientos desarrollados en el transcurso de la investigación.

### **Diseño de investigación: No Experimental**

La investigación no experimental es cuando no se manipula deliberadamente a las variables, en este diseño se observa al objeto de investigación en su estado natural para posteriormente analizarlo. Se debe mencionar que se considera de corte transversal o transeccional cuando se recolecta datos en un solo momento, con el fin de darle una descripción a sus variables y proceder a analizarlo en un determinado momento. (Hernández Sampieri, y otros, 2014 p.152).

Esta investigación posee un diseño **no experimental** de corte transeccional o transversal porque no se manipulo las variables ni tampoco fueron provocadas por el investigador.

### **Método de investigación: Científico**

Para (Guaffante Naranjo, y otros, 2016 p.26) El método científico es la serie de pasos y procedimientos que se utilizan para manifestar y dar solución a un problema de investigación, haciendo uso de la prueba de hipótesis. Este es un procedimiento donde se debe de delimitar con precisión cual es el objetivo para posteriormente realizar su investigación.

Bajo estas consideraciones el presente trabajo empleó el *método científico*.

### **Nivel de investigación: Explicativo**

Según (Hernández Sampieri, y otros, 2014 p.95) indican que a este nivel no solo se interesa en dar una descripción o establecer relaciones entre conceptos. El nivel explicativo dio respuesta a las causas de eventos. Su principal propósito es esclarecer porque sucede un evento y como se da a conocer. Por ello esta investigación es de **nivel Explicativo**.



## **2.2 Operacionalización de las variables**

La matriz de operacionalización de variables se encuentra en el anexo (02).

### **Variables**

**V1:** río de alta pendiente

**V2:** Socavación en muros de defensa ribereña

## **2.3 Población, muestra y muestreo**

### **Población**

Según (Niño Rojas, 2011 p.55) La población está constituida por un total de unidades o por todos aquellos elementos (personas, objetos, sucesos, fenómenos, etc.) que pueden ser parte de la investigación.

La población de esta investigación está comprendida por la trayectoria total del río Rímac que es de 160 km.

### **Muestra**

Según (Behar Rivero, 2008 p.52) “La muestra es un subgrupo de la población del cual se recolectarán datos, los cuales deben definirse, a su vez este subgrupo debe ser una proporción simbólica de la población”.

En esta investigación la muestra está comprendida por 800m. del río Rímac en la Zona de El Pedregal en el distrito de Lurigancho, provincia de Lima. El plano de ubicación de la muestra se encuentra en el anexo (14).

### **Muestreo (no probabilístico)**

Según (Arias, 2012 p.85) El muestreo no probabilístico es un proceso selección en el cual no se conoce la probabilidad que posee la población, la muestra es escogida en base a la conveniencia de las características de la investigación y que se establecen por criterios de conveniencia.

El presente trabajo de investigación se realizó un tipo de muestreo no probabilístico puesto que fue bajo la conveniencia del investigador por motivos de accesibilidad y economía al lugar de estudio.

#### **2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad**

Según (Guaffante Naranjo, y otros, 2016 p.97) “Se entiende por técnicas de recolección de datos a las diferentes maneras de obtener información. Entre las más usadas se encuentra: la observación, entrevista, encuesta, análisis documental, entre otros”.

##### **Técnica: Observación Directa**

Al respecto (Arias, 2012 p. 69) menciona que la observación directa permite que el investigador registre en un formato de manera precisa toda la información conseguida para posteriormente facilitar su análisis.

Por ello la técnica de recolección de datos que se empleó es la observación directa de los hechos.

##### **Instrumento: Ficha de recopilación de datos**

Al respecto (Arias, 2012 p. 68) menciona que “Se conoce como instrumento de recopilación de datos a todo recurso y formato (en físico o digital) que se utilice para la obtención, registro o almacenamiento de información”.

Por tanto, el instrumento de recolección de datos fue la ficha de recolección de datos formulado por el investigador.

##### **Validez**

Según (Pacheco, 2016 p.1) “La validez se refiere al grado en que un instrumento mide realmente la variable que pretende medir”.

El instrumento de recolección de datos que se utilizó en la investigación fue sometido a la evaluación de tres expertos que revisaron la ficha de recolección de datos según el criterio de cada uno.

**Tabla 4:** Magnitud de validez y rangos

<b>Rangos</b>	<b>Magnitud</b>
0.01 -0.20	Muy baja
0.21 – 0.40	Baja
0.41 – 0.60	Media
0.61 – 0.80	Alta
0.81 – 1.00	Muy alta

Fuente: (Ruíz Bolívar, 2005 p.12)

Por ello, de acuerdo a la tabla 6 se puede mencionar que la validez del instrumento es de 0.95, por lo cual este instrumento tiene un índice de validez muy alto.

**Tabla 5:** Índice de validez por juicio de expertos

<b>Validez</b>	<b>Ing. Padilla</b>	<b>Ing. Vargas</b>	<b>Ing. Altamirano</b>	<b>Promedio</b>
Variable 1	1	0.87	0.91	0.93
Variable 2	1	1	0.90	0.97
<b>Índice de validez</b>				0.95

Fuente: Elaboración propia

### **Confiabilidad**

Según (Palella Stracuzzi, y otros, 2012 p.165) Se considera a un instrumento confiable cuando se obtienen resultados similares al aplicarlo en un mismo sujeto, pero en distintas circunstancias. Además, que para tener la validez de un instrumento es necesario establecer el nivel de confiabilidad del mismo.

Por ello, al ver la necesidad de determinar si la técnica que se usó era lo suficientemente confiable para emplearla, es que fue sometida al juicio de tres expertos. La presente investigación se encuentra dentro del rango mayor a 0.81 y menor a 1.00 por lo cual cuenta con una confiabilidad muy alta.

**Tabla 6:** Magnitud de validez y rangos

<b>Rango</b>	<b>Confiabilidad (Dimensión)</b>
<b>0 -0.20</b>	Muy baja
<b>0.21 – 0.40</b>	Baja
<b>0.41 – 0.60</b>	Media
<b>0.61 – 0.80</b>	Alta
<b>0.81 – 1.00</b>	Muy alta

Fuente:(Mejía, 2005 p.27)

## **2.5 Métodos de análisis de datos**

Para el desarrollo de este proyecto: se inició con la recopilación de la información comprendida por la recolección y análisis de la documentación existente, se continuó con los trabajos de campo que consistió con el recorrido de la zona de estudio para la evaluación y observación de la misma. A su vez se realizó el levantamiento topográfico de la zona, al igual que las calicatas para los estudios de suelos necesarios. Por último, se procesó, analizó y determinó los parámetros hidráulicos y se hizo uso del software HEC-RAS para la modelación.

## **2.6 Aspectos éticos**

En la presente investigación se considera diversos principios éticos, es indispensable enfatizar la autenticidad de la información que se desarrollará, el respeto propio por la propiedad intelectual, la fidelidad de la información presentada, las referencias y citas correspondientes a cada investigación con la mención de cada uno de los autores que las desarrollaron. Asimismo, el respeto a cada uno de los reglamentos existentes.

### **III. RESULTADOS**

### 3.1 Descripción de la zona de estudio

#### Ubicación

La zona de estudio se encuentra localizada en el distrito de Lurigancho Chosica, departamento de Lima, provincia de Lima. La muestra inicia en el tramo del río Rímac ubicado en la zona del Pedregal, zona aledaña a la Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle, la distancia del tramo del río que se estudió fue de 800m. Las coordenadas geográficas de la zona son:  $-11^{\circ} 56' 36''$  latitud y  $-76^{\circ} 42' 03''$  longitud y una altitud de 828 m.s.n.m. (Ver figura 11) (Ver plano anexo 14)



*Figura 11:* Ubicación de la zona de investigación

Fuente: Elaboración Propia

#### Características de la zona de estudio

El tramo de estudio es de 800m, ambos márgenes del río cuentan con la protección de muros de defensa ribereña, los cuales en ciertos puntos se encuentran deteriorados puesto que se han visto afectados por los tiempos de máximas avenidas del río. Las viviendas se encuentran muy cercanas al cauce del río se puede apreciar la afectación a algunas viviendas producto del fenómeno del niño del año 2017 (Ver figura 12).



*Figura 12:* Vista de las viviendas en zonas aledañas al río Fuente: Elaboración Propia

### **Estudios previos**

#### **a. Exploración y muestreo de suelo**

Se ubicó áreas que sean accesibles para la extracción de la muestra debido al caudal existente y a las características del tramo del río Se realizó excavaciones manuales en tres puntos para tomar posteriormente muestras simbólicas para los ensayos de laboratorio. (Ver ubicación de las calicatas en el anexo 15).

Para conocer las características del suelo se realizaron tres calicatas, estas fueron ejecutadas de manera manual a cielo abierto. La calicata C-1 tuvo una profundidad de 1.40 m (ver figura 13), encontrándose nivel freático, la calicata C-2 tuvo una profundidad de 1.80m (ver figura 14), encontrándose nivel freático y la calicata C-3 tuvo una profundidad de 1.60m.



*Figura 13:* Extracción de muestra de la calicata C-1 Fuente: Elaboración Propia



*Figura 14:* Ubicación de calicata C-2  
Fuente: Elaboración Propia

### **b. Levantamiento topográfico**

Los trabajos de levantamiento topográfico del tramo en estudio se realizaron con los siguientes instrumentos, los cuales garantizan la precisión requerida (Ver figura 15-16).

- Estación Total Marca Leica Modelo TS06 PLUS 5" R500, con certificado de calibración (Ver Anexo 13).
- Prisma, Jalón.
- Wincha, GPS.



*Figura 15:* Estación Total Marca Leica  
Fuente: Elaboración Propia





*Figura 16:* Levantamiento topográfico de la zona  
Fuente: Elaboración Propia

### **c. Estudio Hidrológico**

El área de estudio se encuentra localizado en el distrito de Chosica, la cual cuenta con una estación de monitoreo hidrológico, por ello se tuvo en cuenta los datos de esta estación hidrométrica llamada Chosica.

Para el desarrollo del estudio hidrológico se solicitó información meteorológica al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), estos son datos de registros históricos de caudales por año, para así con estos datos estimar el caudal de diseño del tramo en estudio del río Rímac. Los datos brindados por SENAMHI están comprendidos desde el año 1920 hasta el año 2019 (ver anexo 06).

Se procedió a estimar el período de retorno teniendo en cuenta la vida útil y riesgo admisible, como lo sugiere el (Manual de Hidrología, Hidráulica y drenaje, 2012 pág. 16), por ello se menciona que el riesgo de falla admisible está dado por la siguiente expresión:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (\text{Ec. 26})$$

Teniendo en cuenta que para defensas ribereñas se considera una vida útil de 30 años y que el riesgo admisible es de 25%, reemplazando estos datos en la ecuación se tiene que:

$$0.25 = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^{30}$$

$$T = 100 \text{ años}$$

Por ello se estima que el tiempo de retorno para este estudio es de 100 años.

#### d. Estudio de laboratorio

- Ensayo Granulométrico:

El análisis granulométrico es la evaluación de la distribución de los tamaños de las partículas de una cantidad de muestra de suelo. Estas distribuciones se muestran en los resultados en porcentajes. Este ensayo se realizó teniendo en cuenta la norma ASTM D422 (American Standard for Testing and Materials).

En la tabla 7 se observa la distribución de las partículas de la muestra de la calicata C-1. Donde se tiene que del total de la muestra el 51% es grava, el 46% arena y el 3% finos. Además de ello, según la clasificación SUCS, la muestra se clasifica como Grava mal graduadas (GP), que son mezclas de gravas y arenas, con poca presencia de finos.

**Tabla 7:** Análisis granulométrico por tamizado calicata C-1

Tamiz	Abertura (mm)	(%) Parcial Retenido	(%) Acumulado	
			Retenido	Pasa
3"	75.00	-		100
2"	50.00	20.00	20	80
1 1/2"	37.50	4.00	24	76
1"	25.00	7.00	30	70
3/4"	19.000	4.00	35	65
1/2"	12.500	5.00	39	61
3/8"	9.500	3.00	43	57
1/4"	6.300	5.00	47	53
Nº 4	4.750	3.00	51	49
Nº 10	2.000	14.00	65	35
Nº 20	0.850	17.00	83	17
Nº 30	0.600	5.00	87	13
Nº 40	0.425	3.00	90	10
Nº 60	0.250	3.00	94	6
Nº 80	0.150	2.00	96	4
Nº 100	0.106	1.00	96	4

<b>N° 200</b>	0.075	0.00	97	3
<b>Fondo</b>		3.00		

Fuente: Laboratorio N°2 Mecánica de suelos – Universidad Nacional de Ingeniería (Anexo 04)

En la Figura 17 se muestra la curva granulométrica que la representación gráfica del análisis granulométrico por tamizado de la Calicata C-1.

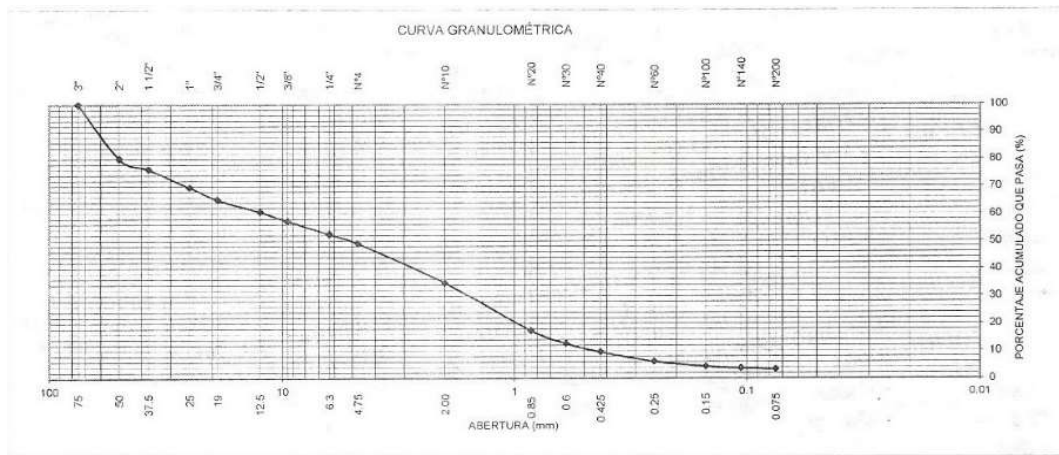


Figura 17: Curva granulométrica–calicata C-1

Fuente: Laboratorio N°2 Mecánica de suelos – Universidad Nacional de Ingeniería (Anexo 04)

En la tabla 8 se aprecia la distribución de las partículas de la muestra de la calicata C-2. En la cual se tiene como resultado que del total de la muestra el 24% es grava, el 75% arena y el 1% finos. Por ello, según la clasificación SUCS, la muestra se clasifica como Arena mal graduada (SP), que son una mezcla de arenas con gravas y poco o nada de material fino.

Tabla 8: Análisis granulométrico por tamizado calicata C-2

Tamiz	Abertura (mm)	(%) Parcial Retenido	(%) Acumulado	
			Retenido	Pasa
3"	75.00	-	-	
2"	50.00	-	-	
1 1/2"	37.50	-	-	100
1"	25.00	5	5	95
3/4"	19.000	3	8	92
1/2"	12.500	7	15	85
3/8"	9.500	4	19	81

<b>1/4"</b>	6.300	3	23	77
<b>Nº 4</b>	4.750	2	24	76
<b>Nº 10</b>	2.000	7	31	69
<b>Nº 20</b>	0.850	18	49	51
<b>Nº 30</b>	0.600	13	61	39
<b>Nº 40</b>	0.425	13	74	26
<b>Nº 60</b>	0.250	16	90	10
<b>Nº 80</b>	0.150	6	96	4
<b>Nº 100</b>	0.106	2	98	2
<b>Nº 200</b>	0.075	1	99	1
<b>Fondo</b>		1		

Fuente: Laboratorio N°2 Mecánica de suelos – Universidad Nacional de Ingeniería (Anexo 04)

En la Figura 18 se muestra la curva granulométrica que es la representación gráfica del análisis granulométrico por tamizado de la Calicata C-2.

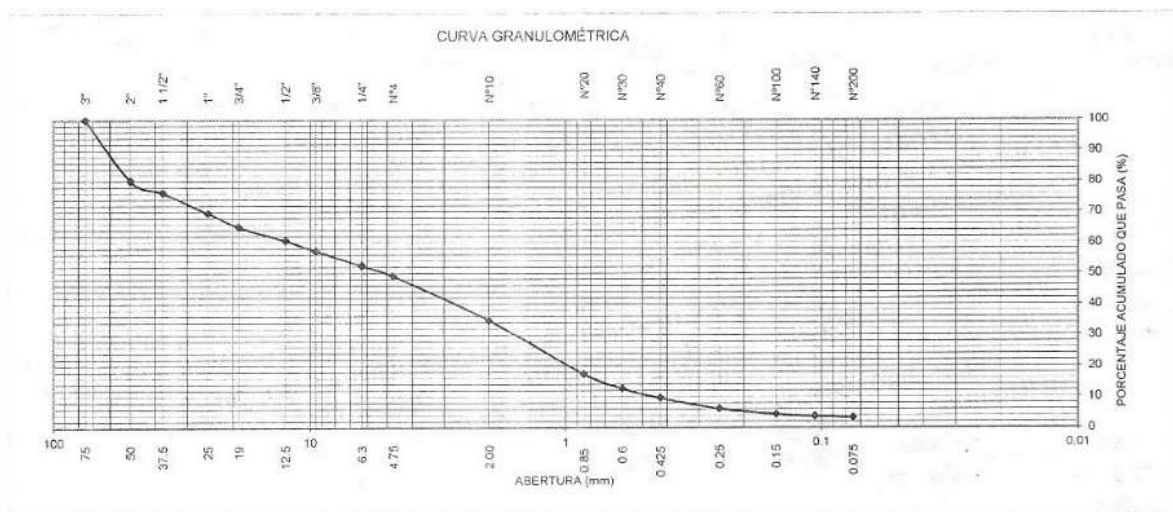


Figura 18: Curva granulométrica-calicata C-2

Fuente: Laboratorio N°2 Mecánica de suelos – Universidad Nacional de Ingeniería (Anexo 04)

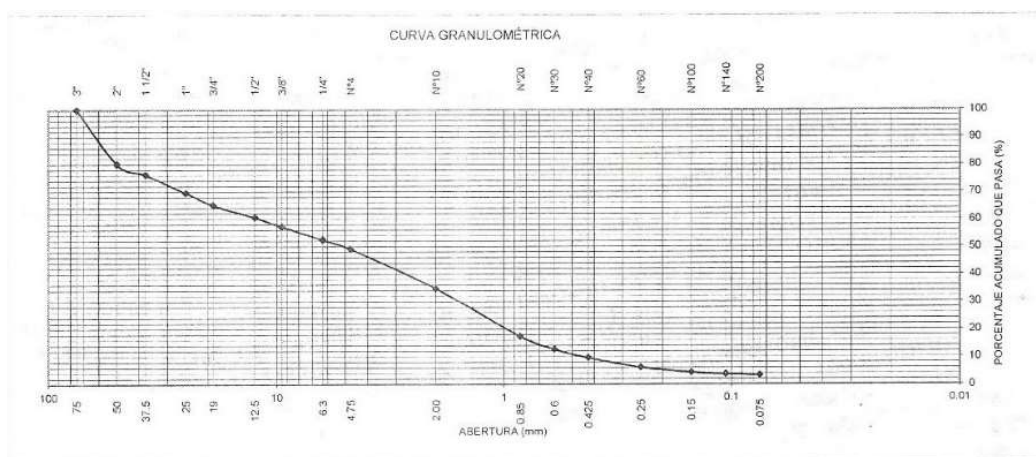
En la tabla 9 se observa la distribución de las partículas de la muestra de la calicata C-3. Donde se tiene que del total de la muestra el 33% es grava, el 66% arena y el 1% finos. Además de ello, según la clasificación SUCS, la muestra se clasifica como Arena mal graduada (SP), que son una mezcla de arenas con gravas y poco o nada de material fino.

**Tabla 9:** Análisis granulométrico por tamizado calicata C-3

Tamiz	Abertura (mm)	(%) Parcial Retenido	(%) Acumulado	
			Retenido	Pasa
3"	75.00	-	-	
2"	50.00		-	100
1 1/2"	37.50	5	5	95
1"	25.00	7	12	88
3/4"	19.000	6	17	83
1/2"	12.500	9	26	74
3/8"	9.500	2	28	72
1/4"	6.300	3	31	69
Nº 4	4.750	2	33	67
Nº 10	2.000	9	41	59
Nº 20	0.850	22	63	37
Nº 30	0.600	12	75	25
Nº 40	0.425	10	85	15
Nº 60	0.250	9	94	6
Nº 80	0.150	4	98	2
Nº 100	0.106	1	99	1
Nº 200	0.075	0	99	1
Fondo		1		

Fuente: Laboratorio N°2 Mecánica de suelos – Universidad Nacional de Ingeniería (Anexo 04)

En la Figura 19 se muestra la curva granulométrica que es la representación gráfica del análisis granulométrico por tamizado de la Calicata C-3.



**Figura 19:** Curva granulométrica – muestra calicata C-1

Fuente: Laboratorio N°2 Mecánica de suelos – Universidad Nacional de Ingeniería (Anexo 04)

- Ensayo de corte directo

Este ensayo permite establecer la resistencia de determinada muestra de suelo, sometiéndola a fatigas y/o deformaciones que sean similares a las que existirían en un terreno como resultado del efecto de una carga en ella. Se realizó bajo la norma ASTM D – 3080.

En la figura 20 se puede observar la deformación tangencial vs el Esfuerzo de corte.

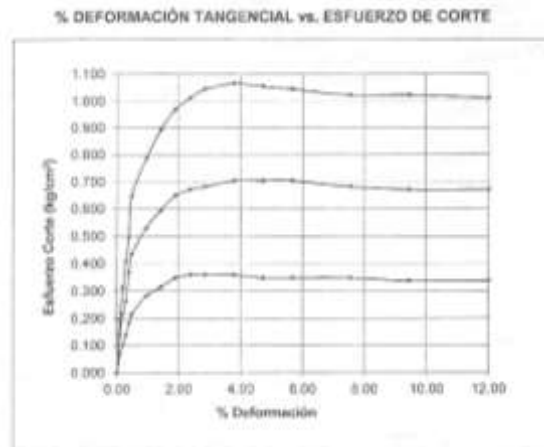


Figura 20: % Deformación tangencial vs Esfuerzo de corte de la muestra calicata C-1  
Fuente: Laboratorio N°2 Mecánica de suelos – Universidad Nacional de Ingeniería (Anexo 04)

En la figura 21 se observa el esfuerzo normal vs el esfuerzo de corte, dando como resultado un Angulo de fricción interna de 35.2° y 0.00 Kg/cm<sup>2</sup> de cohesión para la muestra de la calicata C-1

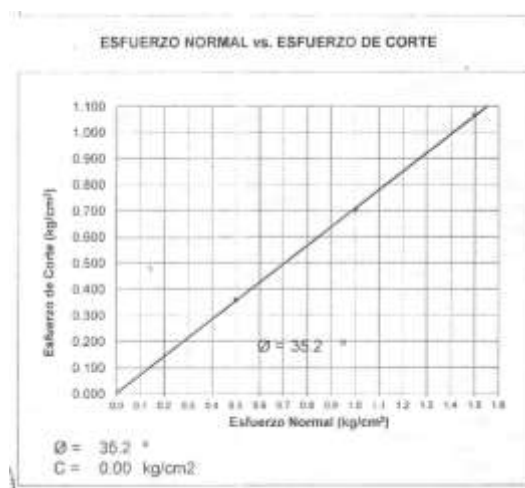


Figura 21: Esfuerzo normal vs Esfuerzo de corte de la muestra calicata C-1  
Fuente: Laboratorio N°2 Mecánica de suelos – Universidad Nacional de Ingeniería (Anexo 04)

En la figura 22 se puede observar la deformación tangencial vs el Esfuerzo de corte.



Figura 22: % Deformación tangencial vs Esfuerzo de corte de la muestra calicata C-2  
Fuente: Laboratorio N°2 Mecánica de suelos – Universidad Nacional de Ingeniería (Anexo 04)

En la figura 23 se observa el esfuerzo normal vs el esfuerzo de corte, dando como resultado un Angulo de fricción interna de  $33.9^\circ$  y  $0.00 \text{ Kg/cm}^2$  de cohesión para la muestra de la calicata C-2

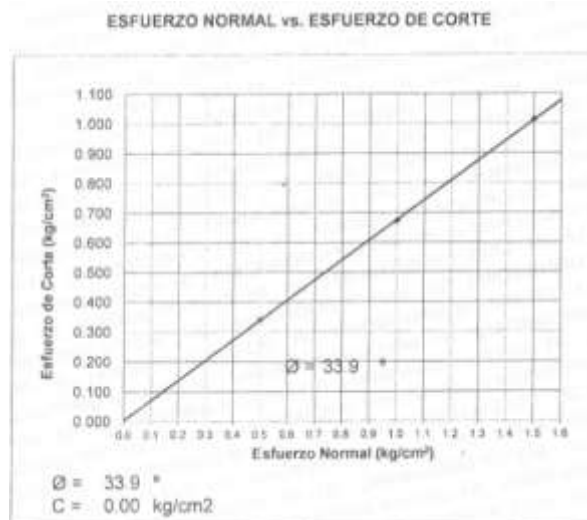


Figura 23: Esfuerzo normal vs Esfuerzo de corte de la muestra calicata C-2  
Fuente: Laboratorio N°2 Mecánica de suelos – Universidad Nacional de Ingeniería (Anexo 04)

En la figura 24 se puede observar la deformación tangencial vs el Esfuerzo de corte.

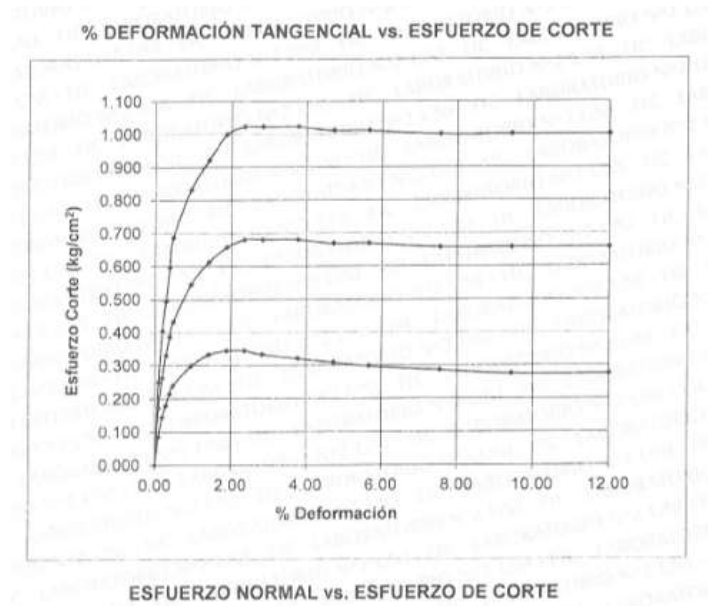


Figura 24: % Deformación tangencial vs Esfuerzo de corte de la muestra calicata C-3  
Fuente: Laboratorio N°2 Mecánica de suelos – Universidad Nacional de Ingeniería (Anexo 04)

En la figura 25 se observa el esfuerzo normal vs el esfuerzo de corte, dando como resultado un Angulo de fricción interna de  $34.1^\circ$  y  $0.00 \text{ Kg/cm}^2$  de cohesión para la muestra de la calicata C-3

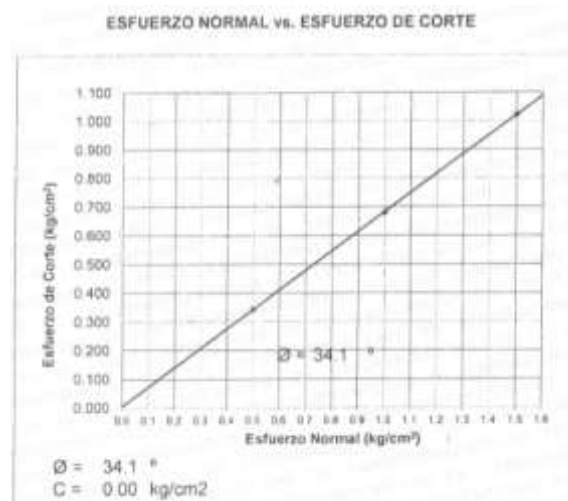


Figura 25: Esfuerzo normal vs Esfuerzo de corte de la muestra calicata C-3  
Fuente: Laboratorio N°2 Mecánica de suelos – Universidad Nacional de Ingeniería (Anexo 04)



### 3.2 Análisis de Resultados

#### Cálculo de la socavación general en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente - río Rímac zona del Pedregal

##### Caudal de diseño

Para realizar el cálculo de la socavación general en muros, previamente se tuvo que determinar el caudal máximo de diseño que presenta el río Rímac. Para ello se trabajó con los caudales máximos históricos de cada año, el tamaño de la muestra es de 100 años.

Se utilizaron tres métodos distintos para el análisis del caudal máximo de diseño para los periodos de retorno de 02, 05, 10, 20, 50, 75, 100, 150, 200, 500 y 1000 años:

a. Método de Gumbel

En la tabla 10 se presenta el resumen de los resultados obtenidos para el caudal de diseño con respecto a los periodos de retorno mencionados anteriormente. Donde se tiene que para un  $T_r=100$  años se tendría un caudal de  $341.33\text{m}^3/\text{seg}$ .

**Tabla 10:** Caudales máximos esperado – Método Gumbel

P (%)	$T_r$	Y	$Q_{máx}$ ( $\text{m}^3/\text{seg}$ )
99.90	1.00	-1.93	0.74
50.00	2.00	0.37	120.61
20.00	5.00	1.50	179.70
10.00	10.00	2.25	218.82
5.00	20.00	2.97	256.35
2.00	50.00	3.90	304.93
1.33	75.00	4.31	326.24
1.00	100.00	4.60	341.33
0.67	150.00	5.01	362.55
0.50	200.00	5.30	377.60
0.20	500.00	6.21	425.44
0.10	1000.00	6.91	461.61

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 26 se muestra la gráfica de la tendencia de los caudales máximos esperados para los periodos de retorno, se puede mencionar que a mayor tiempo de retorno los caudales incrementan de manera constante.

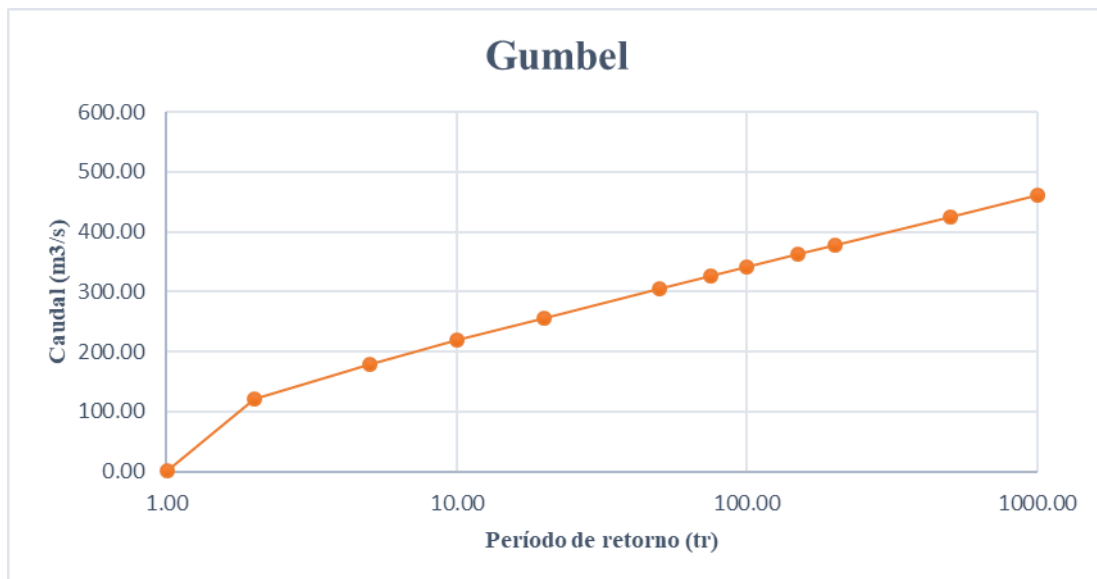


Figura 26: Caudal máximo esperado–Gumbel  
Fuente: Elaboración Propia

b. Distribución de Log Pearson tipo III

En la tabla 11 se presenta el resumen de los resultados obtenidos para los caudales de diseño correspondientes a los periodos de retorno. Donde se estimó que para un  $T_r=100$  años se tendría un caudal de  $350.98\text{m}^3/\text{seg}$ .

**Tabla 11:** Caudales de máximos esperado – Log Pearson III

Probabilidad (%)	$T_r$	$Q_d$ (m <sup>3</sup> /seg)
99.90	1.00	39.79
50.00	2.00	116.60
20.00	5.00	178.76
10.00	10.00	221.00
5.00	20.00	261.39
2.00	50.00	313.13
1.33	75.00	338.78
1.00	100.00	350.98
0.67	150.00	376.21
0.50	200.00	390.55
0.20	500.00	457.09
0.10	1000.00	473.74

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 27 se muestra la gráfica de la tendencia de los caudales máximos esperados para los periodos de retorno, se puede señalar que el tiempo de retorno y los caudales de diseño tienen una relación positiva puesto que si una se incrementa o disminuye la otra tendrá un comportamiento de igual manera.



Figura 27: Caudal máximo esperado – Log Pearson III

Fuente: Elaboración Propia

c. Distribución de Log normal de dos parámetros

En la tabla 12 se presenta el resumen de los resultados obtenidos para los caudales de diseño correspondiente a los periodos de retorno. Donde se tiene que para un  $T_r=100$  años se tendría un caudal de  $339.67\text{m}^3/\text{seg}$ .

Tabla 12: Caudales máximos esperado - Log Normal de dos parámetros

Probabilidad (%)	$T_r$	F(x)	Z	$Q_d$ ( $\text{m}^3/\text{seg}$ )
99.90	1.00	0.001	0.000	117.85
50.00	2.00	0.500	0.000	117.85
20.00	5.00	0.800	0.792	169.94
10.00	10.00	0.900	1.192	204.44
5.00	20.00	0.950	1.595	246.29
2.00	50.00	0.980	1.994	296.16
1.33	75.00	0.987	2.197	325.28
1.00	100.00	0.990	2.297	340.67

0.67	150.00	0.993	2.395	356.45
0.50	200.00	0.995	2.494	373.14
0.20	500.00	0.998	2.800	429.81
0.10	1000.00	0.999	3.000	471.43

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 28 se muestra la gráfica de la tendencia de los caudales máximos esperados para los periodos de retorno.

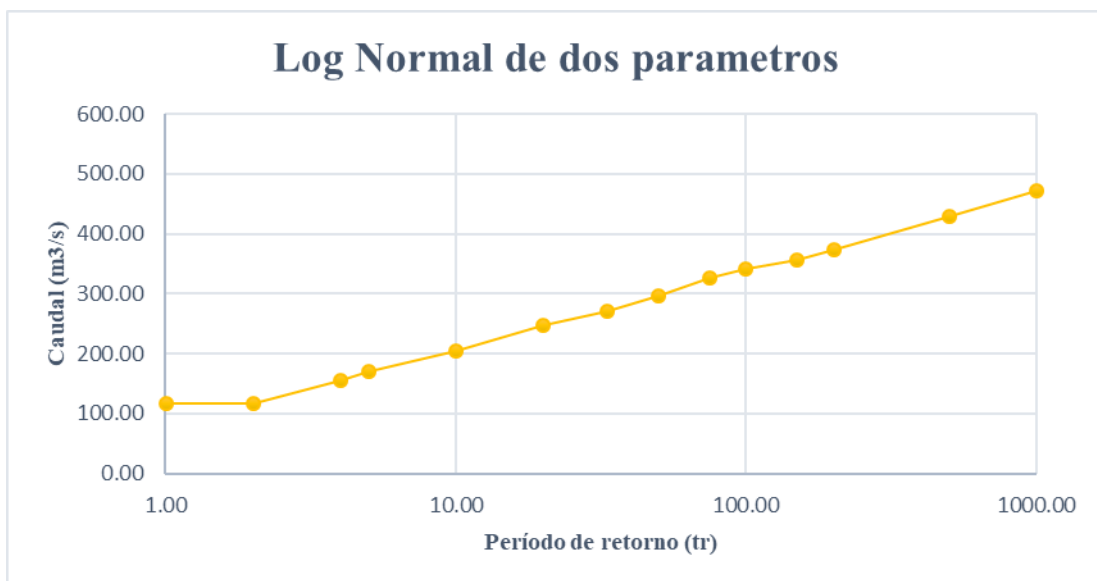


Figura 28: Caudal máximo–Log Normal de dos parámetros  
Fuente: Elaboración Propia

Por consiguiente, en la figura 29 se aprecia que los resultados de la distribución de Log Pearson III son los que más se ajustan a los datos en análisis, por lo que son estos resultados los que se tendrán en cuenta para los cálculos posteriores.

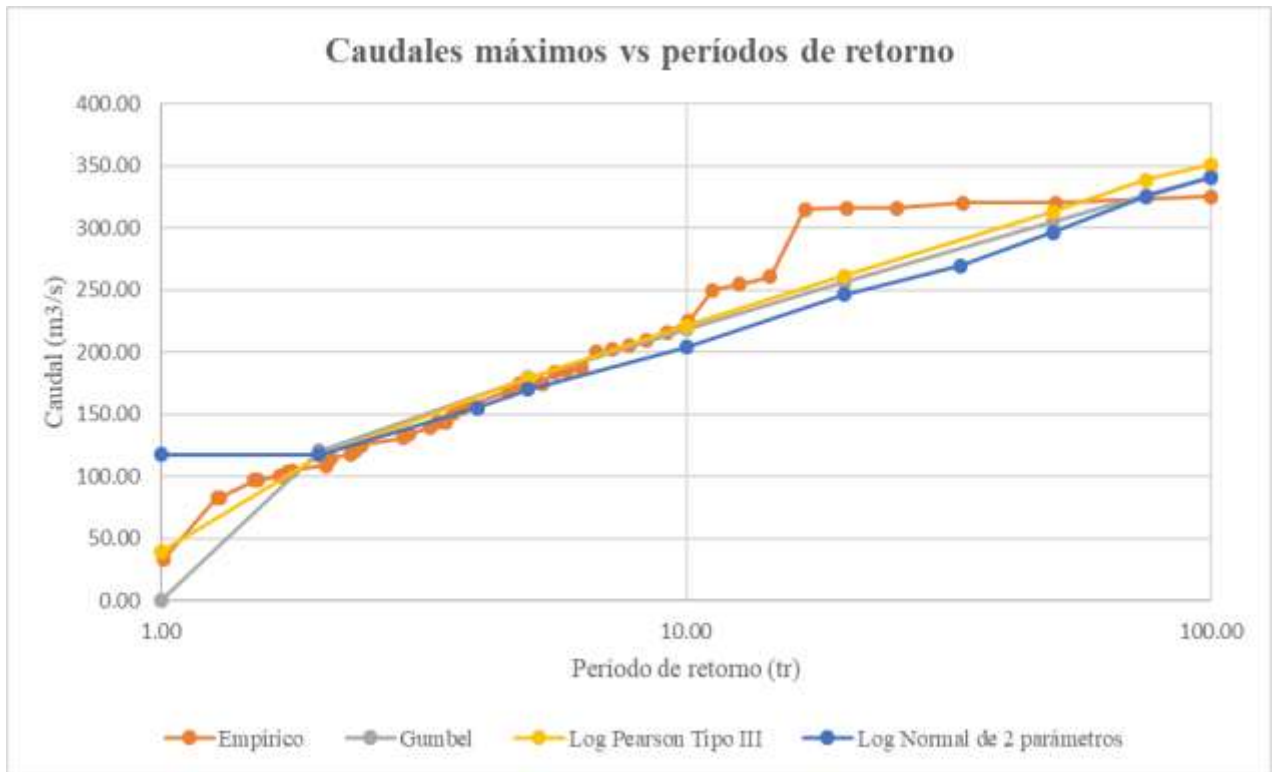


Figura 29: Caudales máximos vs períodos de retorno  
Fuente: Elaboración Propia

### Coefficiente de Manning

Para la selección del coeficiente de Manning se utilizó el método de Cowan, para determinar el valor de este coeficiente se utilizó la siguiente ecuación:

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

En la tabla 13 se muestra el coeficiente de Manning calculado, para el cauce principal se estimó un coeficiente de 0.038 mientras que para las márgenes del río se estimó un valor de 0.043.

**Tabla 13:** Cálculo del coeficiente de Manning

Cálculo del coeficiente de Manning(n)					
Cauce principal			Márgenes del río		
n Básico(Grava Gruesa)	$n_0$	0.028	n Básico(Grava Gruesa)	$n_0$	0.028
Vegetación(Baja)	$n_4$	0.005	Vegetación(Baja)	$n_4$	0.010
Forma(Gradual)	$n_2$	0.000	Forma(Gradual)	$n_2$	0.000
Irregularidad(menor)	$n_1$	0.005	Irregularidad(menor)	$n_1$	0.005
Obstrucción(despreciable)	$n_3$	0.000	Obstrucción(despreciable)	$n_3$	0.000
Subtotal		0.038	Subtotal		0.043
Alineamiento(k)(Menor)	$m_5$	1.000	Alineamiento(k)(Menor)	$m_5$	1.000
<b>Valor Estimado</b>		<b>0.038</b>	<b>Valor Estimado</b>		<b>0.043</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Parámetros hidráulicos**

En la tabla 14 está presentándose los resultados correspondientes a los siguientes parámetros hidráulicos: área hidráulica, perímetro mojado y radio hidráulico, para el cálculo de estos se empleó las fórmulas empíricas.

**Tabla 14:** Parámetros hidráulicos

Parámetros hidráulicos	
$A_h$	81.95 $m^2$
$P_m$	36.39 $m$
$T$	34.71 $m$
$R_h$	2.25 $m$
$B_e$	36.72 $m$

Fuente: Elaboración Propia

**Condición de forma de la socavación**

Estas están definidas por lo siguiente:

$$\text{Agua clara} \rightarrow V_1 < V_c$$

$$\text{Lecho móvil} \rightarrow V_1 > V_c$$

Teniendo como resultado que  $V_1 = 2.86 \text{ m/s} > V_c = 1.54 \text{ m/s}$ , por ello se puede decir que se está transportando sedimentos aguas arriba y que el río Rímac estaría presentando condiciones de socavación en lecho móvil, corroborado por las épocas de crecida.

### Método de Lischvan-Levediev

Para el cálculo de la socavación general se empleó el método de Lischvan-Levediev, como se muestra a continuación:

- Determinación del diámetro medio ( $D_m$ ):

Se empleó la siguiente formula:

$$D_m = \frac{\sum_1^i (d_i * P_i)}{100} \quad (\text{Ec. 27})$$

En la tabla 15 se muestra que para el diámetro medio de la calicata C-1 se obtuvo como resultado a 18.53mm, esta fue calculada teniendo en cuenta el % parcial retenido obtenido en el análisis granulométrico multiplicado por el diámetro de cada tamiz y dividido entre 100.

**Tabla 15:** Diámetro medio de la calicata C-1

Abertura (mm)	d (mm)	% Parcial retenido ( $P_i$ )	$d_i * P_i$ (mm)
75.000	87.500		
50.000	56.250	20.0	1125.000
37.500	43.750	4.0	175.000
25.000	31.250	7.0	218.750
19.000	22.000	4.0	88.000
12.500	15.750	5.0	78.750
9.500	11.000	3.0	33.000
6.300	7.900	5.0	39.500
4.750	5.525	3.0	16.575
2.000	3.375	14.0	47.250
0.850	1.425	17.0	24.225
0.600	0.725	5.0	3.625
0.425	0.513	3.0	1.539
0.250	0.338	3.0	1.014
0.150	0.200	2.0	0.400
0.106	0.000	1.0	0.000
0.075	0.113	0.0	0.000

0.000	0.038	3.0	0.114
		$\sum_1^i (d_i * P_i) =$	1852.742
		$\frac{\sum_1^i (d_i * P_i)}{100}$	18.53mm

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 16 se presenta el cálculo realizado para estimar el diámetro medio de la calicata C-2, donde se obtuvo como resultado a 4.84 mm. Este resultado es notablemente menor con respecto al anterior debido a que al ser un suelo con partículas de menor tamaño, el mayor porcentaje de partículas fue retenido en las mallas de menor pulgadas en sus aberturas.

**Tabla 16:** Diámetro medio de la calicata C-2

Abertura (mm)	d (mm)	% Parcial retenido ( $P_i$ )	$d_i * P_i$ (mm)
75.000	87.500		
50.000	56.250		
37.500	43.750		
25.000	31.250	5.0	156.250
19.000	22.000	3.0	66.000
12.500	15.750	7.0	110.250
9.500	11.000	4.0	44.000
6.300	7.900	3.0	23.700
4.750	5.525	2.0	11.050
2.000	3.375	7.0	23.625
0.850	1.425	18.0	25.650
0.600	0.725	13.0	9.425
0.425	0.513	15.0	7.695
0.250	0.338	16.0	5.408
0.150	0.200	6.0	1.200
0.106	0.000	2.0	0.000
0.075	0.113	1.0	0.113
0.000	0.038	1.0	0.038
		$\sum_1^i (d_i * P_i) =$	484.404
		$\frac{\sum_1^i (d_i * P_i)}{100}$	4.84mm

Fuente: Elaboración Propia



En la tabla 17 se presenta el cálculo realizado para estimar el diámetro medio de la calicata C-3, donde se obtuvo como resultado a 8.47 mm. Este resultado al igual que el de la calicata C-2 son menores por ser un tipo de suelo más fino.

**Tabla 17:** Diámetro medio de la calicata C-3

Abertura (mm)	d (mm)	% Parcial retenido ( $P_i$ )	$d_i * P_i$ (mm)
75.000	87.500		
50.000	56.250		
37.500	43.750	5.0	218.750
25.000	31.250	7.0	218.750
19.000	22.000	6.0	132.000
12.500	15.750	9.0	141.750
9.500	11.000	2.0	22.000
6.300	7.900	3.0	23.700
4.750	5.525	2.0	11.050
2.000	3.375	9.0	30.375
0.850	1.425	22.0	31.350
0.600	0.725	12.0	8.700
0.425	0.513	10.0	5.130
0.250	0.338	9.0	3.042
0.150	0.200	4.0	0.800
0.106	0.000	1.0	0.000
0.075	0.113	0.0	0.000
0.000	0.038	1.0	0.038
		$\sum_1^i (d_i * P_i) =$	847.435
		$\frac{\sum_1^i (d_i * P_i)}{100}$	8.47 mm

Fuente: Elaboración Propia

- Parámetros admisibles:

En la tabla 18, se presenta los resultados de los parámetros admisibles, los cuales son el coeficiente de frecuencia ( $\beta$ ), el exponente variable (x) en función del  $D_m(Z)$ , y el coeficiente de sección ( $\alpha$ ). Para ello se consideró un  $T_r=100$  años.

**Tabla 18:** Parámetros Admisibles

Parámetros admisibles	Fórmula	Resultado
$\beta$	$0.7929 + 0.0973 \log(T_r)$	0.988
$Z$	$0.394557 - 0.04136 * \log(D_m) - 0.00891 * \log^2(D_m)$	0.328
$\alpha$	$\frac{Q_d}{B_e * (R)^{5/3}}$	2.47

Fuente: Elaboración Propia

Entonces, como se mencionó anteriormente el tipo de suelo corresponde a suelos granulares o no cohesivos, por ello se emplea la Ec.10.

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

Por consiguiente, se tiene que la socavación es igual:

$$\Delta S = H_s - h$$

En la tabla 19 se presenta el resumen del resultado de la socavación general para cada período de retorno mencionado previamente. Se debe señalar que para  $T_r=100$  años se obtuvo una profundidad de socavación de 2.24m y que, al tener un mayor caudal de diseño, la socavación se incrementará progresivamente.

**Tabla 19:** Socavación calculada – método de Lischtvan – Levediev

$T_r$	$Q_d$ ( $m^3/seg$ )	$h$ (m)	$\alpha$	$\beta$	$z$	$H_s$ (m)	$\Delta S$ (m)
1	39.79	2.65	0.280	0.793	0.328	1.119	-1.526
2	116.60	2.65	0.821	0.822	0.328	2.447	-0.199
5	178.76	2.65	1.259	0.861	0.328	3.261	0.615
10	221.00	2.65	1.556	0.890	0.328	3.730	1.085
20	261.39	2.65	1.840	0.919	0.328	4.131	1.486
50	313.13	2.65	2.205	0.958	0.328	4.588	1.943
75	338.78	2.65	2.385	0.975	0.328	4.804	2.159
100	350.98	2.65	2.471	0.988	0.328	4.888	2.242
150	376.21	2.65	2.649	1.005	0.328	5.084	2.438
200	390.55	2.65	2.750	1.017	0.328	5.182	2.537
500	457.09	2.65	3.218	1.056	0.328	5.672	3.026

Fuente: Elaboración Propia

Por último, se verifica las condiciones de la fórmula de Lischtván – Levediev teniendo en cuenta dos aspectos fundamentales, que son:

- Flujo subcrítico:  $F < 1.00 \rightarrow F = 0.59 < 1.00 \rightarrow$  Cumple
- Condición de equilibrio de velocidades de flujo:  $V_r = V_e \rightarrow$  Cumple

✓ Velocidad Media Real( $V_r$ ):

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

✓ Velocidad erosiva de suelos granulares( $V_e$ ):

$$V_e = 0.68 * \beta * D_m^{0.28} * H_s^2$$

En la tabla 20 se muestra la verificación de la condición de equilibrio de velocidades de flujo, para todos los períodos de retorno se cumple con esta condición

**Tabla 20:** Condición de equilibrio de velocidades de flujo

$T_r$	$h$ (m)	$H_s$	$V_r$	$V_e$	$V_r = V_e$
1	2.65	1.119	1.267	1.267	Cumple
2	2.65	2.447	1.698	1.698	Cumple
5	2.65	3.261	1.953	1.953	Cumple
10	2.65	3.730	2.111	2.111	Cumple
20	2.65	4.131	2.254	2.254	Cumple
50	2.65	4.588	2.431	2.431	Cumple
75	2.65	4.804	2.512	2.512	Cumple
100	2.65	4.888	2.558	2.558	Cumple
150	2.65	5.084	2.636	2.636	Cumple
200	2.65	5.182	2.685	2.685	Cumple
500	2.65	5.672	2.871	2.871	Cumple

Fuente: Elaboración Propia

### Método de Blench

En este estudio se empleó la fórmula para gravas puesto que según la granulometría el diámetro de la partícula  $d_{50}$  es mayor a 2mm, en este caso es de 9.5mm. Por ello se aplicó la siguiente ecuación:

$$H_{ms} = 1.23 \left( \frac{q^{2/3}}{d_{50}^{1/12}} \right)$$

Para ello se debió determinar previamente el valor de q, donde:  $q = \frac{Q}{B}$

En la tabla 21 se presenta el resumen de los resultados obtenidos para la socavación general calculado bajo el método de Blench, estimado para cada período de retorno mencionado previamente. Se debe señalar que para un  $T_r=100$  años se obtuvo una profundidad de socavación de 5.52m y que la socavación se incrementa progresivamente conforme el caudal de diseño sea mayor.

**Tabla 21:** Socavación calculada – método de Blench

$T_r$	$Q_d$ ( $m^3/seg$ )	q	$H_{ms}(m)$	$\Delta S(m)$
1	39.79	1.08	1.99	-0.73
2	116.60	3.18	4.07	1.27
5	178.76	4.87	5.41	2.56
10	221.00	6.02	6.23	3.35
20	261.39	7.12	6.97	4.06
50	313.13	8.53	7.86	4.92
75	338.78	9.23	8.28	5.33
100	350.98	9.56	8.48	5.52
150	376.21	10.25	8.88	5.91
200	390.55	10.64	9.10	6.12
500	457.09	12.45	10.11	7.09

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 30 se observa el resumen de los resultados para la socavación general, se puede apreciar una variación considerable entre los resultados obtenidos por el método de Lischtvan-Levediev y el método de Blench debido a que cada uno considera diferentes condiciones iniciales y se desarrollan con distintos parámetros.

Además, se debe señalar que en ambos métodos se obtiene que con el transcurso de los años la socavación que se produce se incrementa, por ello se puede decir que se tiene una relación positiva entre ambas puesto que, ante el aumento o disminución de una de estas variables, la otra tendría el mismo comportamiento.

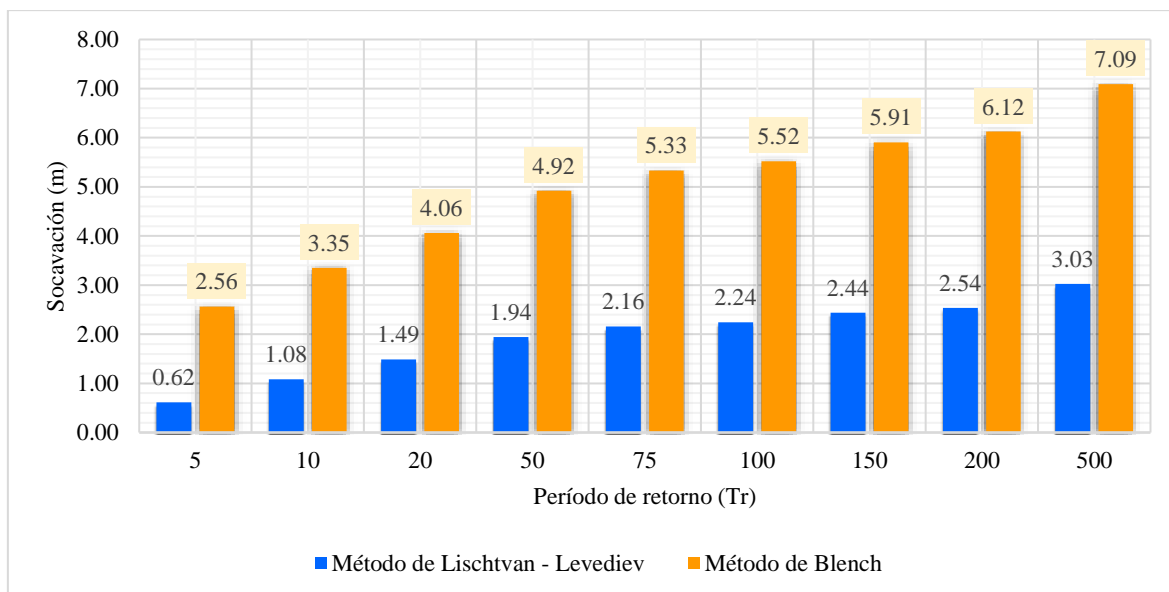


Figura 30: Resumen de resultados de socavación general  
Fuente: Elaboración Propia

### Cálculo de la socavación local en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente - río Rímac zona del Pedregal

Para estimar la profundidad de la socavación local en los muros de defensa ribereña se utilizó primero la ecuación de Lischtvan-Levediev, además de ello se ubicó tres secciones a lo largo de los muros, con las cuales se procedió a aplicar el método mencionado considerando los diámetros medios anteriormente calculados, de esta manera se pudo obtener la variación de la socavación local en estas secciones.

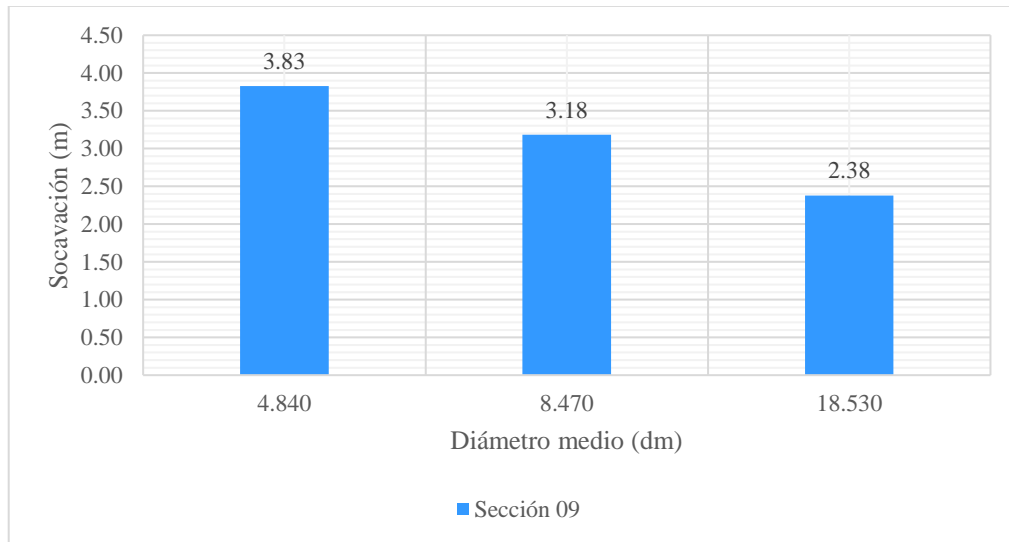
En la tabla 22 está presentándose los resultados obtenidos para la socavación en la sección 09, esto muestra que a mayor diámetro medio la socavación local en esta sección disminuye. Para ello se tuvo en cuenta un  $T_r=100$  años siendo el caudal constante al igual que el ancho efectivo y la profundidad media de la sección.

Tabla 22: Socavación local en la sección 09 del muro de defensa ribereña

$Q_d$ (m <sup>3</sup> /seg)	$h$ (m)	$\alpha$	$\beta$	$z$	$D_m$	$H_s$ (m)	$\Delta S$ (m)
350.98	3.143	2.179	0.988	0.362	4.840	6.97	3.83
350.98	3.143	2.179	0.988	0.349	8.470	6.33	3.18
350.98	3.143	2.179	0.988	0.328	18.530	5.52	2.38

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 31 se presenta gráficamente los resultados obtenidos para la socavación local en la sección 09, considerando un período de retorno de 100 años, se debe mencionar que la variación de la socavación se debe al diámetro medio, puesto que mientras mayor sea el diámetro medio la socavación local disminuirá.



*Figura 31:* Socavación local de la sección 09 - Método Lischtvan-Levediev  
Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 23 está presentándose los resultados obtenidos para la socavación en la sección 13, esto muestra que ante el incremento del diámetro medio la socavación local en esta sección se comporta de manera contraria. Para la determinación de esta socavación se consideró un período de retorno de 100 años, por ello el caudal se mantiene de manera constante al igual que el ancho efectivo y la profundidad media de la sección.

**Tabla 23:** Socavación local en la sección 13 del muro de defensa ribereña

$Q_d$ (m <sup>3</sup> /seg)	$h(m)$	$\alpha$	$\beta$	$z$	$D_m$	$H_s(m)$	$\Delta S(m)$
350.98	2.365	2.747	0.988	0.362	4.840	5.83	3.47
350.98	2.365	2.747	0.988	0.349	8.470	5.29	2.92
350.98	2.365	2.747	0.988	0.328	18.530	4.60	2.23

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 32 se presenta gráficamente los resultados obtenidos para la socavación local en la sección 13, considerando un período de retorno de 100 años. Al igual que en la anterior sección se debe señalar que mientras el diámetro medio sea mayor la socavación local en la sección disminuirá.

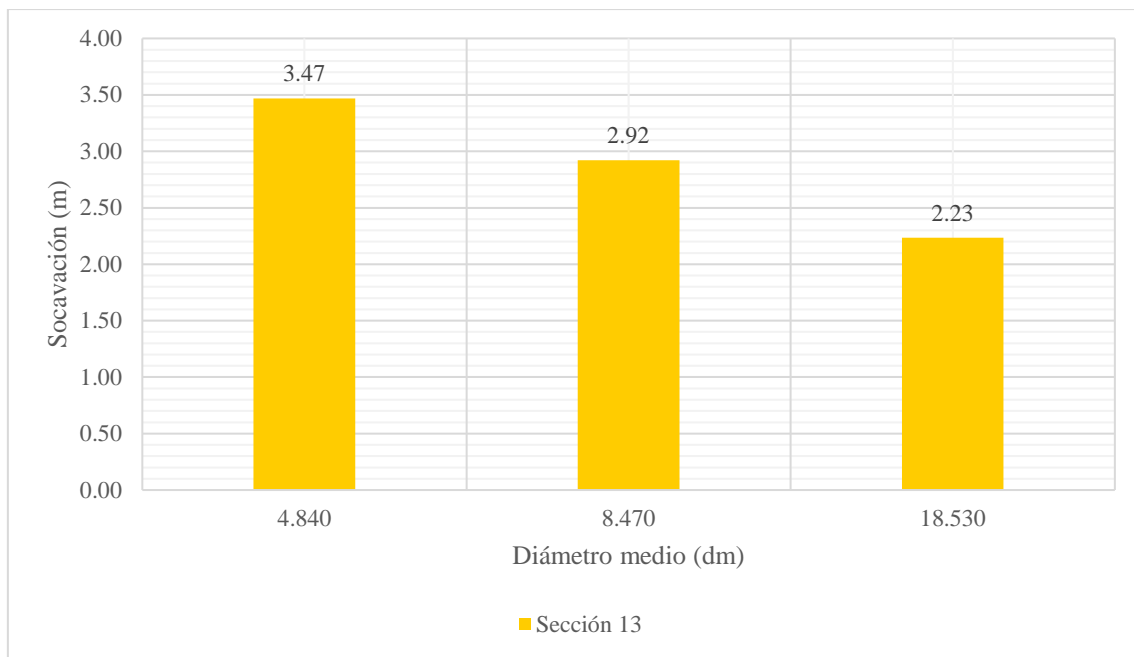


Figura 32: Socavación local de la sección 13 – Método Lischvan-Levediev

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 24 está presentándose los resultados obtenidos para la socavación en la sección 15, esto muestra que ante una variación del diámetro medio, la socavación se vería afectada puesto que si se tiene un mayor diámetro medio los resultados en la socavación disminuirían como se aprecia en la tabla mencionada.

**Tabla 24:** Socavación local en la sección 15 del muro de defensa ribereña

$Q_d$ (m <sup>3</sup> /seg)	$h(m)$	$\alpha$	$\beta$	$z$	$D_m$	$H_s(m)$	$\Delta S(m)$
350.98	3.020	2.129	0.988	0.362	4.840	6.52	3.50
350.98	3.020	2.129	0.988	0.349	8.470	5.92	2.90
350.98	3.020	2.129	0.988	0.328	18.530	5.16	2.14

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 33 se presenta gráficamente los resultados obtenidos para la socavación local en la sección 15, considerando un  $T_r=100$  años. Los resultados en esta sección son menores a los otros puesto que en esta sección se consideró un ancho efectivo mayor a los anteriores y esto influye en la los cálculos de algunos parámetros y por ende a la socavación.

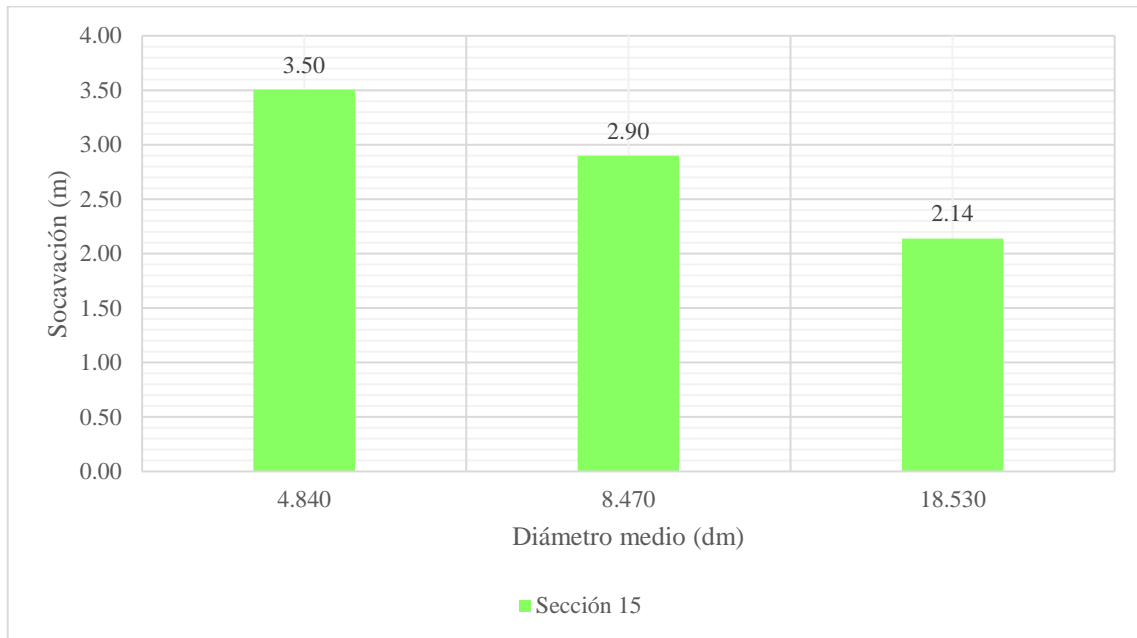


Figura 33: Socavación local de la sección 15- Método Lischtvan-Levediev  
Fuente: Elaboración Propia

### Método de Artamonov

Posteriormente, para estimar la profundidad de la socavación local en los muros de defensa ribereña se utilizó el método de Artamonov, para ello se consideró a las secciones anteriormente estudiadas.

En la tabla 25 se presenta los parámetros hidráulicos del río para las secciones, se señala que el caudal de diseño se mantendrá constante para las tres secciones porque fue el obtenido para un período de retorno de 100 años, siendo la profundidad inicial el parámetro variable.

Parámetros hidráulicos			
$H_0$	3.15 m	2.37 m	3.02 m
$Q_d$	350.98 m <sup>3</sup> /seg		

Artamonov



$Q_1$	35.10 m <sup>3</sup> /seg
-------	---------------------------

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 26 se presenta los parámetros adimensionales del río para las secciones, que serán necesarios para determinar la socavación en esta sección y que serán iguales para las tres secciones puesto que el caudal se mantiene constante.

**Tabla 26:** Parámetros adimensionales – Método Artamonov

Parámetros adimensionales	Fórmula	Resultado
$P_q$	$4.429 + 1.063 * \ln(Q_d/Q_1)$	1.98
$P_\alpha$	$0.782 * 1.063 * e^{0.0028\alpha}$	1.01
$P_R$	$1.028 * e^{-0.24R}$	1.03

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 27 se muestra los resultados obtenidos aplicando el método de Artamonov, con el que se determinó la socavación local en las secciones 09, 13 y 15 para un  $T_T=100$  años.

**Tabla 27:** Socavación local para las secciones – Método de Artamonov

Sección	Socavación $\Delta s = H_s - H_0$
09	3.30m
13	2.48m
15	3.17m

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 34 se presenta los resultados obtenidos aplicando el método de Artamonov para las tres secciones, se puede observar que existe muy poca variación entre los resultados.

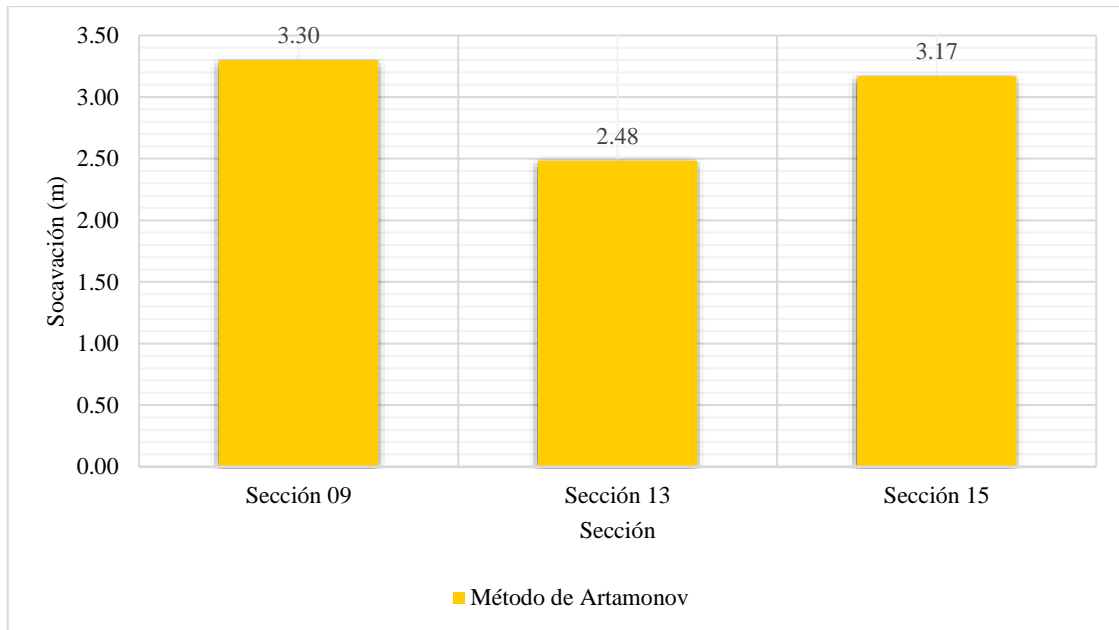


Figura 34: Socavación local de las secciones 09 ,13 y 15-Método Artamonov  
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 35 se muestra el resumen de los resultados para la socavación local en las secciones mencionadas, se puede apreciar una variación considerable entre los resultados obtenidos por el método de Lischtvan-Levediev y el método de Artamonov debido a que cada uno considera diferentes condiciones iniciales y se desarrollan bajo distintos parámetros.

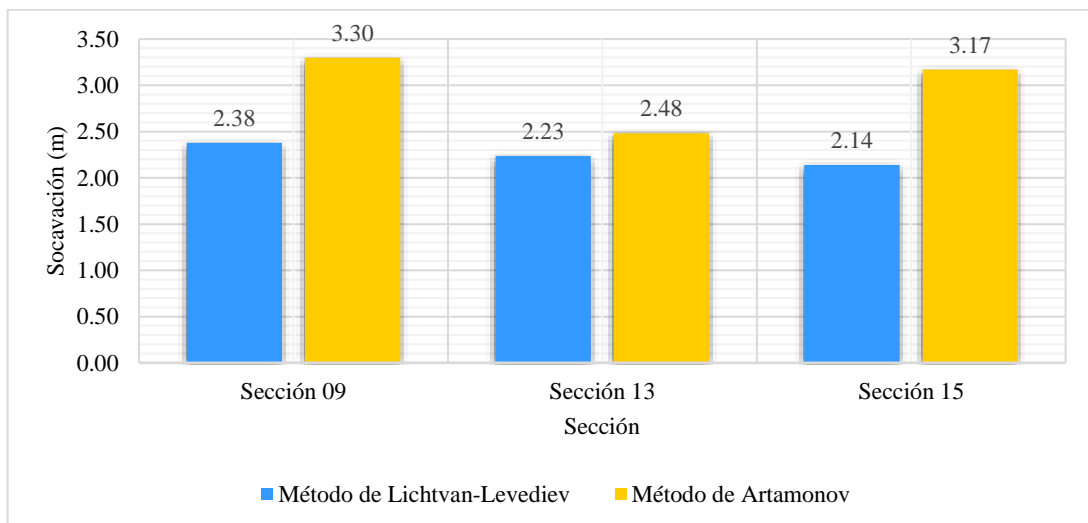


Figura 35: Resumen de resultados de socavación local  
Fuente: Elaboración Propia

## Resultados de la modelación y estimación de la socavación general y local de los muros de defensa ribereña en HEC-RAS

Se realizó el modelamiento y simulación del tramo en estudio del río y con ello se procedió a estimar la socavación general y local de los muros de defensa ribereña en el programa HEC-RAS, el cual se detalla en el anexo 13. Para ello, previamente se importó el levantamiento topográfico del río Rímac, con los puntos tomados en el trabajo de campo, los cuales fueron procesados en el software Civil 3D y posteriormente se continuó con el procesamiento del modelamiento en el HEC-RAS.

### Socavación general

En la figura 36 se observa el grafico de la socavación general obtenida en la sección de estudio. El resultado que se obtuvo fue de 4.98m, este resultado fue estimado para un  $T_r=100$  años, teniendo en cuenta las características propias del río

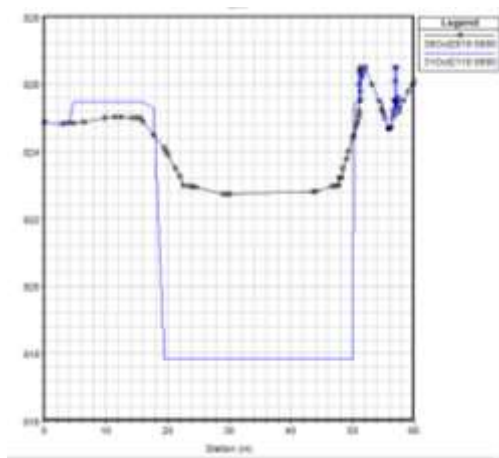


Figura 36: Socavación general obtenido en el software HEC-RAS  
Fuente: Elaboración Propia

### Socavación local

Asimismo, se obtuvo la socavación local correspondiente a cada sección, el cual se detalla en la tabla 28. En su mayoría estos resultados son mayores a 4.50m. de profundidad para un período de retorno de 100 años. Y haciendo mayor énfasis en las secciones que se estudiaron

anteriormente se debe decir que la profundidad de socavación obtenida para la sección 09 es de 5m, para sección 13 se obtuvo 5.14m. y para la sección 15 se estimó 4.91m.

**Tabla 28:** Socavación Local obtenida en el Software HEC-RAS

Sección	Elevación inicial	Elevación final	Socavación(m)
1	816.5001	811.5013	4.999
2	816.8999	812.0492	4.851
3	817.4901	812.5625	4.928
4	818.0000	813.1003	4.900
5	818.4600	813.4566	5.003
6	818.9199	813.9434	4.976
7	819.3701	814.3915	4.979
8	819.8498	814.8894	4.960
9	820.2500	815.2495	5.000
10	820.6999	815.7160	4.984
11	821.3598	816.3900	4.970
12	821.4799	816.6996	4.780
13	822.3300	817.1888	5.141
14	822.4900	817.4913	4.999
15	822.7399	817.8293	4.911
16	822.9999	818.9785	4.021
17	822.9999	818.0012	4.999
18	823.4598	818.5505	4.909
19	823.5001	819.0966	4.404
20	823.9899	819.1078	4.882
21	824.4999	819.5376	4.962
22	825.0001	819.9513	5.049
23	825.0001	820.0293	4.971
24	825.3701	821.0646	4.305
25	828.8301	828.1423	0.688

Fuente: Elaboración Propia

Asimismo, en las figuras 37, 38 y 39 se muestra gráficamente la forma actual de la sección en estudio y la forma de la socavación local obtenida para las secciones 09, 13 y 15 respectivamente.

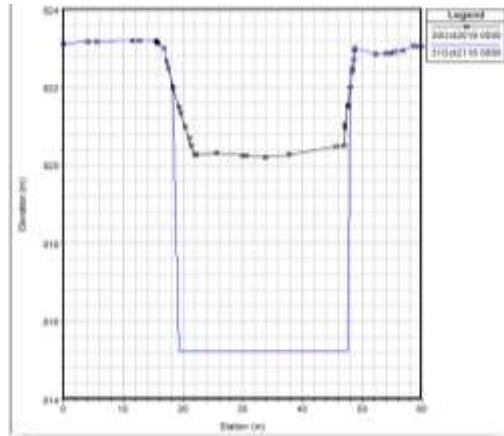


Figura 37: Socavación local para la sección 09 – HEC-RAS  
Fuente: Elaboración Propia

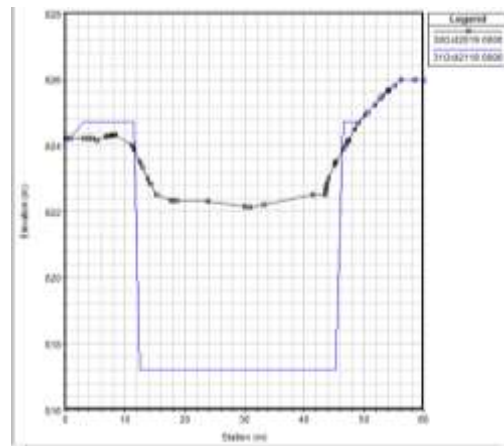


Figura 38: Socavación local para la sección 13 – HEC-RAS  
Fuente: Elaboración Propia

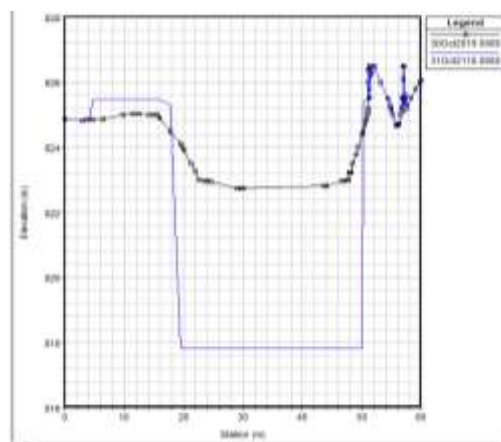


Figura 39: Socavación local para la sección 15 – HEC-RAS  
Fuente: Elaboración Propia

### **3.3 Contrastación de hipótesis**

#### **Contrastación de hipótesis de la socavación general en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente - Río Rímac zona del Pedregal**

$H_a$ : La socavación general en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente es considerable – Río Rímac zona del Pedregal, distrito de Lurigancho, Lima en el 2019.

$H_0$ : La socavación general en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente no es considerable – Río Rímac zona del Pedregal, distrito de Lurigancho, Lima en el 2019.

De acuerdo a los resultados la socavación general en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente – Río Rímac zona del Pedregal es considerable. Como se demostró en los resultados la socavación para un periodo de retorno de 100 años tiene una profundidad de 2.24m empleando el método de Lischtvan-Levediev (ver tabla 19) mientras que con el método de Blench se determinó una socavación de 5.52m (ver tabla 21).

Por consiguiente, se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

#### **Contrastación de hipótesis de la socavación local en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente - Río Rímac zona del Pedregal**

$H_a$ : La socavación local en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente es considerable – Río Rímac zona del Pedregal, distrito de Lurigancho, Lima en el 2019.

$H_0$ : La socavación local en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente no es considerable – Río Rímac zona del Pedregal, distrito de Lurigancho, Lima en el 2019.

De acuerdo a los resultados la socavación local en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente – Río Rímac zona del Pedregal es considerable. Como se demostró en los resultados la socavación para un periodo de retorno de 100 años se tiene una profundidad para las secciones de 2.38m (ver tabla 22), 2.23m (ver tabla 23) y 2.14m (ver tabla 24) con el método de Lischtvan-Levediev mientras que con el método de Artamonov se determinó una profundidad de 3.30m, 2.48m, y 3.17m respectivamente (ver tabla 27).

Por consiguiente, se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

#### **IV. DISCUSIÓN**

Tema	Autor	Título	Año	Aporte	Propio de la Investigación
Socavación General	Barbosa Gil Sebastián	Metodología para calcular la profundidad de socavación general en ríos de montaña (lecho de gravas)	2015	Menciona que comunmente en las metodologías tradicionales para lograr estimar la socavación general se debe tener una dependencia de los caudales unitarios que ocasionen dicha socavación. A su vez señala que se presenta una gran variación entre los resultados obtenidos de la socavación con respecto a estos caudales. Por lo cual el autor concluyo que las ecuaciones empiricas permiten simular los cambios ocasionados en el lecho y reproducen el comportamiento del proceso de socavación a escala de sección.	La socavación general en los muros de las defensas ribereñas fue determinada empleando uno de los métodos más utilizados en el Perú, el cual es el método de Lischtvan-Levediev obteniéndose un resultado de 2.242m mientras que con el método de Blench se estimó una socavación de 5.52m, para un periodo de retorno de 100 años en ambos métodos. Se debe mencionar que el primer método tiene una gran dependencia del caudal y diámetro medio del suelo, mientras que el segundo método tiene mayor consideración del caudal y del ancho de la sección, por ello se puede ver una variación en los resultados obtenidos puesto que cada método considera distintas condiciones iniciales y a su vez se desarrollan teniendo en cuenta distintos



					parámetros lo cual lleva a que estos resultados tengan un grado de variación.
Socavación Local	Castro Toro, Iván	Evaluación de la socavación al pie de los muros de encauzamiento del río Amojú, Zona urbana - Jaén	2015	Menciona que existen diversos métodos para estimar la profundidad de la socavación local pero que es el método de Artamonov, el que posee las variables que tienen mayor relación para realizar la estimación de la socavación al pie de los muros. Con ello, se obtuvo que en la progresiva 0+173 y 0+333 se obtuvo una profundidad de socavación de 2.41m, las cuales no tienen mayor variación puesto que este tramo posee características físicas y topográficas semejantes.	Para la estimación de la socavación local se ubicó puntos que se encuentren más vulnerables, sea por observarse la existencia actual de socavación o por las condiciones de estos. Por ello se evaluó tres secciones y se empleó el método de Artamonov con el cual se obtuvo una profundidad de 3.30m, 2.48m y 3.17m para las secciones 09, 13 y 15. Se puede mencionar que las variaciones en los resultados se deben a las características físicas de cada sección. Por lo que se puede mencionar que la ecuación de Artamonov permite estimar la socavación local

Socavación local	Medina Olivas, Yens Beker	Estudio de socavación en estructuras de protección ribereña fundadas sobre cauces variables del río Chillón – Puente Piedra en el 2017	2018	Menciona que los tipos de suelo intervienen en la socavación local, el autor sostiene que tanto la socavación local como el tipo de suelo poseen una relación negativa puesto que si el diámetro medio del cauce del río es menor la socavación sería mayor, esto se debe a que, ante el aumento o disminución de uno, la otra variable se comportaría de forma contraria.	Se empleó el método de Lischtván-Levediev considerando una variación en el diámetro medio que fue obtenida del análisis granulométrico realizado a las muestras de las calicatas, este método también fue aplicado en tres secciones y se obtuvo una profundidad de socavación de 3.83m, 3.18m y 2.38 para la sección 09, a su vez para la sección 13 se tiene valores de 3.47m, 2.92m y 2.23m y para la sección 15 se obtuvo 3.50m, 2.90m y 2.14m. Demostrando con ello que efectivamente, existe una relación entre el diámetro de las partículas del suelo del río y la socavación, puesto que al ser mayor una de estas dos variables, la otra tendría una conducta contraria
------------------	---------------------------	--	------	--	---

Socavación	Guanocunga Choca, Rodolfo Rodrigo	Investigación- hidráulica de socavación y protecciones de estructuras, tramo del río Capelo y río San Pedro, sector Armenia I, Cantón Quito.	2019	<p>Sostiene que los métodos con los que se estudia la profundidad de la socavación tienen una variación en función de los coeficientes de cada fórmula de estos métodos empíricos. Y que con la aplicación de estos es posible medir o estimar la socavación ya que estas permiten simular los cambios generados a partir de las características propias del cauce.</p>	<p>Con el empleo de los métodos empíricos se obtuvo una socavación de 5.41m. mientras que con la modelación del programa HEC-RAS se obtuvo una socavación total de 4.98m. Asimismo, considerando al río de pendiente alta y la socavación en muros de defensa ribereña se logró obtener diferentes resultados, estos mostraron una dependencia en función al método empleado. Por lo cual se puede mencionar que los métodos empíricos permiten analizar la socavación en muros de defensa ribereña teniendo en cuenta los parámetros y características propias del cauce, y se considera al método más conservador que tenga una mayor dependencia de los factores anteriormente mencionados.</p>
------------	--	---	------	---	--

## **V. CONCLUSIONES**

**Primera conclusión:**

Se concluye que, para calcular la socavación general en los muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente, se estimó un caudal de 350.98 m<sup>3</sup>/seg, el cual fue determinado teniendo en cuenta el registro histórico de los caudales y con ello se determinó que el método de distribución de Log Pearson tipo III era el que más se ajustaba a los datos en análisis. Y al emplearse el método de Lischtván-Levediev se obtuvo como resultado una socavación general de 2.24m., mientras que con el método de Blench se estimó 5.52m., en ambos métodos se realizó la estimación para un periodo de retorno de 100 años.

**Segunda conclusión:**

Con referencia a la socavación local en muros de defensa ribereña, se empleó el método Lischtván-Levediev considerando una variación en el diámetro medio, cuyos resultados fueron obtenidos del análisis granulométrico, con ello se definió que mientras mayor sea el diámetro medio menor será la socavación, obteniéndose así una variación en los resultados de las secciones en estudio. Para la sección 09 se obtuvo como resultado 3.83m, 3.18m. y 2.38m., para la sección 13 se estimó 3.47m., 2.92m. y 2.23m. y para la sección 15 se calculó 3.50m., 2.90m. y 2.14m. A su vez se empleó también el método de Artamonov obteniéndose los siguientes resultados: 3.30m, 2.48m. y 3.17m. para las secciones 09, 13 y 15 respectivamente. Por ello, se concluye que la variación entre los resultados obtenidos en los métodos empíricos se debe a que cada uno considera diferentes condiciones iniciales y se desarrolla bajo distintos parámetros.

**Tercera conclusión:**

Con referencia al modelamiento del programa HEC-RAS se obtuvo una socavación total de 4.98m. para un periodo de retorno de 100 años y con un caudal estimado de 350.98 m<sup>3</sup>/seg mientras que con la aplicación de las fórmulas empíricas se obtuvo una socavación de 5.41m. Tanto los métodos empíricos como el modelamiento del programa HEC-RAS dependen del caudal estimado, parámetros y condiciones iniciales del cauce.

**Cuarta conclusión:**

Se concluye que, de acuerdo a los resultados obtenidos el método que brinda un resultado más desfavorable y que debe ser considerado para el diseño de una adecuada cimentación es el del método de Blench donde se obtuvo un resultado de 5.52m. que es mayor al obtenido con el método de Lischtván-Levediev, el cual fue 2.24m. y a la profundidad de 4.98m obtenida con el modelamiento en el software de HEC-RAS.

## **VI. RECOMENDACIONES**

**Primera recomendación:**

Teniendo en cuenta la socavación general generada naturalmente por el transcurso de los años, se le recomienda a la Municipalidad Distrital de Chosica-Lurigancho, tener en consideración los parámetros evaluados que está afectando el cauce natural del río. Asimismo, considerando que la zona en estudio se encuentra ubicado en uno de los puntos más vulnerables y propensos a los constantes huaycos se recomienda evaluar los muros de defensa ribereña existente después de las máximas avenidas para así determinar la socavación producida y decidir qué medidas preventivas se llevaran a cabo, de esta manera se podría evitar o reducir el propenso riesgo de colapso de estos muros.

**Segunda recomendación:**

Teniendo en cuenta el cálculo de socavación estimado para los muros de defensa ribereña se recomienda realizar en toda la zona un estudio hidrológico e hidráulico que sirva posteriormente de apoyo para diseñar una cimentación de las obras hidráulicas con una adecuada profundidad, puesto que se ha podido observar en algunos tramos que parte de la cimentación se encuentra expuesta, debido a que al momento de diseñar se consideró una cimentación poco profunda.

**Tercera recomendación:**

Dado la ubicación de la zona en estudio se recomienda la realización de proyectos para continuar con la construcción de las defensas ribereñas, puesto que muchas de las existentes colapsaron por el fenómeno del niño. Por lo cual se recomienda a la municipalidad realizar los estudios necesarios y construir defensas ribereñas que puedan proteger a la población ante una inundación.

**Cuarta recomendación:**

Teniendo en cuenta la variación en los resultados que se puede obtener al estimar la socavación se recomienda realizar el análisis de está considerando los distintos parámetros y condiciones iniciales del cauce. Asimismo, se recomienda, el empleo de varios métodos empíricos que permitan analizar la variación de la socavación y con ello escoger a la mayor profundidad para el diseño de la cimentación del muro de defensa ribereña.



## **REFERENCIAS**

ALVAREZ Moreno, Cristian Camilo, CAICEDO Rojas, Gabriel Alfonso y MORENO Barco , Diego Alejandro. Análisis de Flujo del Río Negro en el km20+100, Vía Pacho-La Palma para establecer alternativas que mitiguen la socavación mediante la elaboración de un modelo hidráulico. Tesis (Ingeniero Civil). Bogotá D.C.: Universidad de la Salle, 2007. 199 pp.

ARIAS, Fidias. El Proyecto de Investigación Introducción a la metodología científica. 6.<sup>a</sup> ed. Caracas: Editorial EPISTEME, C.A., 2012. 146 pp.  
ISBN: 9800785299

ASHWORTH, Philip J. and FERGUSON, Robert I. Size-Selective Entrainment of bed load in Gravel Bed Streams. Water Resources Research. 25 [4]: 627-634, 1989  
ISSN: 0043-1397

BARBOSA Gil, Sebastian. Metodología para calcular la profundidad de socavación general en ríos de montaña (lecho de gravas). Tesis (Magister en Ingeniería - Recurso Hidráulicos ). Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2015. 151 pp.

BASILE, Pedro Abel. Transporte de sedimentos y morfodinámica de ríos aluviales. Rosario: Universidad Nacional de Rosario, 2018. 473 pp.  
ISBN: 9789877022575

BEHAR Rivero, Daniel Salomón. Introducción a la Metodología de la Investigación. Bogotá: Editorial Shalom, 2008. 94 pp.  
ISBN: 9789592127837

BORJA Suárez, Manuel. Metodología de la Investigación Científica para ingenieros. Chiclayo: [s.n.], 2012. 38 pp.

CASTELLANOS Hernández, Yamid. 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 CIL 15, aplicando soluciones de ingeniería. Tesis (Ingeniero Civil). Villavicencio: Universidad Santo Tomás, 2018. 129 pp.

CASTRO Toro, Iván. Evaluación de la socavación al pie de los muros de encauzamiento del río Amojú, Zona Urbana - Jaén. Tesis (Ingeniero Civil). Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca, 2015. 107 pp.

CHOW, Ven te. Hidráulica de canales abiertos. Santafé de Bogotá: McGRAW-Hill, 1994. 667 pp.  
ISBN: 9586002284

DÍAZ Yánez, Juan Carlos. Análisis comparativo de las relaciones funcionales para el cálculo de la profundidad de socavación alrededor de obstáculos. Tesis (Ingeniero Civil). Quito: Universidad Central de Ecuador, 2015. 174 pp.

ENRIQUEZ Soto, Amador. Modelo de socavación en la base del pilar del puente Mariscal Cáceres. Tesis (Ingeniería Civil). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2013. 170pp.

FRANCO Idarraga, Freddy Leonardo. Respuestas y propuestas ante el riesgo de inundaciones de las ciudades colombianas. Revista de Ingeniería. Bogotá: Universidad de los Andes, 2010. 108 pp.

GUANOCUNGA Choca, Rodolfo Rodrigo. Investigación hidrológica - hidráulica de socavación y protecciones de estructuras, tramos del río Capelo y río San Pedro, sector Armenia 1, Cantón Quito. Tesis (Ingeniero Civil). Quito: Universidad Central del Ecuador, 2019. 229 pp.

GUFFANTE Naranjo, Tania, GUFFANTE Naranjo, Fernando y CHÁVEZ Hernández, Patricio. Investigación Científica - El Proyecto de Investigación. Riobamba : Universidad Nacional de Chimborazo, 2016. 108 pp.

HERNÁNDEZ Martínez, Diego Alberto y MONTAÑA Ríos, Diego José. Estimación de la socavación en el Río Fonce (San Gil, Santander) bajo condiciones de caudales mínimos y mediante el método de momentos estadísticos iniciales y centrales. Tesis (Ingeniero Civil). Bogotá D.C.: Universidad Militar Nueva Granada, 2016. 67 pp.

HERNÁNDEZ Sampieri, Roberto, FERNÁNDEZ Collado, Carlos y BAPTISTA Lucio, Pilar. 2014. Metodología de la investigación. 6.<sup>a</sup> ed. México D.F.: Mc Graw Hill Education, 2014. 634 pp.

ISBN: 9781456223960

HUARIPOMA Barrientos, Roland. Estudio hidrológico e hidráulico de la defensa ribereña de la comunidad de Vilcanchos. Tesis (Ingeniero Civil). Ayacucho: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, 2015. 291 pp.

LEÓN Chávez, Luis Andrés. Evaluación de la socavación del cauce del río Crisnejas Adyacente al muro de encausamiento, en el ámbito geográfico del centro poblado de Aguas Calientes - San Marcos - Cajamarca. Tesis (Doctor en Ciencias). Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca, 2016. 73 pp.

MARTÍN Vide, Juan Pedro. Ingeniería de ríos. Barcelona: Alfamega Grupo Editor S.A., 2003. 338 pp.

ISBN: 970150819.

MEDINA OLIVAS, Yens Beker. Estudio de socavación en estructuras de protección ribereña fundadas sobre cauces variables del río Chillón - Puente Piedra en el 2017. Tesis (Ingeniero Civil). Lima: Universidad César Vallejo, 2018. 111pp.

MEJIA Marcacuzco, Jesus Abel. Hidrología Aplicada. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, 2006. 207 pp.

NAVA Hernández, Alejandra y CORTES Chow, Darío. Hidráulica de Ríos - Morfología, técnicas de medición y muestreo en ríos. Tesis (Ingeniero Civil). México: Instituto Politécnico Nacional, 2012. 78 pp.

NIÑO Rojas, Victor Miguel. Metodología de la Investigación. Bogotá: Ediciones de la U, 2011. 156 pp.

ISBN: 9789588675947

PACHECO, Patricio. Construcción y validación de los instrumentos. Revista Internacional de Educación y Aprendizaje, 3 (1): 172-196, 2016.

ISSN 2255-453

PALELLA Stracuzzi, Santa y MARTINS Pestana, Feliberto. Metodología de la Investigación Cuantitativa. Caracas: Fondo Editorial de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador, 2012. 272 pp.

ISBN: 9802734454

RAMOS Moreno, Alfredo y PACHECO Fontalvo, José Antonio. Análisis hidrológico e hidráulico de la cuenca del río frío, municipios de Ciénaga y zona bananera, departamento del Magdalena. Bogota. Revista LOGOS CIENCIA & TECNOLOGÍA, Vol.9 (01): 156-178, 2017.

ISSN: 2422-4200

ROCHA Felices, Arturo. Introducción a la hidráulica fluvial. Lima: Univerisdad Nacional de Ingeniería, 1998. 285 pp.

RODRÍGUEZ Díaz, Héctor Alfonso. Hidráulica Fluvial. Fundamentos y aplicaciones. Socavación. [s.l].: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2010. 124 pp.

RODRÍGUEZ Ruiz, Pedro. Hidráulica II. Oaxaca: Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, 2008. 480 pp.

SUÁREZ Díaz, Jaime. Control de Erosión en zonas tropicales. Bucaramanga: Instituto de Investigaciones sobre erosión y deslizamientos, 2001. 556 pp.

ISBN: 9583327344

TAPIA Rodríguez, Gustavo, y otros. 2012. Metodología para la medición de la velocidad de flujo en un río en el diagnóstico de la socavación de un puente, utilizando un dispositivo electrónico. Instituto Mexicano del Transporte, (356): 12-78, 2012.

ISSN: 0188-7297

TICONA Cansaya, Rudy Aurelio. Estudio Hidrológico para la propuesta de construcción de una defensa ribereña ante amenazas de derrumbes por la crecida del río Patambuco en el sector de Puna Ayllu del distrito de Patambuco, provincia de Sandia - Puno. Tesis (Ingeniero Civil). Juliaca: Universidad Andina Nestor Caceres, 2018. 185 pp.

TOAPAXI, Jorge, y otros. 2015. Análisis de la socavación en Cauces Naturales. Revista Politécnica, 35 (3): 83-93, 2015.

ISSN: 1390-0129

VILCHEZ Cerna, Jonathan Hernan y TOLEDO Mejía, Walter Luis. Alternativas de solución para prevenir la socavación en el río Rimac, entre los puentes Libertadores y Talavera, distrito de El Agustino. Tesis (Ingeniero Civil). Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2018. 168 pp.

VILLÓN Béjar, Máximo. Hidráulica de canales. Lima: Editorial Villón, 2007. 508pp.

ISBN: 99778660816

Villón Béjar, Máximo. Hidrología. Lima: Villón, 2002. 216pp.

ISBN: 9789977662770

## **ANEXOS**

**Anexo 01: Matriz de consistencia**

**Título:** Socavación en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente – Río Rímac zona del Pedregal, distrito de Lurigancho, Lima en el 2019

**Autor:** Josselyn Vanessa Lugo Espinoza

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores
<p><b>Problema General:</b></p> <p>¿Cuánto es la socavación en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente - Río Rímac zona del Pedregal, distrito de Lurigancho, Lima en el 2019?</p>	<p><b>Objetivo General:</b></p> <p>Determinar la socavación en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente – Río Rímac zona del Pedregal, distrito de Lurigancho, Lima en el 2019.</p>	<p><b>Hipótesis General:</b></p> <p>La socavación en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente es significativa – Río Rímac zona del Pedregal, distrito de Lurigancho, Lima en el 2019</p>	<p><b>Variable 1</b> Ríos de alta pendiente.</p> <p><b>Variable 2</b> Socavación en muros de defensa ribereña</p>	<p>D1: Geometría de sección</p>	<p>I1: Sección en U I2: Sección en V I3: Sección mixta</p>
<p><b>Problema Específico</b></p> <p>¿Cuánto es la socavación general en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente – Río Rímac zona del Pedregal, distrito de Lurigancho, Lima en el 2019?</p>	<p><b>Objetivos Específicos:</b></p> <p>Analizar la socavación general en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente – Río Rímac zona del Pedregal, distrito de Lurigancho, Lima en el 2019.</p>	<p><b>Hipótesis Específicas</b></p> <p>La socavación general en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente es considerable – Río Rímac zona del Pedregal, distrito de Lurigancho, Lima en el 2019.</p>		<p>D2: Características hidráulicas.</p> <p>D3: Características de planta</p>	<p>I1: Caudal I2: Velocidad I3: Tipo de flujo</p> <p>I1: Trensado I2: Meándricos I3: Rectos</p>
<p>¿Cuánto es la socavación local en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente – Río Rímac zona del Pedregal, distrito de Lurigancho, Lima en el 2019?</p>	<p>Calcular la socavación local en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente – Río Rímac zona del Pedregal, distrito de Lurigancho, Lima en el 2019.</p>	<p>La socavación local en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente es considerable – Río Rímac zona del Pedregal, distrito de Lurigancho, Lima en el 2019.</p>		<p>D1: Socavación General</p> <p>D2: Socavación Local</p>	<p>I1: Parámetros referentes al cauce I2: Parámetros hidráulicos I3: Parámetros geométricos</p> <p>I1: Parámetros referentes al cauce I2: Parámetros hidráulicos I3: Parámetros geométricos</p>



**Anexo 02: Matriz de operacionalización de variables**

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Instrumento	Escala
Variable V1: Ríos de alta pendiente	Según (Nava Hernández , y otros, 2012 pág. 27) los tramos de ríos de pendiente alta tienen pendientes superiores al 3% y las velocidades de flujo resultan tan altas que pueden mover como carga de fondo sedimentos de diámetros mayores de 5 centímetros.	La variable de ríos de alta pendiente se analizará en función de sus dimensiones: Geometría de sección, características hidráulicas, características de planta y a su vez cada una de las dimensiones se dividen en tres indicadores	Geometría de sección	Sección en U	Ficha de recopilación de información	Valor
				Sección en V		
				Sección mixta		
			Características hidráulicas	Caudal		
				Velocidad		
				Tipo de flujo		
			Características de planta	Rectos		
				Meándricos		
				Trenzado		
Variable V2: Socavación en muros de defensa ribereña	Según (Suárez Díaz, 2001 pág. 135) La socavación consiste en la profundización del nivel del fondo del cauce de una corriente causada por el aumento del nivel de agua en las avenidas, modificaciones en la morfología del cauce o por la construcción de estructuras en el cauce como puentes, espigones, etc.	La variable de socavación en muros de defensa ribereña se analizará en función de sus dimensiones: socavación general, socavación local y a su vez cada una de las dimensiones se dividen en tres indicadores	Socavación General	Parámetros referentes al cauce	Ficha de recopilación de información	Valor
				Parámetros hidráulicos		
				Parámetros geométricos		
			Socavación Local	Parámetros referentes al cauce		
				Parámetros hidráulicos		
				Parámetros geométricos		

Anexo 03: Ficha de recopilación de datos



FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS						EXPERTO 1
PROYECTO: "ANÁLISIS DE SOCAVACIÓN EN MUROS DE DEFENSA RIBEREÑA EN RÍOS DE ALTA PENDIENTE – RÍO RÍMAC ZONA DEL PEDREGAL, DISTRITO DE LURIGANCHO, LIMA EN EL 2019" AUTOR: LUGO ESPINOZA JOSSELYN VANESSA						
I	INFORMACIÓN GENERAL:					1
	UBICACIÓN:					
	DISTRITO:	LURIGANCHO	ALTITUD:			
	PROVINCIA:	LIMA	LATITUD:			
	REGIÓN:	PERÚ	LONGITUD:			
II	GEOMETRÍA DE SECCIÓN					1
	Sección en U		Sección en V		Sección mixta	
III	CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS					1
	Caudal		Velocidad		Tipo de flujo	
IV	CARACTERÍSTICAS DE PLANTA					1
	Trenzados		Meándricos		Rectos	
V	SOCAVACIÓN GENERAL					1
	Parámetros referentes al cauce		Parámetros Hidráulicos		Parámetros geométricos	
VI	SOCAVACIÓN LOCAL					1
	Parámetros referentes al cauce		Parámetros Hidráulicos		Parámetros geométricos	
APELLIDOS Y NOMBRES:		PADILLA - Pichay Santa R.				
PROFESIÓN:		ING. CIVIL				
REGISTRO CIP N°		51630				
EMAIL:		spadilla@ucv.edu.pe				
TELÉFONO:		941724761				

  
 SANTOS RICARDO PADILLA PICHAY  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP 51630



FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS							EXPERTO 2
<b>PROYECTO:</b> "ANÁLISIS DE SOCAVACIÓN EN MUROS DE DEFENSA RIBEREÑA EN RÍOS DE ALTA PENDIENTE – RÍO RÍMAC ZONA DEL PEDREGAL, DISTRITO DE LURIGANCHO, LIMA EN EL 2019" <b>AUTOR:</b> LUGO ESPINOZA JOSSELYN VANESSA							
I	INFORMACIÓN GENERAL:						0.79
	UBICACIÓN:						
	DISTRITO:	LURIGANCHO	ALTITUD:				
	PROVINCIA:	LIMA	LATITUD:				
	REGIÓN:	PERÚ	LONGITUD:				
II	GEOMETRÍA DE SECCIÓN						0.85
	Sección en U		Sección en V		Sección mixta		
III	CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS						0.90
	Caudal		Velocidad		Tipo de flujo		
IV	CARACTERÍSTICAS DE PLANTA						0.86
	Trenzados		Meándricos		Rectos		
V	SOCAVACIÓN GENERAL						1.00
	Parámetros referentes al cauce		Parámetros Hidráulicos		Parámetros geométricos		
VI	SOCAVACIÓN LOCAL						1.00
	Parámetros referentes al cauce		Parámetros Hidráulicos		Parámetros geométricos		
APELLIDOS Y NOMBRES:		VARGAS CHACALTANA LUIS ALBERTO					
PROFESIÓN:		INGENIERO CIVIL					
REGISTRO CIP N°		194542					
EMAIL:		lvargaschaca@gmail.com					
TELÉFONO:		982328761					
							0.90

  
 LUIS ALBERTO VARGAS CHACALTANA  
 INGENIERO CIVIL



FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS						EXPERTO 2
PROYECTO: "ANÁLISIS DE SOCAVACIÓN EN MUROS DE DEFENSA RIBEREÑA EN RÍOS DE ALTA PENDIENTE – RÍO RÍMAC ZONA DEL PEDREGAL, DISTRITO DE LURIGANCHO, LIMA EN EL 2019" AUTOR: LUGO ESPINOZA JOSSELYN VANESSA						
I	INFORMACIÓN GENERAL:					1
	UBICACIÓN:					
	DISTRITO:	LURIGANCHO	ALTITUD:			
	PROVINCIA:	LIMA	LATITUD:			
	REGIÓN:	PERÚ	LONGITUD:			
II	GEOMETRÍA DE SECCIÓN					0,90
	Sección en U		Sección en V		Sección mixta	
III	CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS					0,95
	Caudal		Velocidad		Tipo de flujo	
IV	CARACTERÍSTICAS DE PLANTA					0,87
	Trenzados		Meándricos		Rectos	
V	SOCAVACIÓN GENERAL					0,90
	Parámetros referentes al cauce		Parámetros Hidráulicos		Parámetros geométricos	
VI	SOCAVACIÓN LOCAL					0,90
	Parámetros referentes al cauce		Parámetros Hidráulicos		Parámetros geométricos	
APELLIDOS Y NOMBRES:		ALTAMIRANO PARDÓ EMELI				
PROFESIÓN:		INGENIERO CIVIL				
REGISTRO CIP N°		126650				
EMAIL:		juntacivil12@gmail.com				
TELÉFONO:		966 290 402				0,92

  
 EMELI ALTAMIRANO PARDÓ  
 ING. CIVIL  
 CIP 126650

# Anexo 04: Resultados de estudios de suelos



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA Nº 009384

Facultad de Ingeniería Civil  
Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S19 - 885-1-1

SOLICITANTE : JOSSELYN VANESSA LUGO ESPINOZA  
 PROYECTO : SOCAVACIÓN EN MUROS DE DEFENSA RIBEREÑA EN RÍOS DE ALTA PENDIENTE  
 RÍO RÍMAC, ZONA DEL PEDREGAL, DISTRITO DE LURIGANCHO  
 UBICACIÓN : PEDREGAL, CHOSICA, DISTRITO DE LURIGANCHO  
 FECHA : 01 DE OCTUBRE 2019

### REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-1  
 Prof. (m.) : 1.40

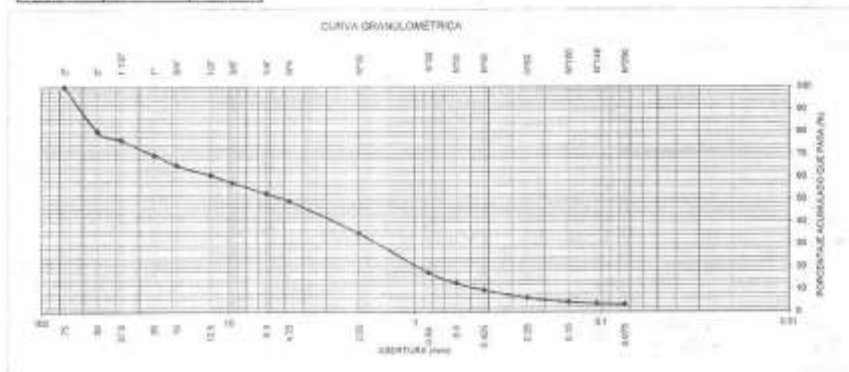
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - REFERENCIA ASTM D6913 / D6913M  
 Procedimiento interno AT-PR.4 - Método "A"

Tamiz	Abertura (mm)	(%) Parcial Retenido	(%) Acumulado Retenido	Pasa
3"	75.000	-	-	100
2"	50.000	20	20	80
1 1/2"	37.500	4	24	76
1"	25.000	7	30	70
3/4"	19.000	4	35	65
1/2"	12.500	8	39	61
3/8"	9.500	3	43	57
1/4"	6.300	5	47	53
N°4	4.750	3	51	49
N°10	2.000	14	65	35
N°20	0.850	17	83	17
N°30	0.600	5	87	13
N°40	0.425	3	90	10
N°60	0.250	3	94	6
N°100	0.150	2	96	4
N°140	0.105	1	96	4
N°200	0.075	0	97	3
FONDO		3		

% Grava	51
% Arena	46
% Finos	3

LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318	
Procedimiento interno AT-PR.5	
Límite Líquido	NP
Límite Plástico	NP
Índice Plástico	NP

Clasificación SUCS ASTM D2487 : GP



Nota:  
 Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.  
 Los datos del solicitante, proyecto, procedimiento e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Tlc. R. Quiroz B.  
 Aprobación : Ing. D. Basurto R. / Ing. D. Ramirez F.



*J. E. L.*  
 Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS  
 Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos  
 Facultad de Ingeniería Civil - UNI

Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Apartado 1301 - Perú  
 Teléfono: (511) 381-3842, Central Telefónica: 481-1070 Anexo 4019  
 e-mail: lms\_fic@uni.edu.pe, lms\_servicios@uni.edu.pe







**Facultad de Ingeniería Civil**  
Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S19 - 885-1-1

SOLICITANTE : JOSSELYN VANESSA LUGO ESPINOZA  
 PROYECTO : SOCAVACIÓN EN MUROS DE DEFENSA RIBEREÑA EN RÍOS DE ALTA PENDIENTE  
 RÍO RÍMAC, ZONA DEL PEDREGAL, DISTRITO DE LURIGANCHO  
 UBICACIÓN : PEDREGAL, CHOSICA, DISTRITO DE LURIGANCHO  
 FECHA : 01 DE OCTUBRE 2019

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO - REFERENCIA ASTM D3080**

Procedimiento interno AT-PR.9

Estado : Remoldeado (material < Tamiz N° 4)  
 Calicata : C-1  
 Prof. (m.) : 1.40

Especimen N°	I	II	III
Diametro del anillo (cm)	6.36	6.36	6.36
Altura Inicial de la muestra (cm)	2.41	2.41	2.41
Densidad húmeda inicial (g/cm <sup>3</sup> )	1.768	1.768	1.768
Densidad seca inicial (g/cm <sup>3</sup> )	1.733	1.733	1.733
Cont. de humedad inicial (%)	2.0	2.0	2.0
Altura de la muestra antes de aplicar el esfuerzo de corte (cm)	2.36	2.33	2.32
Altura final de la muestra (cm)	2.35	2.32	2.31
Densidad húmeda final (g/cm <sup>3</sup> )	2.091	2.099	2.102
Densidad seca final (g/cm <sup>3</sup> )	1.774	1.795	1.805
Cont. de humedad final (%)	17.9	16.9	16.5
Esfuerzo normal (kg/cm <sup>2</sup> )	0.5	1.0	1.5
Esfuerzo de corte máximo (kg/cm <sup>2</sup> )	0.360	0.704	1.066
Angulo de fricción interna :	35.2 °		
Cohesión (kg/cm <sup>2</sup> ) :	0.00		

**Nota:**

Los especímenes se remoldearon con la densidad seca promedio de las densidades máxima - mínima y la humedad natural de la muestra.

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra que fueron proporcionadas por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. R. Quiroz S.  
 Aprobación : Ing. D. Basurto R. / Ing. B. Ramirez P.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS  
 Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos  
 Facultad de Ingeniería Civil - UNI





INFORME N° S19 - 885-1-1

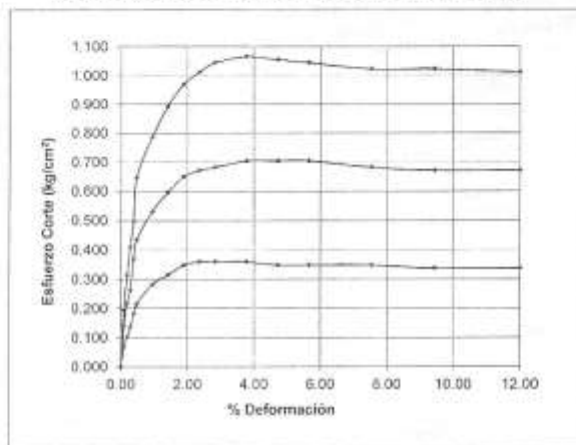
SOLICITANTE : JOSSELYN VANESSA LUGO ESPINOZA  
 PROYECTO : SOCAVACIÓN EN MUROS DE DEFENSA RIBEREÑA EN RÍOS DE ALTA PENDIENTE  
 RÍO RIMAC, ZONA DEL PEDREGAL, DISTRITO DE LURIGANCHO  
 UBICACIÓN : PEDREGAL, CHOSICA, DISTRITO DE LURIGANCHO  
 FECHA : 01 DE OCTUBRE 2019

ENSAYO DE CORTE DIRECTO - REFERENCIA ASTM D3080

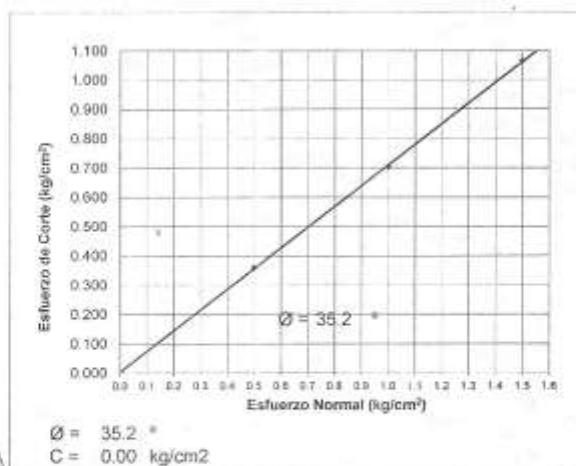
Procedimiento interno AT-PR.9

Estado : Remoldeado (material < Tamiz N° 4)  
 Calicata : C-1  
 Prof. (m.) : 1.40

% DEFORMACIÓN TANGENCIAL vs. ESFUERZO DE CORTE



ESFUERZO NORMAL vs. ESFUERZO DE CORTE



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS  
 Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos  
 Facultad de Ingeniería Civil - UNI



Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Apartado 1301 - Perú  
 Teléfono: (511) 381-3842, Central Telefónica: 481-1070 Anexo 4019  
 e-mail: lms\_fic@uni.edu.pe, lms.servicios@uni.edu.pe

Carretera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering  
 Technology  
 Accreditation  
 Commission



**Facultad de Ingeniería Civil**  
Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S19 - 885-1-2

SOLICITANTE : JOSSELYN VANESSA LUGO ESPINOZA  
PROYECTO : SOCAVACIÓN EN MUROS DE DEFENSA RIBEREÑA EN RÍOS DE ALTA PENDIENTE  
RÍO RÍMAC, ZONA DEL PEDREGAL, DISTRITO DE LURIGANCHO  
UBICACIÓN : PEDREGAL, CHOSICA, DISTRITO DE LURIGANCHO  
FECHA : 01 DE OCTUBRE 2019

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-1  
Prof. (m.) : 1.40

MATERIAL QUE PASA LA MALLA N° 4

DENSIDAD MAXIMA NLT-205  
Densidad máxima (g/cm<sup>3</sup>) : 2.003

DENSIDAD MINIMA NLT-204  
Densidad mínima (g/cm<sup>3</sup>) : 1.462

*Nota:*

*Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.*

*Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.*

Ejecución : Téc. R. Quinz S.

Aprobación : Ing. D. Basurto R. / Ing. B. Ramirez P.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS  
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos  
Facultad de Ingeniería Civil - UNI





Facultad de Ingeniería Civil  
Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S19 - 885-2

SOLICITANTE : JOSSELYN VANESSA LUGO ESPINOZA  
 PROYECTO : SOCAVACIÓN EN MUROS DE DEFENSA RIBEREÑA EN RÍOS DE ALTA PENDIENTE  
 RÍO RÍMAC. ZONA DEL PEDREGAL, DISTRITO DE LURIGANCHO  
 UBICACIÓN : PEDREGAL, CHOSICA, DISTRITO DE LURIGANCHO  
 FECHA : 01 DE OCTUBRE 2019

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-2  
 Prof. (m.) : 1.80

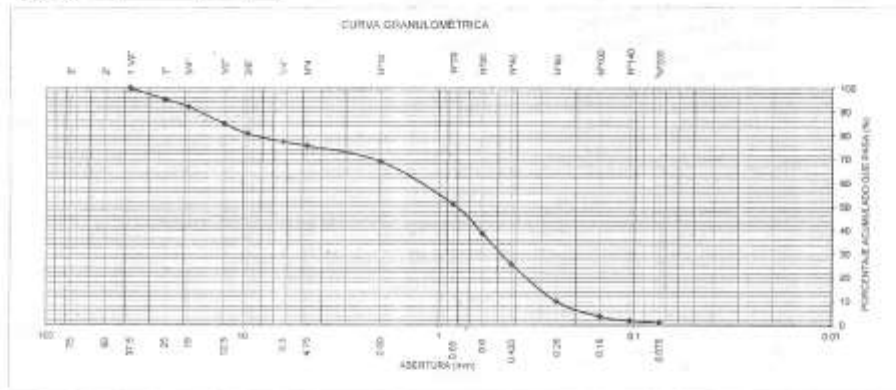
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - REFERENCIA ASTM D6913 / D6913M  
 Procedimiento interno AT-PR.4 - Método "A"

Tamiz	Abertura (mm)	Parcial Retenido (%)	(%) Acumulado	
			Retenido	Pasa
3"	75.000	-	-	-
2"	50.000	-	-	-
1 1/2"	37.500	-	-	100
1"	25.000	5	5	95
3/4"	19.000	3	8	92
1/2"	12.500	7	15	85
3/8"	9.500	4	19	81
1/4"	6.300	3	23	77
N°4	4.750	2	24	76
N°10	2.000	7	31	69
N°20	0.850	10	49	51
N°30	0.600	13	61	39
N°40	0.425	13	74	26
N°60	0.250	16	80	10
N°100	0.150	6	96	4
N°140	0.106	2	98	2
N°200	0.075	1	99	1
FONDO		1		

% Grava	24
% Arena	75
% Finos	1

LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318 Procedimiento interno AT-PR.5	
Límite Líquido	NP
Límite Plástico	NP
Índice Plástico	NP

Clasificación SUCS ASTM D2487 : SP



**Nota**

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.  
 Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. R. Quirós S.

Aprobación : Ing. D. Basurto R. / Ing. D. Basurto R.



*[Handwritten Signature]*

Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS  
 Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos  
 Facultad de Ingeniería Civil - UNI





## Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

## INFORME N° S19 - 885-2

SOLICITANTE : JOSSELYN VANESSA LUGO ESPINOZA  
 PROYECTO : SOCAVACIÓN EN MUROS DE DEFENSA RIBEREÑA EN RÍOS DE ALTA PENDIENTE  
 RÍO RÍMAC, ZONA DEL PEDREGAL, DISTRITO DE LURIGANCHO  
 UBICACIÓN : PEDREGAL, CHOSICA, DISTRITO DE LURIGANCHO  
 FECHA : 01 DE OCTUBRE 2019.

## ENSAYO DE CORTE DIRECTO - REFERENCIA ASTM D3080

Procedimiento interno AT-PR.9

Estado : Remoldeado (material < Tamiz N° 4)  
 Calicata : C-2  
 Prof. (m.) : 1.80

Especimen N°	I	II	III
Diametro del anillo (cm)	6.36	6.36	6.36
Altura Inicial de la muestra (cm)	2.41	2.41	2.41
Densidad húmeda inicial (g/cm <sup>3</sup> )	1.768	1.768	1.768
Densidad seca inicial (g/cm <sup>3</sup> )	1.732	1.732	1.732
Cont. de humedad inicial (%)	2.1	2.1	2.1
Altura de la muestra antes de aplicar el esfuerzo de corte (cm)	2.37	2.36	2.35
Altura final de la muestra (cm)	2.37	2.35	2.34
Densidad húmeda final (g/cm <sup>3</sup> )	2.142	2.140	2.134
Densidad seca final (g/cm <sup>3</sup> )	1.762	1.772	1.779
Cont. de humedad final (%)	21.5	20.8	19.9
Esfuerzo normal (kg/cm <sup>2</sup> )	0.5	1.0	1.5
Esfuerzo de corte máximo (kg/cm <sup>2</sup> )	0.341	0.673	1.013
Angulo de fricción interna :	33.9 °		
Cohesión (kg/cm <sup>2</sup> ) :	0.00		

## Nota:

Los especímenes se remoldearon con la densidad seca promedio de las densidades máxima - mínima del informe S19 - 885-1-2.

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra que fueron proporcionadas por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. R. Quiroz S.  
 Aprobación : Ing. D. Basurto R. / Ing. B. Ramirez P.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS  
 Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos  
 Facultad de Ingeniería Civil - UNI



Facultad de Ingeniería Civil
Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S19 - 885-2

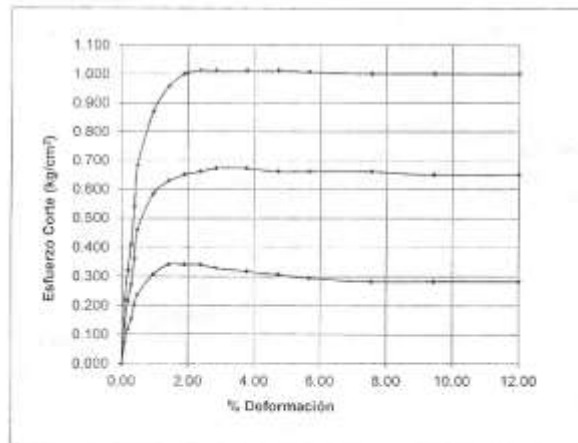
SOLICITANTE : JOSSELYN VANESSA LUGO ESPINOZA
PROYECTO : SOCAVACIÓN EN MUROS DE DEFENSA RIBEREÑA EN RÍOS DE ALTA PENDIENTE
RÍO RÍMAC, ZONA DEL PEDREGAL, DISTRITO DE LURIGANCHO
UBICACIÓN : PEDREGAL, CHOSICA, DISTRITO DE LURIGANCHO
FECHA : 01 DE OCTUBRE 2019

ENSAYO DE CORTE DIRECTO - REFERENCIA ASTM D3080

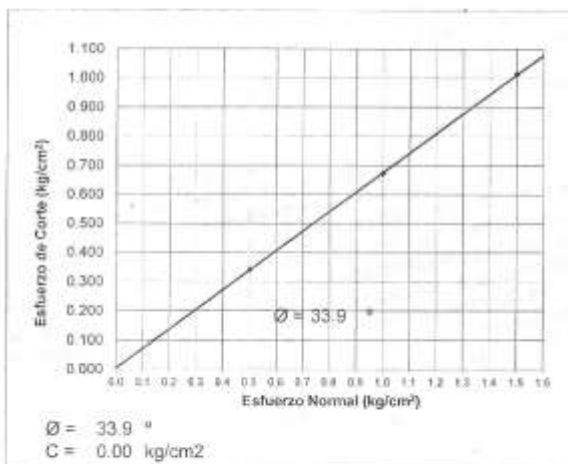
Procedimiento interno AT-PR.9

Estado : Remoldeado (material < Tamiz N° 4)
Calicata : C-2
Prof. (m.) : 1.80

% DEFORMACIÓN TANGENCIAL vs. ESFUERZO DE CORTE



ESFUERZO NORMAL vs. ESFUERZO DE CORTE



Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Apartado 1301 - Perú
Teléfono: (511) 381-3842, Central Telefónica: 481-1070 Anexo 4019
e-mail: lms\_fic@uni.edu.pe, lms.servicios@uni.edu.pe





Facultad de Ingeniería Civil
Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S19 - 885-3

SOLICITANTE : JOSSELYN VANESSA LUGO ESPINOZA
PROYECTO : SOCAVACIÓN EN MUROS DE DEFENSA RIBEREÑA EN RÍOS DE ALTA PENDIENTE
UBICACIÓN : PEDREGAL, CHOSICA, DISTRITO DE LURIGANCHO
FECHA : 01 DE OCTUBRE 2019

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-3
Prof. (m) : 1.60

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - REFERENCIA ASTM D6913 / D6913M
Procedimiento interno AT-PR.4 - Método "A"

Table with 5 columns: Tamiz, Abertura (mm), (%) Parcial Retenido, (%) Acumulado Retenido, (%) Acumulado Pasa. Rows include various sieve sizes from 3" down to FONDO.

Summary table: % Grava : 33, % Arena : 66, % Finos : 1

LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318
Procedimiento interno AT-PR.5
Limite Líquido : NP
Limite Plástico : NP
Indice Plástico : NP

Clasificación SUCS ASTM D2487 : SP



Nota:
Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.
Los datos del acápite, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. R. Quirós S.
Aprobación : Ing. D. Basurto R., Ing. S. Ramírez P.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCA S.
Jefa (a) Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI







**Facultad de Ingeniería Civil**  
Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S19 - 885-3

SOLICITANTE : JOSSELYN VANESSA LUGO ESPINOZA  
 PROYECTO : SOCAVACIÓN EN MUROS DE DEFENSA RIBEREÑA EN RÍOS DE ALTA PENDIENTE  
 RÍO RÍMAC, ZONA DEL PEDREGAL, DISTRITO DE LURIGANCHO  
 UBICACIÓN : PEDREGAL, CHÓSICA, DISTRITO DE LURIGANCHO  
 FECHA : 01 DE OCTUBRE 2019

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO - REFERENCIA ASTM D3080**

Procedimiento interno AT-PR 9

Estado : Remoldeado (material < Tamiz N° 4)  
 Calicata : C-3  
 Prof. (m.) : 1.60

Especimen N°	I	II	III
Diametro del anillo (cm)	6.36	6.36	6.36
Altura Inicial de la muestra (cm)	2.41	2.41	2.41
Densidad húmeda inicial (g/cm <sup>3</sup> )	1.768	1.768	1.768
Densidad seca inicial (g/cm <sup>3</sup> )	1.732	1.732	1.732
Cont. de humedad inicial (%)	2.1	2.1	2.1
Altura de la muestra antes de aplicar el esfuerzo de corte (cm)	2.39	2.38	2.37
Altura final de la muestra (cm)	2.39	2.37	2.36
Densidad húmeda final (g/cm <sup>3</sup> )	2.109	2.109	2.111
Densidad seca final (g/cm <sup>3</sup> )	1.747	1.758	1.770
Cont. de humedad final (%)	20.6	19.9	19.3
Esfuerzo normal (kg/cm <sup>2</sup> )	0.5	1.0	1.5
Esfuerzo de corte máximo (kg/cm <sup>2</sup> )	0.345	0.680	1.022
Angulo de fricción interna :	34.1 °		
Cohesión (kg/cm <sup>2</sup> ) :	0.00		

**Nota**

Los especímenes se remoldearon con la densidad seca promedio de las densidades máxima - mínima del Informe S19 - 885-1-2.  
 Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra que fueron proporcionadas por el cliente.  
 Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. R. Quiroz S.  
 Aprobación : Ing. D. Basurto R. / Ing. B. Ramirez P.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS  
 Jefa (a) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos  
 Facultad de Ingeniería Civil - UNI





INFORME N° S19 - 885-3

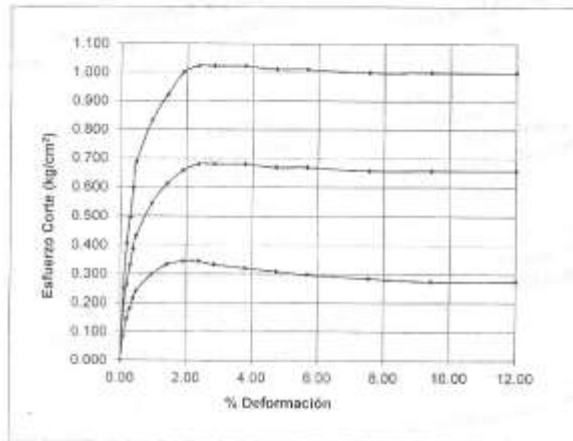
SOLICITANTE : JOSSELYN VANESSA LUGO ESPINOZA
PROYECTO : SOCAVACIÓN EN MUROS DE DEFENSA RIBEREÑA EN RÍOS DE ALTA PENDIENTE
RÍO RIMAC, ZONA DEL PEDREGAL, DISTRITO DE LURIGANCHO
UBICACIÓN : PEDREGAL, CHOSICA, DISTRITO DE LURIGANCHO
FECHA : 01 DE OCTUBRE 2019

ENSAYO DE CORTE DIRECTO - REFERENCIA ASTM D3080

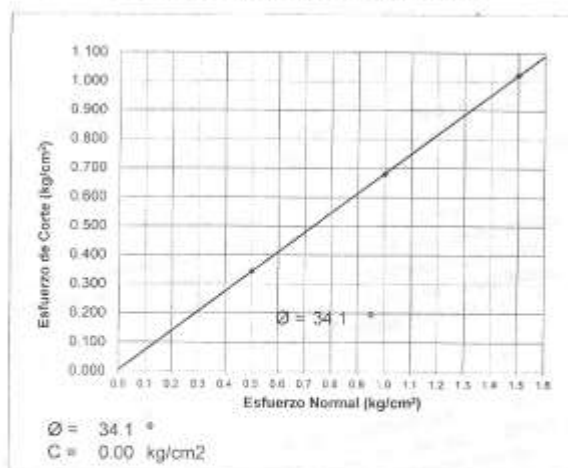
Procedimiento interno AT-PR.9

Estado : Remoñeado (material < Tamiz N° 4)
Calicata : C-3
Prof. (m.) : 1.60

% DEFORMACIÓN TANGENCIAL vs. ESFUERZO DE CORTE



ESFUERZO NORMAL vs. ESFUERZO DE CORTE




Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Apartado 1301 - Perú
Teléfono: (511) 381-3842, Central Telefónica: 481-1070 Anexo 4019
e-mail: lms\_fic@uni.edu.pe, lms.servicios@uni.edu.pe

Camara de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering
Technology
Accreditation
Commission

## Anexo 05: Carta de presentación presentada a SENAMHI

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Lima, 09 de septiembre del 2019

**CARTA DE PRESENTACIÓN N°108-2019-UCV-L-DA-ING-CIV/DE**

Señores  
SENAMHI

De mi especial consideración:

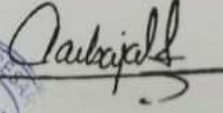

Es grato dirigirme a usted para expresarle nuestro cordial saludo a nombre de la Universidad César Vallejo Lima Norte y en especial de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, y a la vez presentarle a la estudiante LUGO ESPINOZA, JOSSELYN VANESSA con código de estudiante N°6700255056, con DNI 73477813.

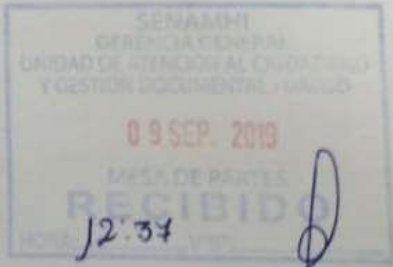
Quien se encuentra matriculada en X ciclo del año académico 2019-II de la carrera de Ingeniería Civil.

La indicada estudiante solicita ingresar a las instalaciones para solicitar información del registro histórico de caudales máximo mensual, caudales medio mensuales y caudales máximo instantáneos mensual, precipitaciones mensuales, dirección del viento mensual, temperatura máxima mensual, temperatura mínima mensual y humedad relativa mensual de la estación Chosica.

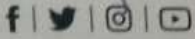
Esperando contar con su apoyo a la formación profesional de nuestros estudiantes, quedo de usted.

Cordialmente,

  
  
Mg. Lilia Rosa Carbajal Reyes  
Coordinadora de la  
EP de Ingeniería Civil



Somos la universidad de los  
que quieren salir adelante.

  
[ucv.edu.pe](http://ucv.edu.pe)



## Anexo 06: Información de SENAMHI

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Qmáx
1920	101.29	73.35	111.21	117.64	31.43	13.00	10.82	15.43	13.07	18.24	18.24	28.70	117.64
1921	55.20	85.90	95.00	58.10	33.54	18.24	14.36	16.95	20.23	13.07	16.95	36.50	95.00
1922	32.40	63.30	99.00	61.40	45.60	11.20	11.78	10.61	13.07	16.95	20.23	62.60	99.00
1923	68.00	64.00	97.00	69.20	35.80	16.30	13.72	11.20	18.24	19.55	24.85	55.20	97.00
1924	54.50	58.80	90.50	74.00	24.85	16.95	11.20	13.72	16.30	18.90	18.90	23.87	90.50
1925	47.50	56.60	78.00	62.62	27.60	7.40	10.50	11.80	15.80	18.53	18.16	39.88	78.00
1926	59.80	115.80	187.09	90.36	35.20	17.18	11.40	12.19	14.80	14.73	19.70	50.96	187.09
1927	51.60	88.70	137.60	57.40	35.20	25.19	9.10	10.20	15.73	15.76	18.70	37.70	137.60
1928	49.70	111.22	183.49	88.70	40.30	14.00	12.10	12.10	13.19	13.10	14.70	27.50	183.49
1929	99.60	139.80	137.50	50.60	18.90	7.50	10.00	13.00	15.60	18.90	45.00	40.80	139.80
1930	81.75	55.80	320.10	98.40	67.80	35.40	12.90	14.73	11.88	15.80	20.00	18.93	320.10
1931	89.63	53.68	97.63	42.50	25.00	19.50	13.80	9.87	12.83	14.92	21.69	73.00	97.63
1932	84.75	315.00	106.50	62.50	34.00	14.52	12.27	13.45	12.67	19.20	25.69	35.40	315.00
1933	50.70	105.00	225.00	86.00	66.80	20.69	13.84	13.00	12.66	12.66	13.05	42.60	225.00
1934	83.50	160.00	200.00	71.90	41.00	25.69	18.23	12.66	12.27	15.20	14.52	13.84	200.00
1935	105.00	101.20	250.00	55.80	57.50	15.52	13.05	13.05	13.84	13.05	13.84	98.80	250.00
1936	65.50	47.40	60.50	39.60	22.19	15.20	13.05	13.05	13.05	13.05	13.05	16.23	65.50
1937	40.30	35.40	105.00	38.20	25.69	14.18	12.27	13.05	13.05	17.26	17.26	32.38	105.00
1938	96.60	175.00	130.00	65.50	35.40	15.00	13.05	13.05	13.05	13.05	13.05	20.19	175.00
1939	40.30	146.45	205.00	157.80	22.65	15.20	12.66	13.05	13.05	13.05	13.05	53.45	205.00
1940	96.60	57.50	254.50	70.80	23.11	14.18	13.05	13.05	13.05	13.05	16.23	22.27	254.50
1941	62.50	290.10	325.00	28.62	14.18	12.27	12.27	12.27	13.05	17.23	26.48	76.30	325.00
1942	184.60	315.80	125.50	42.60	28.05	14.52	13.84	13.84	13.05	13.05	13.05	27.48	315.80
1943	58.50	261.00	138.00	203.00	26.29	13.05	12.97	13.08	13.48	16.70	25.00	44.50	261.00
1944	71.90	130.00	127.30	38.50	24.70	15.00	13.04	13.05	13.03	14.50	14.30	18.50	130.00
1945	63.50	94.50	83.60	57.50	25.00	15.50	13.08	13.00	12.05	16.00	24.50	73.40	94.50
1946	134.00	105.00	185.00	113.00	35.00	17.50	14.00	13.00	14.00	15.50	32.40	53.60	185.00
1947	64.00	78.50	130.00	43.00	31.00	17.00	12.00	13.50	13.10	22.00	15.40	33.00	130.00
1948	130.00	90.00	128.00	62.00	33.00	23.00	18.00	14.00	13.15	51.00	34.00	22.60	130.00
1949	47.00	55.50	108.00	56.50	21.00	15.00	15.50	15.50	13.50	14.50	21.00	14.00	108.00
1950	80.00	98.50	79.50	55.00	33.00	17.50	14.80	13.00	13.50	13.50	18.00	58.50	98.50
1951	71.00	195.00	316.00	108.00	24.00	20.00	15.50	13.50	14.50	22.64	45.00	70.00	316.00
1952	115.00	132.00	164.00	109.00	24.00	19.00	17.00	14.00	18.00	15.00	33.00	45.00	164.00
1953	70.00	175.00	130.00	79.00	31.00	20.00	17.00	14.50	16.50	21.00	42.00	66.00	175.00
1954	72.00	202.00	180.00	42.00	36.00	20.00	16.00	15.00	14.50	18.00	36.00	28.00	202.00
1955	115.00	164.00	320.00	59.00	24.00	20.50	18.00	14.50	14.50	16.00	13.80	21.00	320.00
1956	39.00	142.00	155.00	68.00	21.00	15.00	12.70	13.20	14.80	13.80	12.40	13.10	155.00
1957	36.50	100.00	71.00	63.00	20.00	11.50	10.50	13.10	13.40	12.60	15.10	19.00	100.00
1958	40.00	99.80	94.80	27.90	16.00	11.25	12.15	11.20	12.50	15.90	16.62	14.30	99.80
1959	15.50	175.00	135.00	106.00	31.00	14.50	13.75	13.50	13.95	21.65	19.90	36.40	175.00
1960	60.90	69.00	77.40	28.10	21.40	14.10	13.85	15.00	14.30	16.80	18.20	16.85	77.40
1961	59.50	70.50	65.40	70.40	26.60	16.40	14.25	13.75	13.80	14.05	30.30	53.90	70.50
1962	84.00	76.60	84.10	49.70	28.15	15.30	15.25	16.00	15.10	14.95	16.30	29.00	84.10
1963	69.40	74.00	92.20	52.80	25.80	17.70	15.60	15.20	15.95	17.65	32.80	63.70	92.20
1964	26.70	78.80	72.50	77.30	31.80	17.70	15.60	16.00	16.45	16.95	18.20	21.74	78.80
1965	26.06	108.10	95.70	27.00	20.80	13.30	12.70	12.50	13.35	15.50	15.20	31.80	108.10
1966	72.00	54.09	100.60	30.20	24.90	15.80	17.70	14.60	15.80	30.60	27.80	42.00	100.60
1967	44.30	91.20	100.50	43.20	26.60	20.10	21.20	19.50	22.90	32.50	24.10	33.10	100.50
1968	39.90	30.10	46.40	35.50	18.90	17.30	15.60	18.90	16.75	21.80	35.80	39.40	46.40
1969	32.20	51.00	81.40	50.20	22.60	18.10	18.10	17.60	18.10	21.20	21.20	81.40	81.40
1970	158.00	58.20	88.00	57.70	41.00	23.70	20.80	19.20	22.80	22.20	19.40	55.80	158.00
1971	71.00	101.00	139.00	53.30	24.30	25.30	22.10	21.70	21.80	21.80	17.70	54.30	139.00
1972	93.00	138.00	210.00	119.00	38.60	19.20	18.20	17.30	15.30	20.40	20.00	45.10	210.00
1973	108.00	115.00	110.00	98.20	33.70	15.60	14.30	14.30	12.20	18.30	18.00	52.60	115.00
1974	59.50	67.70	79.10	49.20	19.80	14.20	11.40	15.10	19.20	17.00	17.00	15.10	79.10



1975	32.30	63.60	144.00	55.50	38.80	27.50	24.40	24.90	23.80	25.50	26.10	33.80	144.00
1976	69.00	116.00	91.10	51.10	26.10	22.80	18.00	18.00	19.00	19.40	21.00	23.40	116.00
1977	28.70	162.00	94.00	60.00	42.60	22.20	22.80	22.80	21.60	21.00	46.20	57.40	162.00
1978	98.80	151.00	61.30	46.20	21.00	20.40	20.40	19.90	18.50	20.40	22.20	51.10	151.00
1979	28.70	140.40	144.00	61.30	20.04	20.04	17.92	19.01	20.00	20.33	19.67	20.33	144.00
1980	91.50	40.11	82.40	85.00	20.51	20.51	18.40	19.05	21.65	23.94	28.56	29.40	91.50
1981	83.00	216.00	200.00	70.48	27.32	24.44	24.00	24.00	28.50	20.40	27.40	57.00	216.00
1982	57.50	72.20	65.20	58.40	41.40	38.50	32.55	35.10	27.00	30.40	47.80	33.60	72.20
1983	48.80	46.60	72.00	108.00	31.50	21.92	33.40	27.52	27.00	32.35	29.63	33.60	108.00
1984	39.00	103.50	82.80	50.70	28.70	38.08	33.60	31.04	27.84	31.92	42.56	72.00	103.50
1985	46.70	74.00	118.00	80.00	50.20	67.12	56.89	68.97	29.19	29.00	36.63	86.59	118.00
1986	164.18	154.51	158.35	98.19	113.00	32.06	29.35	34.10	26.19	26.19	26.43	54.96	164.18
1987	81.82	133.82	168.50	78.57	41.15	24.87	23.91	23.91	31.55	34.17	29.42	34.03	168.50
1988	57.77	67.63	43.40	83.00	35.40	24.52	31.40	36.68	16.94	17.43	15.83	31.43	83.00
1989	43.43	56.94	58.14	52.52	27.56	18.35	17.75	16.98	17.52	18.41	20.36	17.34	58.14
1990	34.10	20.60	26.80	15.20	14.80	13.50	11.50	10.60	13.00	23.50	28.10	38.40	38.40
1991	29.70	31.40	76.00	38.70	31.02	21.85	17.64	15.90	18.06	21.30	24.98	20.82	76.00
1992	27.52	23.62	32.88	24.72	16.29	14.85	16.38	15.18	15.51	17.30	13.63	16.88	32.88
1993	95.46	114.49	88.56	55.40	33.45	18.62	17.43	18.71	18.20	21.38	57.99	88.12	114.49
1994	85.11	133.96	132.45	76.39	47.29	27.13	25.65	24.91	24.79	28.44	25.97	36.11	133.96
1995	40.47	33.92	60.35	41.98	23.15	23.77	20.97	23.25	22.59	23.93	26.87	37.60	60.35
1996	81.32	108.93	80.36	69.79	26.88	28.24	31.50	26.18	25.25	22.91	20.83	30.74	108.93
1997	44.55	76.35	47.69	21.55	19.44	20.54	18.92	19.56	19.60	22.40	26.80	77.37	77.37
1998	109.17	120.61	92.06	74.15	50.94	29.66	27.87	24.53	27.36	31.64	32.13	32.44	120.61
1999	49.47	125.49	107.73	74.72	46.17	25.19	26.43	25.31	29.31	29.78	32.09	50.93	125.49
2000	76.65	93.88	108.58	87.77	49.92	28.91	25.37	23.90	23.70	30.68	26.84	64.59	108.58
2001	91.08	89.14	108.65	88.84	40.20	29.45	28.55	28.11	28.21	27.91	44.11	36.70	108.65
2002	41.67	65.49	76.08	65.83	29.05	21.73	22.70	23.87	29.12	31.95	43.25	45.41	76.08
2003	75.83	82.68	128.61	77.55	41.90	30.16	29.95	31.27	30.57	30.90	34.59	43.18	128.61
2004	34.92	77.95	54.58	45.28	23.99	23.99	23.26	23.11	26.05	26.70	49.79	58.63	77.95
2005	68.67	46.91	64.18	62.14	27.52	26.33	25.20	25.48	24.32	24.70	24.23	32.45	68.67
2006	53.69	77.52	91.61	82.12	34.72	25.73	25.18	21.18	23.45	22.55	22.84	55.85	91.61
2007	69.27	101.57	95.65	107.47	36.46	24.89	19.40	21.86	20.59	21.62	22.00	22.62	107.47
2008	55.90	83.24	61.81	36.20	21.37	26.35	24.77	26.91	22.94	26.01	25.59	51.05	83.24
2009	75.69	87.88	126.72	82.43	25.53	20.67	20.29	20.40	22.03	24.04	55.73	58.73	126.72
2010	78.00	84.79	84.96	65.48	31.91	25.74	24.66	24.17	25.89	23.85	24.13	42.83	84.96
2011	59.35	68.67	72.29	83.36	41.63	28.74	26.02	26.11	26.49	32.47	33.14	48.14	83.36
2012	56.34	104.61	79.95	77.35	52.10	27.06	29.47	29.69	27.48	30.95	51.13	97.25	104.61
2013	61.84	116.74	131.02	71.58	26.45	25.98	25.56	27.09	26.26	27.09	28.89	39.83	131.02
2014	50.14	91.05	96.99	49.58	34.31	22.84	22.85	23.53	24.35	25.85	31.94	50.82	96.99
2015	63.95	59.08	92.39	51.24	35.04	25.46	27.74	26.05	25.18	28.64	25.96	50.83	92.39
2016	32.48	79.70	77.60	39.90	25.90	23.10	26.60	22.67	25.04	24.01	25.05	21.64	79.70
2017	94.21	108.59	126.50	93.43	53.33	30.71	24.65	27.84	23.98	25.71	25.66	25.15	126.50
2018	48.95	38.99	66.10	51.23	46.16	22.59	23.14	25.71	21.87	22.25	22.33	24.91	66.10
2019	62.60	61.19	54.46	38.14	24.19	22.69	23.25	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	62.60
Promedio	67.48	102.04	117.35	66.11	32.29	20.88	19.00	18.97	18.82	21.23	25.59	41.79	131.58
N° Datos	100	100	100	100	100	100	100	99	99	99	99	99	100
Desv. Est	30.62	57.18	61.87	28.48	13.42	7.73	7.34	8.08	5.65	6.64	10.37	19.88	66.84
Máxima	184.60	315.80	325.00	203.00	113.00	67.12	56.89	68.97	31.55	51.00	57.99	98.80	325.00
Mínima	15.50	20.60	26.80	15.20	14.18	7.40	9.10	9.87	11.88	12.60	12.40	13.10	32.88

## Anexo 07: Análisis estadístico del caudal de diseño máximo

### a. Método de Gumbel

N	Año	Q <sub>máx</sub>	$(Q_i - Q_m)^2$	N	Año	Q <sub>máx</sub>	$(Q_i - Q_m)^2$
1	1920	117.64	194.28	51	1970	158.00	698.09
2	1921	95.00	1337.99	52	1971	139.00	55.08
3	1922	99.00	1061.36	53	1972	210.00	6149.92
4	1923	97.00	1195.68	54	1973	115.00	274.85
5	1924	90.50	1687.45	55	1974	79.10	2754.00
6	1925	78.00	2870.66	56	1975	144.00	154.29
7	1926	187.09	3081.52	57	1976	116.00	242.69
8	1927	137.60	36.26	58	1977	162.00	925.46
9	1928	183.49	2694.80	59	1978	151.00	377.19
10	1929	139.80	67.59	60	1979	144.00	154.29
11	1930	320.10	35540.33	61	1980	91.50	1606.29
12	1931	97.63	1152.50	62	1981	216.00	7126.98
13	1932	315.00	33643.42	63	1982	72.20	3525.81
14	1933	225.00	8727.57	64	1983	108.00	555.95
15	1934	200.00	4681.49	65	1984	103.50	788.41
16	1935	250.00	14023.64	66	1985	118.00	184.38
17	1936	65.50	4366.38	67	1986	164.18	1062.85
18	1937	105.00	706.42	68	1987	168.50	1363.19
19	1938	175.00	1885.42	69	1988	83.00	2359.88
20	1939	205.00	5390.71	70	1989	58.14	5392.75
21	1940	254.50	15109.68	71	1990	38.40	8682.24
22	1941	325.00	37411.85	72	1991	76.00	3088.98
23	1942	315.80	33937.54	73	1992	32.88	9741.41
24	1943	261.00	16749.91	74	1993	114.49	292.12
25	1944	130.00	2.49	75	1994	133.96	5.66
26	1945	94.50	1374.82	76	1995	60.35	5073.94
27	1946	185.00	2853.85	77	1996	108.93	513.05
28	1947	130.00	2.49	78	1997	77.37	2938.57
29	1948	130.00	2.49	79	1998	120.61	120.31
30	1949	108.00	555.95	80	1999	125.49	37.07
31	1950	98.50	1094.19	81	2000	108.58	528.93
32	1951	316.00	34011.27	82	2001	108.65	525.72
33	1952	164.00	1051.15	83	2002	76.08	3080.07
34	1953	175.00	1885.42	84	2003	128.61	8.83
35	1954	202.00	4959.18	85	2004	77.95	2876.47
36	1955	320.00	35502.64	86	2005	68.67	3957.23
37	1956	155.00	548.56	87	2006	91.61	1597.70
38	1957	100.00	997.21	88	2007	107.47	581.00
39	1958	99.80	1009.88	89	2008	83.24	2336.54
40	1959	175.00	1885.42	90	2009	126.72	23.64
41	1960	77.40	2935.32	91	2010	84.96	2173.05
42	1961	70.50	3730.59	92	2011	83.36	2324.89
43	1962	84.10	2254.21	93	2012	104.61	727.41

44	1963	92.20	1550.67	94	2013	131.02	0.31
45	1964	78.80	2785.58	95	2014	96.99	1196.19
46	1965	108.10	551.24	96	2015	92.39	1536.05
47	1966	100.60	959.67	97	2016	79.70	2691.38
48	1967	100.50	965.88	98	2017	126.50	25.76
49	1968	46.40	7255.39	99	2018	66.10	4286.81
50	1969	81.40	2517.89	100	2019	62.60	4757.80

- Caudal promedio ( $Q_m$ ): Es la sumatoria de los caudales ( $\sum Q$ ) dividido entre el número de años de registro (N).

$$Q_m = \frac{\sum_{i=1}^N Q_i}{N}$$

$$Q_m = \frac{13157.86}{100} = 131.58 \text{ m}^3/\text{seg}$$

- Desviación estándar de los caudales:

$$\sigma_Q = \sqrt{\frac{\sum(Q_i - Q_m)^2}{N - 1}}$$

$$\sigma_Q = 66.84 \text{ m}^3/\text{seg}$$

- Coeficiente de variación  $C_v$ :

$$C_v = \frac{\sigma_Q}{Q_m} = 0.51$$

- Cálculo del caudal de máximos esperado ( $Q_{m\acute{a}x}$ ):

$$Q_{m\acute{a}x} = Q_m \times (1 + C_v \times (0.78 \times Y - 0.45))$$

Dónde:

$$Y = -\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{P\%}{100}\right)\right)$$

En la siguiente tabla se muestra los resultados de los caudales de diseño obtenidos para los diferentes períodos de retorno, cada uno con su respectivo porcentaje de probabilidad.

P (%)	T <sub>r</sub>	Y	Q <sub>máx</sub> (m <sup>3</sup> /seg)
99.90	1.00	-1.93	0.74
50.00	2.00	0.37	120.61
20.00	5.00	1.50	179.70
10.00	10.00	2.25	218.82
5.00	20.00	2.97	256.35
2.00	50.00	3.90	304.93
1.33	75.00	4.31	326.24
1.00	100.00	4.60	341.33
0.67	150.00	5.01	362.55
0.50	200.00	5.30	377.60
0.20	500.00	6.21	425.44
0.10	1000.00	6.91	461.61

### b. Método de Log-Pearson III

Se realiza el análisis de los datos hidrológicos aplicando el método de Log Pearson tipo III, tal como se puede apreciar en la siguiente tabla.

N°	Año	Q <sub>máx</sub>	Posición	Años	Q <sub>máx</sub> (mayor a menor)	k	k-1	(k - 1) <sup>2</sup>	(k - 1) <sup>3</sup>	P (empírica)
1	1920	117.64	45	1941	325.00	2.470	1.470	2.16	3.18	2.00
2	1921	95.00	68	1930	320.10	2.433	1.433	2.05	2.94	3.00
3	1922	99.00	63	1955	320.00	2.432	1.432	2.05	2.94	4.00
4	1923	97.00	66	1951	316.00	2.402	1.402	1.96	2.75	5.00
5	1924	90.50	74	1942	315.80	2.400	1.400	1.96	2.74	6.00
6	1925	78.00	84	1932	315.00	2.394	1.394	1.94	2.71	7.00
7	1926	187.09	16	1943	261.00	1.984	0.984	0.97	0.95	8.00
8	1927	137.60	33	1940	254.50	1.934	0.934	0.87	0.82	9.00
9	1928	183.49	18	1935	250.00	1.900	0.900	0.81	0.73	10.00
10	1929	139.80	31	1933	225.00	1.710	0.710	0.50	0.36	11.00
11	1930	320.10	2	1981	216.00	1.642	0.642	0.41	0.26	12.00
12	1931	97.63	65	1972	210.00	1.596	0.596	0.36	0.21	13.00
13	1932	315.00	6	1939	205.00	1.558	0.558	0.31	0.17	14.00
14	1933	225.00	10	1954	202.00	1.535	0.535	0.29	0.15	15.00
15	1934	200.00	15	1934	200.00	1.520	0.520	0.27	0.14	16.00
16	1935	250.00	9	1926	187.09	1.422	0.422	0.18	0.08	17.00
17	1936	65.50	94	1946	185.00	1.406	0.406	0.16	0.07	18.00
18	1937	105.00	56	1928	183.49	1.395	0.395	0.16	0.06	19.00

<b>19</b>	1938	175.00	19	1938	175.00	1.330	0.330	0.11	0.04	20.00
<b>20</b>	1939	205.00	13	1953	175.00	1.330	0.330	0.11	0.04	21.00
<b>21</b>	1940	254.50	8	1959	175.00	1.330	0.330	0.11	0.04	22.00
<b>22</b>	1941	325.00	1	1987	168.50	1.281	0.281	0.08	0.02	23.00
<b>23</b>	1942	315.80	5	1986	164.18	1.248	0.248	0.06	0.02	24.00
<b>24</b>	1943	261.00	7	1952	164.00	1.246	0.246	0.06	0.01	25.00
<b>25</b>	1944	130.00	36	1977	162.00	1.231	0.231	0.05	0.01	26.00
<b>26</b>	1945	94.50	69	1970	158.00	1.201	0.201	0.04	0.01	27.00
<b>27</b>	1946	185.00	17	1956	155.00	1.178	0.178	0.03	0.01	28.00
<b>28</b>	1947	130.00	36	1978	151.00	1.148	0.148	0.02	0.00	29.00
<b>29</b>	1948	130.00	36	1975	144.00	1.094	0.094	0.01	0.00	30.00
<b>30</b>	1949	108.00	53	1979	144.00	1.094	0.094	0.01	0.00	31.00
<b>31</b>	1950	98.50	64	1929	139.80	1.062	0.062	0.00	0.00	32.00
<b>32</b>	1951	316.00	4	1971	139.00	1.056	0.056	0.00	0.00	33.00
<b>33</b>	1952	164.00	24	1927	137.60	1.046	0.046	0.00	0.00	34.00
<b>34</b>	1953	175.00	19	1994	133.96	1.018	0.018	0.00	0.00	35.00
<b>35</b>	1954	202.00	14	2013	131.02	0.996	-0.004	0.00	0.00	36.00
<b>36</b>	1955	320.00	3	1944	130.00	0.988	-0.012	0.00	0.00	37.00
<b>37</b>	1956	155.00	27	1947	130.00	0.988	-0.012	0.00	0.00	38.00
<b>38</b>	1957	100.00	61	1948	130.00	0.988	-0.012	0.00	0.00	39.00
<b>39</b>	1958	99.80	62	2003	128.61	0.977	-0.023	0.00	0.00	40.00
<b>40</b>	1959	175.00	19	2009	126.72	0.963	-0.037	0.00	0.00	41.00
<b>41</b>	1960	77.40	86	2017	126.50	0.961	-0.039	0.00	0.00	42.00
<b>42</b>	1961	70.50	91	1999	125.49	0.954	-0.046	0.00	0.00	43.00
<b>43</b>	1962	84.10	76	1998	120.61	0.917	-0.083	0.01	0.00	44.00
<b>44</b>	1963	92.20	71	1985	118.00	0.897	-0.103	0.01	0.00	45.00
<b>45</b>	1964	78.80	83	1920	117.64	0.894	-0.106	0.01	0.00	46.00
<b>46</b>	1965	108.10	52	1976	116.00	0.882	-0.118	0.01	0.00	47.00
<b>47</b>	1966	100.60	59	1973	115.00	0.874	-0.126	0.02	0.00	48.00
<b>48</b>	1967	100.50	60	1993	114.49	0.870	-0.130	0.02	0.00	49.00
<b>49</b>	1968	46.40	98	1996	108.93	0.828	-0.172	0.03	-0.01	50.00
<b>50</b>	1969	81.40	80	2001	108.65	0.826	-0.174	0.03	-0.01	51.00
<b>51</b>	1970	158.00	26	2000	108.58	0.825	-0.175	0.03	-0.01	52.00
<b>52</b>	1971	139.00	32	1965	108.10	0.822	-0.178	0.03	-0.01	53.00
<b>53</b>	1972	210.00	12	1949	108.00	0.821	-0.179	0.03	-0.01	54.00
<b>54</b>	1973	115.00	47	1983	108.00	0.821	-0.179	0.03	-0.01	55.00
<b>55</b>	1974	79.10	82	2007	107.47	0.817	-0.183	0.03	-0.01	56.00
<b>56</b>	1975	144.00	29	1937	105.00	0.798	-0.202	0.04	-0.01	57.00
<b>57</b>	1976	116.00	46	2012	104.61	0.795	-0.205	0.04	-0.01	58.00
<b>58</b>	1977	162.00	25	1984	103.50	0.787	-0.213	0.05	-0.01	59.00
<b>59</b>	1978	151.00	28	1966	100.60	0.765	-0.235	0.06	-0.01	60.00
<b>60</b>	1979	144.00	29	1967	100.50	0.764	-0.236	0.06	-0.01	61.00
<b>61</b>	1980	91.50	73	1957	100.00	0.760	-0.240	0.06	-0.01	62.00
<b>62</b>	1981	216.00	11	1958	99.80	0.758	-0.242	0.06	-0.01	63.00
<b>63</b>	1982	72.20	90	1922	99.00	0.752	-0.248	0.06	-0.02	64.00
<b>64</b>	1983	108.00	53	1950	98.50	0.749	-0.251	0.06	-0.02	65.00
<b>65</b>	1984	103.50	58	1931	97.63	0.742	-0.258	0.07	-0.02	66.00

<b>66</b>	1985	118.00	44	1923	97.00	0.737	-0.263	0.07	-0.02	67.00
<b>67</b>	1986	164.18	23	2014	96.99	0.737	-0.263	0.07	-0.02	68.00
<b>68</b>	1987	168.50	22	1921	95.00	0.722	-0.278	0.08	-0.02	69.00
<b>69</b>	1988	83.00	79	1945	94.50	0.718	-0.282	0.08	-0.02	70.00
<b>70</b>	1989	58.14	97	2015	92.39	0.702	-0.298	0.09	-0.03	71.00
<b>71</b>	1990	38.40	99	1963	92.20	0.701	-0.299	0.09	-0.03	72.00
<b>72</b>	1991	76.00	89	2006	91.61	0.696	-0.304	0.09	-0.03	73.00
<b>73</b>	1992	32.88	100	1980	91.50	0.695	-0.305	0.09	-0.03	74.00
<b>74</b>	1993	114.49	48	1924	90.50	0.688	-0.312	0.10	-0.03	75.00
<b>75</b>	1994	133.96	34	2010	84.96	0.646	-0.354	0.13	-0.04	76.00
<b>76</b>	1995	60.35	96	1962	84.10	0.639	-0.361	0.13	-0.05	77.00
<b>77</b>	1996	108.93	49	2011	83.36	0.634	-0.366	0.13	-0.05	78.00
<b>78</b>	1997	77.37	87	2008	83.24	0.633	-0.367	0.13	-0.05	79.00
<b>79</b>	1998	120.61	43	1988	83.00	0.631	-0.369	0.14	-0.05	80.00
<b>80</b>	1999	125.49	42	1969	81.40	0.619	-0.381	0.15	-0.06	81.00
<b>81</b>	2000	108.58	51	2016	79.70	0.606	-0.394	0.16	-0.06	82.00
<b>82</b>	2001	108.65	50	1974	79.10	0.601	-0.399	0.16	-0.06	83.00
<b>83</b>	2002	76.08	88	1964	78.80	0.599	-0.401	0.16	-0.06	84.00
<b>84</b>	2003	128.61	39	1925	78.00	0.593	-0.407	0.17	-0.07	85.00
<b>85</b>	2004	77.95	85	2004	77.95	0.592	-0.408	0.17	-0.07	86.00
<b>86</b>	2005	68.67	92	1960	77.40	0.588	-0.412	0.17	-0.07	87.00
<b>87</b>	2006	91.61	72	1997	77.37	0.588	-0.412	0.17	-0.07	88.00
<b>88</b>	2007	107.47	55	2002	76.08	0.578	-0.422	0.18	-0.08	89.00
<b>89</b>	2008	83.24	78	1991	76.00	0.578	-0.422	0.18	-0.08	90.00
<b>90</b>	2009	126.72	40	1982	72.20	0.549	-0.451	0.20	-0.09	91.00
<b>91</b>	2010	84.96	75	1961	70.50	0.536	-0.464	0.22	-0.10	92.00
<b>92</b>	2011	83.36	77	2005	68.67	0.522	-0.478	0.23	-0.11	93.00
<b>93</b>	2012	104.61	57	2018	66.10	0.502	-0.498	0.25	-0.12	94.00
<b>94</b>	2013	131.02	35	1936	65.50	0.498	-0.502	0.25	-0.13	95.00
<b>95</b>	2014	96.99	67	2019	62.60	0.476	-0.524	0.27	-0.14	96.00
<b>96</b>	2015	92.39	70	1995	60.35	0.459	-0.541	0.29	-0.16	97.00
<b>97</b>	2016	79.70	81	1989	58.14	0.442	-0.558	0.31	-0.17	98.00
<b>98</b>	2017	126.50	41	1968	46.40	0.353	-0.647	0.42	-0.27	99.00
<b>99</b>	2018	66.10	93	1990	38.40	0.292	-0.708	0.50	-0.36	100.00
<b>100</b>	2019	62.60	95	1992	32.88	0.250	-0.750	0.56	-0.42	101.00
<b>Total</b>		<b>131.58</b>						<b>25.55</b>	<b>18.07</b>	

a. Se realiza el cálculo de las variables probabilísticas:

- Media aritmética

$$Q_m = \frac{\sum_{i=1}^N Q_1}{N}$$

$$Q_m = 131.58 \text{ m}^3/\text{seg}$$

- Desviación estándar de los caudales:

$$\sigma_Q = \sqrt{\frac{\sum(Q_i - Q_m)^2}{N - 1}}$$

$$\sigma_Q = 66.839 \text{ m}^3/\text{seg}$$

- Determinación de coeficiente de variación:

$$C_V = 0.51$$

- Determinación de coeficiente de asimetría:

$$C_S = \sqrt{\frac{n(\sum_{i=1}^n (X_i - X_m)^3)}{(n - 1)(n - 2)S^3}}$$

$$C_S = 1.421$$

En la tabla de probabilidades en porcentajes se ubica el valor del coeficiente de asimetría, en este caso se debió de interpolar para tomar los valores exactos de las probabilidades del coeficiente de asimetría.

Tabla de probabilidades en porcentajes																						
$C_S$	0.01	0.100	0.5	1	2	3	5	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	95	97	99	99.9
0.00	3.720	3.090	2.570	2.330	2.060	1.880	1.640	1.280	0.840	0.670	0.520	0.250	0.000	-	-	-	-0.840	-1.280	-1.640	-1.880	-2.330	-3.090
0.10	3.940	3.230	2.680	2.400	2.110	1.920	1.670	1.290	0.840	0.660	0.510	0.240	-0.020	0.270	0.530	0.680	-0.850	-1.270	-1.610	-1.840	-2.250	-2.950
0.20	4.160	3.330	2.780	2.470	2.160	1.960	1.700	1.300	0.830	0.650	0.500	0.220	0.030	0.280	0.550	0.690	-0.850	-1.260	-1.580	-1.790	-2.180	-2.810
0.30	4.380	3.520	2.890	2.540	2.210	2.000	1.720	1.310	0.820	0.640	0.480	0.200	0.050	0.300	0.560	0.700	-0.850	-1.240	-1.550	-1.750	-2.100	-2.670
0.40	4.610	3.660	2.980	2.610	2.260	2.040	1.750	1.320	0.820	0.630	0.470	0.190	0.070	0.310	0.570	0.710	-0.850	-1.230	-1.520	-1.700	-2.030	-2.540
0.50	4.830	3.810	3.080	2.680	2.310	2.080	1.770	1.320	0.810	0.620	0.460	0.170	0.080	0.330	0.580	0.710	-0.850	-1.220	-1.490	-1.660	-1.960	-2.400
0.60	5.050	3.960	3.170	2.750	2.350	2.120	1.800	1.330	0.800	0.610	0.440	0.160	0.100	0.340	0.590	0.720	-0.850	-1.200	-1.450	-1.610	-1.880	-2.270
0.70	5.280	4.100	3.270	2.820	2.400	2.150	1.820	1.330	0.790	0.590	0.430	0.140	0.120	0.360	0.600	0.720	-0.850	-1.180	-1.420	-1.570	-1.810	-2.140
0.80	5.500	4.240	3.360	2.890	2.450	2.180	1.840	1.340	0.780	0.580	0.410	0.120	0.130	0.370	0.600	0.730	-0.850	-1.170	-1.380	-1.520	-1.740	-2.020
0.90	5.730	4.380	3.450	2.960	2.500	2.220	1.860	1.340	0.770	0.570	0.400	0.110	0.150	0.380	0.610	0.730	-0.850	-1.150	-1.350	-1.470	-1.660	-1.900
1.00	5.960	4.530	3.530	3.020	2.540	2.250	1.880	1.340	0.760	0.550	0.380	0.090	0.160	0.390	0.620	0.730	-0.850	-1.130	-1.320	-1.420	-1.590	-1.790
1.10	6.180	4.670	3.610	3.090	2.580	2.280	1.890	1.340	0.740	0.540	0.360	0.070	0.180	0.410	0.620	0.740	-0.850	-1.100	-1.280	-1.380	-1.520	-1.680
1.20	6.410	4.810	3.700	3.150	2.620	2.310	1.910	1.340	0.730	0.520	0.350	0.050	0.190	0.420	0.630	0.740	-0.840	-1.080	-1.240	-1.330	-1.450	-1.580
1.30	6.640	4.950	3.780	3.210	2.640	2.340	1.920	1.340	0.720	0.510	0.330	0.040	0.210	0.430	0.630	0.740	-0.840	-1.060	-1.200	-1.280	-1.380	-1.480
1.40	6.870	5.090	3.860	3.270	2.710	2.370	1.940	1.340	0.710	0.490	0.310	0.020	0.220	0.440	0.640	0.730	-0.830	-1.040	-1.170	-1.230	-1.320	-1.390

1.50	7.090	5.230	3.930	3.330	2.740	2.390	1.950	1.330	0.690	0.470	0.300	0.000	-	-	-	-	-0.820	-1.020	-1.130	-1.190	-1.260	-1.310
1.60	7.310	5.370	4.020	3.390	2.780	2.420	1.960	1.330	0.680	0.460	0.280	-0.020	-	-	-	-	-0.810	-0.990	-1.100	-1.140	-1.200	-1.240
1.70	7.540	5.500	4.100	3.440	2.820	2.440	1.970	1.320	0.660	0.440	0.260	-0.030	-	-	-	-	-0.810	-0.970	-1.060	-1.100	-1.140	-1.170
1.80	7.760	5.640	4.170	3.500	2.850	2.460	1.980	1.320	0.640	0.420	0.240	-0.050	-	-	-	-	-0.800	-0.940	-1.020	-1.060	-1.090	-1.110
1.90	7.980	5.770	4.240	3.550	2.880	2.490	1.990	1.310	0.630	0.400	0.220	-0.070	-	-	-	-	-0.790	-0.920	-0.980	-1.010	-1.040	-1.050
2.00	8.210	5.910	4.300	3.600	2.910	2.510	2.000	1.300	0.610	0.390	0.200	-0.080	-	-	-	-	-0.780	-0.900	-0.950	-0.970	-0.990	-1.000
2.10	-	6.040	4.360	3.650	2.940	2.530	2.010	1.290	0.590	0.370	0.180	-0.100	-	-	-	-	-0.760	-0.867	-0.914	-0.930	-0.945	-0.952
2.20	-	6.140	4.420	3.680	2.970	2.540	2.020	1.270	0.570	0.350	0.160	-0.120	-	-	-	-	-0.750	-0.842	-0.882	-0.895	-0.905	-0.909
2.30	-	6.260	4.460	3.730	3.000	2.570	2.010	1.260	0.550	0.320	0.140	-0.130	-	-	-	-	-0.740	-0.816	-0.850	-0.859	-0.867	-0.870
2.40	-	6.370	4.510	3.780	3.030	2.600	2.000	1.250	0.520	0.290	0.120	-0.140	-	-	-	-	-0.720	-0.792	-0.820	-0.827	-0.832	-0.833
2.50	-	6.500	4.550	3.820	3.060	2.620	2.000	1.230	0.500	0.270	0.100	-0.160	-	-	-	-	-0.710	-0.768	-0.790	-0.795	-0.799	-0.800
2.60	-	6.540	4.600	3.880	3.090	2.630	2.000	1.210	0.480	0.250	0.085	-0.170	-	-	-	-	-0.700	-0.746	-0.746	-0.766	-0.769	-0.769
2.70	-	6.750	4.640	3.920	3.120	2.640	2.000	1.190	0.460	0.240	0.070	-0.180	-	-	-	-	-0.680	-0.724	-0.724	-0.739	-0.740	-0.741
2.80	-	6.860	4.680	3.960	3.150	2.650	2.000	1.180	0.440	0.220	0.057	-0.200	-	-	-	-	-0.670	-0.708	-0.708	-0.711	-0.714	-0.714
2.90	-	7.000	4.720	4.010	3.180	2.660	1.990	1.150	0.410	0.200	0.041	-0.210	-	-	-	-	-0.650	-0.681	-0.681	-0.689	-0.690	-0.690
3.00	-	7.100	4.750	4.050	3.200	2.660	1.970	1.130	0.390	0.190	0.027	-0.220	-	-	-	-	-0.640	-0.661	-0.661	-0.667	-0.667	-0.667
3.10	-	7.230	4.780	4.090	3.200	2.660	1.970	1.110	0.370	0.170	0.010	-0.230	-	-	-	-	-0.620	-0.641	-0.641	-0.645	-0.645	-0.645
3.20	-	7.350	4.820	4.110	3.200	2.660	1.960	1.090	0.350	0.150	0.006	-0.250	-	-	-	-	-0.610	-0.622	-0.622	-0.625	-0.625	-0.625

Los resultados de la interpolación se aprecian en la siguiente tabla:

Interpolación		1.421																						
	Cs	0.0	0.1	0.5	1	2	3	5	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	95	97	99	99.9	
<b>Lim. Inf.</b>	1.40	6.87	5.09	3.86	3.27	2.71	2.37	1.94	1.34	0.71	0.49	0.31	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Lim. Sup.</b>	1.50	7.09	5.23	3.93	3.33	2.74	2.39	1.95	1.33	0.69	0.47	0.30	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Valor</b>	1.421	6.92	5.12	3.87	3.28	2.72	2.37	1.94	1.34	0.71	0.49	0.31	0.02	0.22	0.44	0.64	0.73	0.83	1.04	1.17	1.23	1.32	1.39	

- Con estos coeficientes de asimetría se obtuvieron los siguientes caudales máximos para los diferentes periodos de retorno:

$$Q_{\text{máx}} = Q(1 + T_p * C_v)$$



Probabilidad (%)	$T_r$	$Q_{m\acute{a}x}$ (m <sup>3</sup> /seg)
99.90	1.00	39.79
50.00	2.00	116.60
20.00	5.00	178.76
10.00	10.00	221.00
5.00	20.00	261.39
2.00	50.00	313.13
1.33	75.00	338.78
1.00	100.00	350.98
0.67	150.00	376.21
0.50	200.00	390.55
0.20	500.00	457.09
0.10	1000.00	473.74

### c. Método de Log normal de dos parámetros

Se realiza el análisis de los datos hidrológicos aplicando la distribución de Log-normal de dos parámetros, tal como se puede apreciar en la siguiente tabla.

Nº	Año	$Q_{m\acute{a}x}$	Posición	Año	$Q_{m\acute{a}x}$ (mayor a menor)	$\ln x$	$\ln x - \alpha$	$(\ln x - \alpha)^2$
1	1918	152.21	28	1941	325.00	5.78383	1.00295	1.00591
2	1919	92.65	71	1930	321.10	5.77175	0.99088	0.98184
3	1920	117.64	46	1955	320.00	5.76832	0.98745	0.97505
4	1921	95.00	69	1951	316.00	5.75574	0.97487	0.95037
5	1922	99.00	64	1942	315.80	5.75511	0.97423	0.94913
6	1923	97.00	67	1932	315.00	5.75257	0.97170	0.94420
7	1924	90.50	76	1943	261.00	5.56452	0.78365	0.61410
8	1925	78.00	86	1940	254.50	5.53930	0.75843	0.57521
9	1926	187.90	16	1935	250.00	5.52146	0.74059	0.54847
10	1927	137.60	34	1933	225.00	5.41610	0.63523	0.40351
11	1928	183.49	18	1981	216.00	5.37528	0.59440	0.35332
12	1929	139.80	32	1972	210.00	5.34711	0.56623	0.32062
13	1930	321.10	2	1939	205.00	5.32301	0.54214	0.29391
14	1931	97.63	66	1954	202.00	5.30827	0.52739	0.27814
15	1932	315.00	6	1934	200.00	5.29832	0.51744	0.26775
16	1933	225.00	10	1926	187.90	5.23591	0.45504	0.20706
17	1934	200.00	15	1946	185.00	5.22036	0.43948	0.19314
18	1935	250.00	9	1928	183.49	5.21216	0.43129	0.18601

19	1936	65.50	95	1938	175.00	5.16479	0.38391	0.14739
20	1937	105.00	57	1953	175.00	5.16479	0.38391	0.14739
21	1938	175.00	19	1959	175.00	5.16479	0.38391	0.14739
22	1939	205.00	13	1987	168.50	5.12694	0.34606	0.11976
23	1940	254.50	8	1986	164.18	5.10096	0.32009	0.10246
24	1941	325.00	1	1952	164.00	5.09987	0.31899	0.10176
25	1942	315.80	5	1977	162.00	5.08760	0.30672	0.09408
26	1943	261.00	7	1970	158.00	5.06260	0.28172	0.07937
27	1944	130.00	37	1956	155.00	5.04343	0.26255	0.06893
28	1945	94.50	70	1918	152.21	5.02526	0.24439	0.05972
29	1946	185.00	17	1978	151.00	5.01728	0.23641	0.05589
30	1947	130.00	37	1975	144.00	4.96981	0.18894	0.03570
31	1948	130.00	37	1979	144.00	4.96981	0.18894	0.03570
32	1949	108.00	54	1929	139.80	4.94021	0.15934	0.02539
33	1950	98.50	65	1971	139.00	4.93447	0.15360	0.02359
34	1951	316.00	4	1927	137.60	4.92435	0.14348	0.02059
35	1952	164.00	24	1994	133.96	4.89754	0.11667	0.01361
36	1953	175.00	19	2013	131.02	4.87535	0.09448	0.00893
37	1954	202.00	14	1944	130.00	4.86753	0.08666	0.00751
38	1955	320.00	3	1947	130.00	4.86753	0.08666	0.00751
39	1956	155.00	27	1948	130.00	4.86753	0.08666	0.00751
40	1957	100.00	62	2003	128.61	4.85678	0.07591	0.00576
41	1958	99.80	63	2009	126.72	4.84198	0.06111	0.00373
42	1959	175.00	19	2017	126.50	4.84024	0.05937	0.00352
43	1960	77.40	88	1999	125.49	4.83223	0.05135	0.00264
44	1961	70.50	92	1998	120.61	4.79256	0.01169	0.00014
45	1962	84.10	78	1985	118.00	4.77068	-0.01019	0.00010
46	1963	92.20	73	1920	117.64	4.76763	-0.01325	0.00018
47	1964	78.80	85	1976	116.00	4.75359	-0.02728	0.00074
48	1965	108.10	53	1973	115.00	4.74493	-0.03594	0.00129
49	1966	100.60	60	1993	114.49	4.74049	-0.04039	0.00163
50	1967	100.50	61	1996	108.93	4.69071	-0.09017	0.00813
51	1968	46.40	98	2001	108.65	4.68813	-0.09274	0.00860
52	1969	81.40	82	2000	108.58	4.68749	-0.09339	0.00872
53	1970	158.00	26	1965	108.10	4.68306	-0.09782	0.00957
54	1971	139.00	33	1949	108.00	4.68213	-0.09874	0.00975
55	1972	210.00	12	1983	108.00	4.68213	-0.09874	0.00975
56	1973	115.00	48	2007	107.48	4.67730	-0.10357	0.01073
57	1974	79.10	84	1937	105.00	4.65396	-0.12691	0.01611
58	1975	144.00	30	2012	104.61	4.65024	-0.13064	0.01707
59	1976	116.00	47	1984	103.50	4.63957	-0.14130	0.01997
60	1977	162.00	25	1966	100.60	4.61115	-0.16972	0.02881
61	1978	151.00	29	1967	100.50	4.61016	-0.17072	0.02914
62	1979	144.00	30	1957	100.00	4.60517	-0.17570	0.03087

63	1980	91.50	75	1958	99.80	4.60317	-0.17771	0.03158
64	1981	216.00	11	1922	99.00	4.59512	-0.18575	0.03450
65	1982	72.20	91	1950	98.50	4.59006	-0.19082	0.03641
66	1983	108.00	54	1931	97.63	4.58118	-0.19969	0.03988
67	1984	103.50	59	1923	97.00	4.57471	-0.20616	0.04250
68	1985	118.00	45	2014	96.99	4.57461	-0.20627	0.04255
69	1986	164.18	23	1921	95.00	4.55388	-0.22700	0.05153
70	1987	168.50	22	1945	94.50	4.54860	-0.23227	0.05395
71	1988	83.00	81	1919	92.65	4.52883	-0.25205	0.06353
72	1989	58.14	97	2015	92.39	4.52602	-0.25486	0.06495
73	1990	39.84	99	1963	92.20	4.52396	-0.25691	0.06600
74	1991	66.98	94	2006	91.61	4.51754	-0.26333	0.06934
75	1992	32.88	100	1980	91.50	4.51634	-0.26454	0.06998
76	1993	114.49	49	1924	90.50	4.50535	-0.27552	0.07591
77	1994	133.96	35	2010	84.96	4.44218	-0.33869	0.11471
78	1995	60.35	96	1962	84.10	4.43201	-0.34887	0.12171
79	1996	108.93	50	2011	83.36	4.42317	-0.35771	0.12795
80	1997	77.37	89	2008	83.24	4.42173	-0.35915	0.12899
81	1998	120.61	44	1988	83.00	4.41884	-0.36203	0.13107
82	1999	125.49	43	1969	81.40	4.39938	-0.38150	0.14554
83	2000	108.58	52	2016	79.70	4.37827	-0.40260	0.16209
84	2001	108.65	51	1974	79.10	4.37071	-0.41016	0.16823
85	2002	76.08	90	1964	78.80	4.36691	-0.41396	0.17136
86	2003	128.61	40	1925	78.00	4.35671	-0.42417	0.17992
87	2004	77.95	87	2004	77.95	4.35607	-0.42481	0.18046
88	2005	68.67	93	1960	77.40	4.34899	-0.43189	0.18653
89	2006	91.61	74	1997	77.37	4.34860	-0.43228	0.18686
90	2007	107.48	56	2002	76.08	4.33179	-0.44909	0.20168
91	2008	83.24	80	1982	72.20	4.27944	-0.50143	0.25144
92	2009	126.72	41	1961	70.50	4.25561	-0.52526	0.27590
93	2010	84.96	77	2005	68.67	4.22931	-0.55156	0.30422
94	2011	83.36	79	1991	66.98	4.20439	-0.57648	0.33233
95	2012	104.61	58	1936	65.50	4.18205	-0.59882	0.35859
96	2013	131.02	36	1995	60.35	4.10016	-0.68071	0.46337
97	2014	96.99	68	1989	58.14	4.06285	-0.71802	0.51555
98	2015	92.39	72	1968	46.40	3.83730	-0.94357	0.89033
99	2016	79.70	83	1990	39.84	3.68487	-1.09600	1.20122
100	2017	126.50	42	1992	32.88	3.49286	-1.28801	1.65897
<b>Total</b>						478.08743		20.78650

a. Se realiza el cálculo de las variables probabilísticas:

- Media aritmética

$$\alpha = \sum_{i=1}^{25} \frac{\ln x_i}{n} = \frac{478.09}{100} = 4.781$$

- Desviación estándar de los caudales:

$$\beta = \left[ \sum_{i=1}^{25} \frac{(\ln x_i - \alpha)^2}{n} \right]^{1/2}$$

$$\beta = \left[ \sum_{i=1}^{25} \frac{(20.787)^2}{100} \right]^{1/2} = 0.456$$

- Entonces, se debe determinar la función de distribución de probabilidad la cual es dada por la siguiente ecuación:

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

Y a continuación se calcula el caudal de diseño para cada período de retorno con la siguiente expresión:

$$x = e^{z\beta + \alpha}$$

Para el valor de la variable estandarizada Z se utilizará la siguiente tabla:

Tabla: Probabilidad acumulada de la distribución normal estándar

z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998

Fuente: Grant, E. L., y R. S. Leavenworth. *Statistical Quality and Control*, tabla A, p. 643, McGraw-Hill, New York, 1972. Utilizada con autorización.

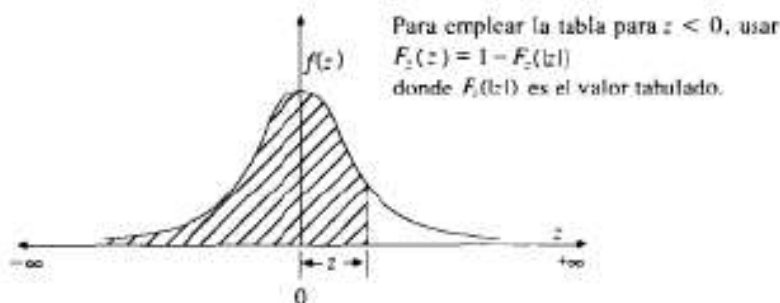


Figura 3: Tabla de la distribución Normal

**Tabla:** Resultado de caudales de diseño

<b>Probabilidad (%)</b>	<b>T<sub>r</sub></b>	<b>F(x)</b>	<b>Z</b>	<b>Q<sub>d</sub> (m<sup>3</sup>/seg)</b>
99.90	1.00	0.001	0.000	117.85
50.00	2.00	0.500	0.000	117.85
20.00	5.00	0.800	0.792	169.94
10.00	10.00	0.900	1.192	204.44
5.00	20.00	0.950	1.595	246.29
2.00	50.00	0.980	1.994	296.16
1.33	75.00	0.987	2.197	325.28
1.00	100.00	0.990	2.297	340.67
0.67	150.00	0.993	2.395	356.45
0.50	200.00	0.995	2.494	373.14
0.20	500.00	0.998	2.800	429.81
0.10	1000.00	0.999	3.000	471.43

## **Anexo 08: Cálculos para la socavación general – Método de Lischvan-Levediev**

### **Parámetros hidráulicos**

Se realizaron los cálculos del área hidráulica, perímetro mojado, radio hidráulico aplicando las fórmulas empíricas mencionadas en los capítulos anteriores:

$$A_h = \frac{(T + b)}{2} \cdot y = 81.95m^2$$

$$P_m = b + 2y \cdot \sqrt{1 + Z^2} = 36.39m$$

$$R_h = \frac{A_h}{P_m} = 2.25 m$$

Para hacer uso de unos de los métodos de socavación, primero se debió determinar la condición de forma de la socavación.

Sabiendo que, según el fundamento teórico para la condición de forma de socavación, si la velocidad media del flujo  $V_1$  aguas arriba del punto donde ocurriría la socavación es menor que la velocidad crítica  $V_c$ , entonces se dice que se presentaría condiciones de socavación en aguas claras, y si fuera contradictorio entonces se presentaría condiciones de socavación en lecho móvil.

Siendo:

Agua clara  $\rightarrow V_1 < V_c$

Lecho móvil  $\rightarrow V_1 > V_c$

### **Cálculo de velocidad de flujo**

Para ello, se utilizó la ecuación (17) de Manning – Strickler, obteniendo los siguientes resultados:

$$V_1 = \frac{1}{n} x R^{2/3} x S^{1/2}$$

$$V_1 = \frac{1}{0.038} x (2.25)^{2/3} x (0.004)^{1/2} = 2.86 \text{ m/s}$$

### Cálculo de régimen del flujo

El régimen del flujo se calculó mediante el número de Froude y la ecuación (15), con ello se tiene:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot \bar{y}}}$$

Siendo  $\bar{y} = \frac{A}{T}$ ; se tiene:

$$Fr = \frac{2.86}{\sqrt{9.81 * \frac{81.95}{34.71}}} = 0.59$$

### Cálculo de velocidad crítica para el inicio del movimiento de las partículas $V_C$

$$V_C = 6.19 * h_1^{1/6} * D_{50}^{1/3}$$

$$V_C = 6.19 * (2.65)^{1/6} * (0.0095)^{1/3} = 1.54 \text{ m/s}$$

Con estos resultados se debe señalar que:  $V_1 = 3.09 \text{ m/s} > V_C = 1.54 \text{ m/s}$ .

### Método de Lischvan-Levediev

Para determinar la socavación general se empleó el método de Lischvan – Levediev. Previamente se realizó cálculos de algunos parámetros como son los siguientes:

- Determinación del diámetro medio ( $D_m$ ):

Se realizó el cálculo del diámetro medio para cada una muestra obtenida, en este caso se tuvo tres muestras y para estimar el diámetro medio se empleó la siguiente formula:

$$D_m = \frac{\sum_1^i (d_i * P_i)}{100}$$



**Tabla:** Diámetro medio de la calicata C-1

Abertura (mm)	d (mm)	% Parcial retenido ( $P_i$ )	$d_i * P_i$ (mm)
75.000	87.500		
50.000	56.250	20.0	1125.000
37.500	43.750	4.0	175.000
25.000	31.250	7.0	218.750
19.000	22.000	4.0	88.000
12.500	15.750	5.0	78.750
9.500	11.000	3.0	33.000
6.300	7.900	5.0	39.500
4.750	5.525	3.0	16.575
2.000	3.375	14.0	47.250
0.850	1.425	17.0	24.225
0.600	0.725	5.0	3.625
0.425	0.513	3.0	1.539
0.250	0.338	3.0	1.014
0.150	0.200	2.0	0.400
0.106	0.000	1.0	0.000
0.075	0.113	0.0	0.000
0.000	0.038	3.0	0.114
$\sum_1^i (d_i * P_i) =$			1852.742

$$D_m = \frac{\sum_1^i (d_i * P_i)}{100} = 18.53mm$$

**Tabla:** Diámetro medio de la calicata C-2

Abertura (mm)	d (mm)	% Parcial retenido ( $P_i$ )	$d_i * P_i$ (mm)
75.000	87.500		
50.000	56.250		
37.500	43.750		
25.000	31.250	5.0	156.250
19.000	22.000	3.0	66.000
12.500	15.750	7.0	110.250
9.500	11.000	4.0	44.000
6.300	7.900	3.0	23.700
4.750	5.525	2.0	11.050
2.000	3.375	7.0	23.625

0.850	1.425	18.0	25.650
0.600	0.725	13.0	9.425
0.425	0.513	15.0	7.695
0.250	0.338	16.0	5.408
0.150	0.200	6.0	1.200
0.106	0.000	2.0	0.000
0.075	0.113	1.0	0.113
0.000	0.038	1.0	0.038
$\sum_1^i (d_i * P_i) =$			484.404

$$D_m = \frac{\sum_1^i (d_i * P_i)}{100} = 4.84mm$$

Tabla: Diámetro medio de la calicata C-3

Abertura (mm)	d (mm)	% Parcial retenido ( $P_i$ )	$d_i * P_i$ (mm)
75.000	87.500		
50.000	56.250		
37.500	43.750	5.0	218.750
25.000	31.250	7.0	218.750
19.000	22.000	6.0	132.000
12.500	15.750	9.0	141.750
9.500	11.000	2.0	22.000
6.300	7.900	3.0	23.700
4.750	5.525	2.0	11.050
2.000	3.375	9.0	30.375
0.850	1.425	22.0	31.350
0.600	0.725	12.0	8.700
0.425	0.513	10.0	5.130
0.250	0.338	9.0	3.042
0.150	0.200	4.0	0.800
0.106	0.000	1.0	0.000
0.075	0.113	0.0	0.000
0.000	0.038	1.0	0.038
$\sum_1^i (d_i * P_i) =$			847.435

$$D_m = \frac{\sum_1^i (d_i * P_i)}{100} = 8.47 \text{ mm}$$

Cálculos considerando un  $T_r = 100$  años.

- Coeficiente de frecuencia ( $\beta$ ):

$$\beta = 0.7929 + 0.0973 \log(T_r)$$

$$\beta = 0.7929 + 0.0973 \log(100) = 0.988$$

- Exponente variable ( $x$ ) en función del diámetro medio ( $D_m$ ):

$$X \approx Z = 0.394557 - 0.04136 \log(D_m) - 0.00891 \log^2(D_m)$$

$$Z = 0.32779478$$

- Para el coeficiente por contracción, se utilizó:  $\mu = 1.00$  (no hay obstáculos)
- Coeficiente de Sección

$$\alpha = \frac{Q_d}{B_e * (R)^{5/3}} = \frac{350.98}{36.72 * (2.25)^{5/3}} = 2.47$$

Por consiguiente, usando los datos obtenidos se tiene:

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

$$H_s = \left[ \frac{2.47 * 2.65^{5/3}}{0.68 * 0.988 * 1 * 1 * (18.53)^{0.28}} \right]^{\frac{1}{1+0.32779478}} = 4.89m$$

Entonces se tiene que la socavación es igual:

$$\Delta S = H_s - h = 2.24m$$

A continuación, se verifica las condiciones de la fórmula de Lischtvan – Levediev teniendo en cuenta dos aspectos fundamentales, que son:

- Flujo subcrítico:  $F < 1.00 \rightarrow F = 0.59 < 1.00$  (cumple)
- Condición de equilibrio de velocidades de flujo:  $V_r = V_e$  (cumple)
- ✓ Velocidad Media Real  $V_r$ :

$$V_r = \frac{\alpha * h^{5/3}}{H_s} = 2.56m/s$$

✓ Velocidad erosiva de suelos granulares  $V_e$ :

$$V_e = 0.68 * \beta * D_m^{0.28} * H_s^z = 2.56m/s$$

## Anexo 09: Cálculos para la socavación general – Método de Blench

### Método de Blench

Según la granulometría, el diámetro de la partícula  $d_{50}$  es mayor a 2mm. Por ende, se aplicó la siguiente fórmula:

$$H_{ms} = 1.23 \left( \frac{q^{2/3}}{d_{50}^{1/12}} \right)$$

Se tendrán en cuenta los períodos de retorno mencionados con sus respectivos caudales de diseño estimados anteriormente.

Además, se consideró que:

- Ancho efectivo de la superficie en la sección transversal (B) = 36.72m
- Diámetro de la partícula  $d_{50} = 0.0095m$
- Profundidad promedio inicial  $H_0 = 2.65m$

Y con ello se prosiguió a estimar el valor de q, donde:  $q = \frac{Q}{B}$ , los resultados se pueden observar en la siguiente tabla:

**Tabla:** Resultados de Caudal por unidad de ancho

$T_r$	$Q_d$	q
1	39.79	1.08
2	116.60	3.18
5	178.76	4.87
10	221.00	6.02
20	261.39	7.12
50	313.13	8.53
75	338.78	9.23
100	350.98	9.56
150	376.21	10.25
200	390.55	10.64
500	457.09	12.45

Reemplazando en la fórmula de Blench se tiene la profundidad de socavación media, luego a este resultado se procedió a restarle la altura de la profundidad media  $H_0$ . Los resultados se pueden observar en la siguiente tabla:

**Tabla:** Resultados de la socavación general estimada por periodo de retorno

$T_r$	$Q_d$ ( $m^3/seg$ )	$H_{ms}(m)$	$\Delta S(m)$
1	39.79	1.99	-0.73
2	116.60	4.07	1.27
5	178.76	5.41	2.56
10	221.00	6.23	3.35
20	261.39	6.97	4.06
50	313.13	7.86	4.92
75	338.78	8.28	5.33
100	350.98	8.48	5.52
150	376.21	8.88	5.91
200	390.55	9.10	6.12
500	457.09	10.11	7.09

## Anexo 10: Cálculos de la socavación local – Método de Lischvan-Levediev

Para determinar la socavación local aplicando el método de Lischvan-Levediev se consideró los diámetros medios que se estimaron para cada una de las muestras. Los cuales son:

$$D_{m1} = 18.53mm$$

$$D_{m2} = 4.84mm$$

$$D_{m3} = 8.47mm$$

Entonces se escogió tres secciones las cuales son: sección 09, sección 13 y sección 15. Se realizaron los cálculos para un período de retorno de 100 años manteniendo así el caudal de diseño.

a) Para la sección 09 se consideró:

- Ancho efectivo  $B_e = 32.47m$
- Profundidad promedio inicial  $H_0 = 3.14m$
- Área hidráulica  $A_h = 88.18m^2$
- Perímetro mojado  $P_m = 33.73m$
- Radio hidráulico  $R_h = \frac{A_h}{P_m} = 2.61 m$
- Caudal de diseño  $Q_d = 350.98m^3/s$
- Coeficiente de frecuencia ( $\beta$ ):

$$\beta = 0.7929 + 0.0973 \log(T_r) = 0.988$$

- Coeficiente de Sección

$$\alpha = \frac{Q_d}{B_e * (R)^{5/3}} = \frac{350.98}{33.80 * (2.61)^{5/3}} = 2.18$$

- Exponente variable ( $x$ ) en función del diámetro medio ( $D_m$ ):

Para  $D_{m2} = 4.84mm$

$$X \approx Z = 0.394557 - 0.04136 \log(D_m) - 0.00891 \log^2(D_m)$$

$$Z = 0.36205289$$

Para  $D_{m3} = 8.47mm \rightarrow Z = 0.34850852$

Para  $D_{m1} = 18.53mm \rightarrow Z = 0.32779478$

- Para el coeficiente por contracción, se utilizó:  $\mu = 1.00$  (no hay obstáculos)

Por consiguiente, usando los datos obtenidos se tiene:

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

Para  $D_{m2} = 4.84mm$

$$H_s = \left[ \frac{2.179 * 3.14^{5/3}}{0.68 * 0.988 * 1 * 1 * (4.84)^{0.28}} \right]^{\frac{1}{1+0.3620529}} = 6.97m$$

Para  $D_{m3} = 8.47mm$

$$H_s = \left[ \frac{2.179 * 3.14^{5/3}}{0.68 * 0.988 * 1 * 1 * (8.47)^{0.28}} \right]^{\frac{1}{1+0.34850852}} = 6.33m$$

Para  $D_{m1} = 18.53mm$

$$H_s = \left[ \frac{2.179 * 3.14^{5/3}}{0.68 * 0.988 * 1 * 1 * (18.53)^{0.28}} \right]^{\frac{1}{1+0.32779478}} = 5.52m$$

Entonces se tiene que la socavación es igual:

$$\Delta S = H_s - h$$

Para  $D_{m2} = 4.84mm \quad \rightarrow \Delta S = 3.83m$

Para  $D_{m3} = 8.47mm \quad \rightarrow \Delta S = 3.18m$

Para  $D_{m1} = 18.53mm \quad \rightarrow \Delta S = 2.38m$

b) Para la sección 13 se consideró:

- Ancho efectivo  $B_e = 41.31m$
- Profundidad promedio inicial  $H_0 = 2.37m$
- Área hidráulica  $A_h = 74.76m^2$
- Perímetro mojado  $P_m = 37.97m$



○ Radio hidráulico  $R_h = \frac{A_h}{P_m} = 1.97 \text{ m}$

○ Caudal de diseño  $Q_d = 350.98 \text{ m}^3/\text{s}$

○ Coeficiente de frecuencia ( $\beta$ ):

$$\beta = 0.7929 + 0.0973 \log(T_r) = 0.988$$

○ Coeficiente de Sección

$$\alpha = \frac{Q_d}{B_e * (R)^{5/3}} = \frac{350.98}{33.80 * (1.97)^{5/3}} = 2.747$$

○ Exponente variable (x) en función del diámetro medio ( $D_m$ ):

Para  $D_{m2} = 4.84 \text{ mm}$

$$X \approx Z = 0.394557 - 0.04136 \log(D_m) - 0.00891 \log^2(D_m)$$
$$Z = 0.36205289$$

Para  $D_{m3} = 8.47 \text{ mm} \rightarrow Z = 0.34850852$

Para  $D_{m1} = 18.53 \text{ mm} \rightarrow Z = 0.32779478$

○ Para el coeficiente por contracción, se utilizó:  $\mu = 1.00$  (no hay obstáculos)

Por consiguiente, usando los datos obtenidos se tiene:

$$H_s = \left[ \frac{\alpha \cdot h^{5/3}}{0.68 \cdot \beta \mu \varphi D_m^{0.28}} \right]^{1/(1+Z)}$$

Para  $D_{m2} = 4.84 \text{ mm}$

$$H_s = \left[ \frac{2.747 * 2.37^{5/3}}{0.68 * 0.988 * 1 * 1 * (4.84)^{0.28}} \right]^{1/(1+0.3620529)} = 5.83 \text{ m}$$

Para  $D_{m3} = 8.47 \text{ mm}$

$$H_s = \left[ \frac{2.747 * 2.37^{5/3}}{0.68 * 0.988 * 1 * 1 * (8.47)^{0.28}} \right]^{1/(1+0.34850852)} = 5.29 \text{ m}$$

Para  $D_{m1} = 18.53 \text{ mm}$

$$H_s = \left[ \frac{2.747 * 2.37^{5/3}}{0.68 * 0.988 * 1 * 1 * (18.53)^{0.28}} \right]^{\frac{1}{1+0.32779478}} = 4.60m$$

Entonces se tiene que la socavación es igual:

$$\Delta S = H_s - h$$

Para  $D_{m2} = 4.84mm \rightarrow \Delta S = 3.47m$

Para  $D_{m3} = 8.47mm \rightarrow \Delta S = 2.92m$

Para  $D_{m1} = 18.53mm \rightarrow \Delta S = 2.23m$

c) Para la sección 15 se consideró:

- Ancho efectivo  $B_e = 45.60m$
- Profundidad promedio inicial  $H_0 = 3.04m$
- Área hidráulica  $A_h = 94.51m^2$
- Perímetro mojado  $P_m = 41.14m$
- Radio hidráulico  $R_h = \frac{A_h}{P_m} = 2.30 m$
- Caudal de diseño  $Q_d = 350.98m^3/s$
- Coeficiente de frecuencia ( $\beta$ ):

$$\beta = 0.7929 + 0.0973 \log(T_r) = 0.988$$

- Coeficiente de Sección

$$\alpha = \frac{Q_d}{B_e * (R)^{5/3}} = \frac{350.98}{45.60 * (2.30)^{5/3}} = 1.925$$

- Exponente variable (x) en función del diámetro medio ( $D_m$ ):

Para  $D_{m2} = 4.84mm$

$$X \approx Z = 0.394557 - 0.04136 \log(D_m) - 0.00891 \log^2(D_m)$$

$$Z = 0.36205289$$

Para  $D_{m3} = 8.47mm \rightarrow Z = 0.34850852$

Para  $D_{m1} = 18.53mm \rightarrow Z = 0.32779478$

- Para el coeficiente por contracción, se utilizó:  $\mu = 1.00$  (no hay obstáculos)

Por consiguiente, usando los datos obtenidos se tiene:

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

Para  $D_{m2} = 4.84mm$

$$H_s = \left[ \frac{1.93 * 2.41^{5/3}}{0.68 * 0.988 * 1 * 1 * (4.84)^{0.28}} \right]^{\frac{1}{1+0.3620529}} = 4.59m$$

Para  $D_{m3} = 8.47mm$

$$H_s = \left[ \frac{1.93 * 2.41^{5/3}}{0.68 * 0.988 * 1 * 1 * (8.47)^{0.28}} \right]^{\frac{1}{1+0.34850852}} = 4.15m$$

Para  $D_{m1} = 18.53mm$

$$H_s = \left[ \frac{1.93 * 2.41^{5/3}}{0.68 * 0.988 * 1 * 1 * (18.53)^{0.28}} \right]^{\frac{1}{1+0.32779478}} = 3.60m$$

Entonces se tiene que la socavación es igual:

$$\Delta S = H_s - h$$

Para  $D_{m2} = 4.84mm \rightarrow \Delta S = 2.18m$

Para  $D_{m3} = 8.47mm \rightarrow \Delta S = 1.74m$

Para  $D_{m1} = 18.53mm \rightarrow \Delta S = 1.19m$

## Anexo 11: Cálculo de la socavación local – Método de Artamonov

### Método de Artamonov

Posteriormente, para determinar la profundidad de la socavación local en los muros de defensa ribereña se utilizó el método de Artamonov, para ello se consideró a las secciones anteriormente estudiadas.

a) Para la sección 09 se consideró los siguientes parámetros hidráulicos:

- Profundidad promedio inicial  $H_0 = 3.14m$
- Caudal de diseño  $Q_d = 350.98m^3/s$
- Caudal que teóricamente pasaría  $Q_1 = 35.10 m^3/s$

Con ellos se estimó los parámetros adimensionales:

- Coeficiente que depende de  $Q_1/Q_d$ :

$$P_q = 4.429 + 1.063 * \ln\left(\frac{Q_d}{Q_1}\right) = 1.98$$

- Coeficiente que depende del ángulo  $\alpha$ , donde  $\alpha = 90^\circ$ :

$$P_\alpha = 0.782 * 1.063 * e^{0.0028\alpha} = 1.01$$

- Coeficiente que depende del talud, donde  $R = 0$ :

$$P_R = 1.028 * e^{-0.24R} = 1.03$$

Por consiguiente, se calculó la profundidad de socavación

$$H_s = P_q * P_\alpha * P_R * H_0$$

$$H_s = 1.98 * 1.01 * 1.03 * 3.14 = 6.44m$$

Finalmente, la socavación en la sección 09 es:

$$\Delta S = H_s - h = 3.30m$$

b) Para la sección 13 se consideró los siguientes parámetros hidráulicos:

- Profundidad promedio inicial  $H_0 = 2.37m$
- Caudal de diseño  $Q_d = 350.98m^3/s$
- Caudal que teóricamente pasaría  $Q_1 = 35.10 m^3/s$

Con ellos se estimó los parámetros adimensionales:

- Coeficiente que depende de  $Q_1/Q_d$ :

$$P_q = 4.429 + 1.063 * \ln\left(\frac{Q_d}{Q_1}\right) = 1.98$$

- Coeficiente que depende del ángulo  $\alpha$ , donde  $\alpha = 90^\circ$ :

$$P_\alpha = 0.782 * 1.063 * e^{0.0028\alpha} = 1.01$$

- Coeficiente que depende del talud, donde  $R = 0$ :

$$P_R = 1.028 * e^{-0.24R} = 1.03$$

Por consiguiente, se calculó la profundidad de socavación

$$H_s = P_q * P_\alpha * P_R * H_0$$

$$H_s = 1.98 * 1.01 * 1.03 * 2.37 = 4.85m$$

Finalmente, la socavación en la sección 13 es:

$$\Delta S = H_s - h = 2.48m$$

c) Para la sección 15 se consideró los siguientes parámetros hidráulicos:

- Profundidad promedio inicial  $H_0 = 3.02m$
- Caudal de diseño  $Q_d = 350.98m^3/s$
- Caudal que teóricamente pasaría  $Q_1 = 35.10 m^3/s$

Con ellos se estimó los parámetros adimensionales:

- Coeficiente que depende de  $Q_1/Q_d$ :

$$P_q = 4.429 + 1.063 * \ln\left(\frac{Q_d}{Q_1}\right) = 1.98$$

- Coeficiente que depende del ángulo  $\alpha$ , donde  $\alpha = 90^\circ$ :

$$P_\alpha = 0.782 * 1.063 * e^{0.0028\alpha} = 1.01$$

- Coeficiente que depende del talud, donde  $R = 0$ :

$$P_R = 1.028 * e^{-0.24R} = 1.03$$

Por consiguiente, se calculó la profundidad de socavación

$$H_s = P_q * P_\alpha * P_R * H_0$$

$$H_s = 1.98 * 1.01 * 1.03 * 2.73 = 6.19m$$

Finalmente, la socavación en la sección 15 es:

$$\Delta S = H_s - h = 3.17m$$

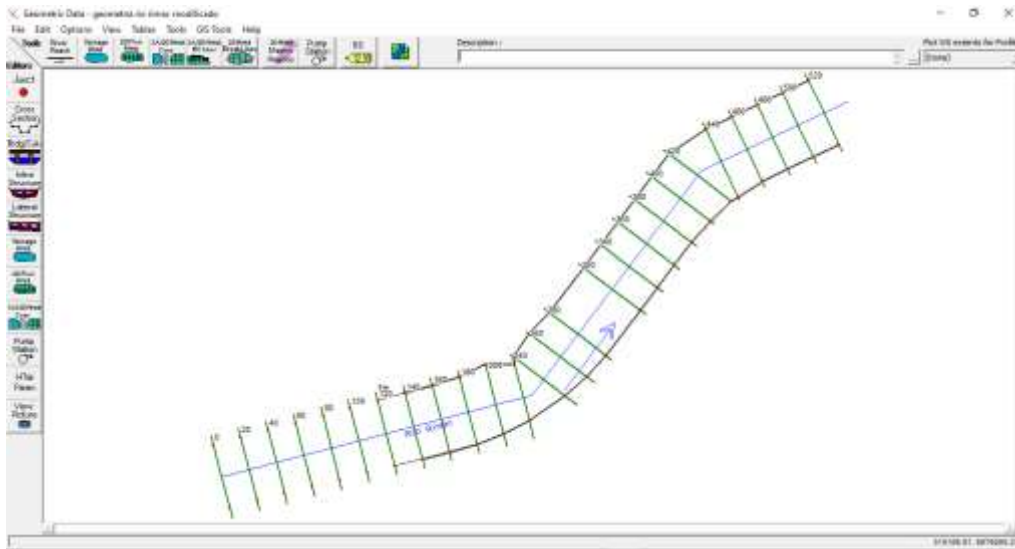
## Anexo 13: Modelamiento en HEC- RAS

Se procedió a realizar el modelamiento del tramo del río Rímac en el programa HEC-RAS.



Para ello, se importó el levantamiento topográfico del río Rímac, con los puntos tomados en el trabajo de campo, los cuales fueron procesados previamente con el software Civil 3D, estos se muestran en el anexo 16.

En la siguiente figura se puede apreciar el tramo del río Rímac con 27 secciones, en las cuales se analizó la socavación para un periodo de retorno de 100 años.

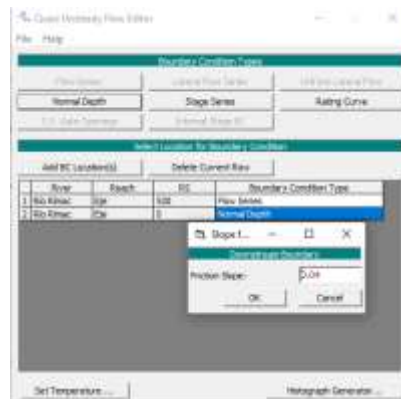


En la siguiente figura se puede ver una de las secciones, los puntos establecidos para esta sección y el coeficiente de Manning que fue calculado anteriormente.

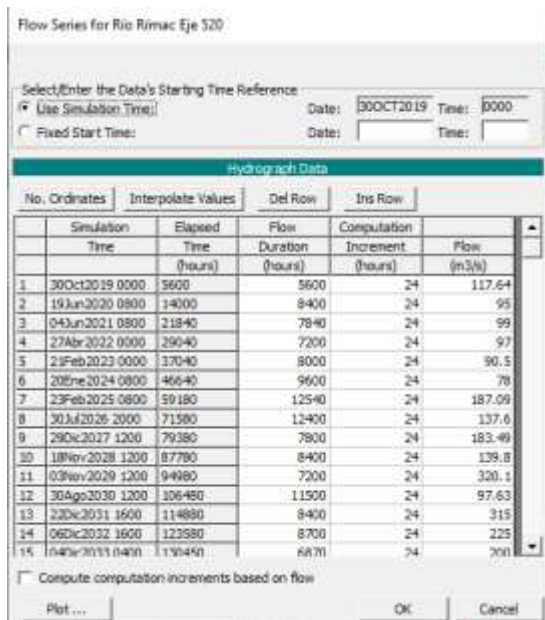




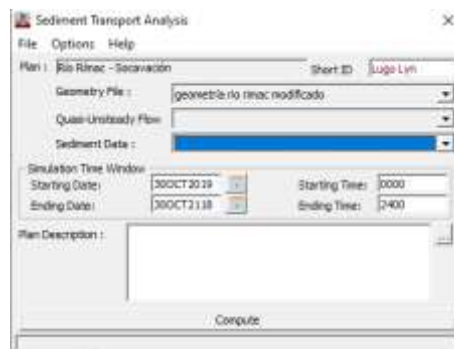
A continuación, se ingresan los datos del flujo cuasi-inestable, donde se ingresa el valor de la pendiente que es de 4%.



Posteriormente, se ingresan los datos del registro de caudales y las respectivas temperaturas, además se menciona que el análisis se realiza para un periodo de retorno de 100 años.



Con todos los datos ya ingresados se procedió a realizar la simulación de la socavación en los muros del río Rímac, para ello se realizó el sediment transport analysis.



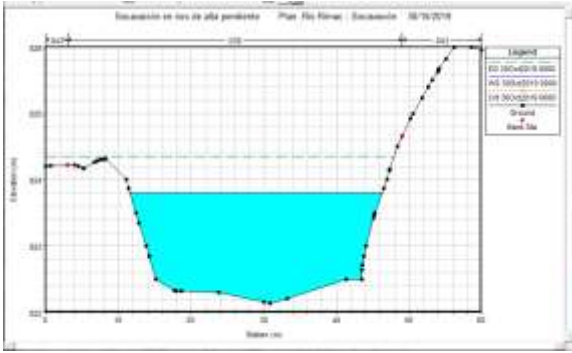


Figura: Sección 240

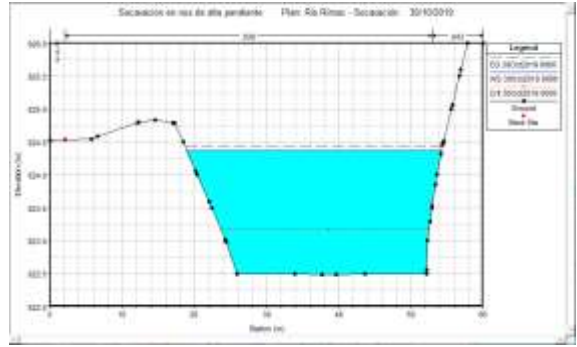


Figura: Sección 260

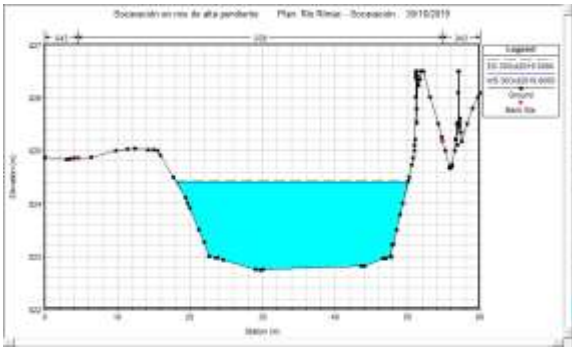


Figura: Sección 280

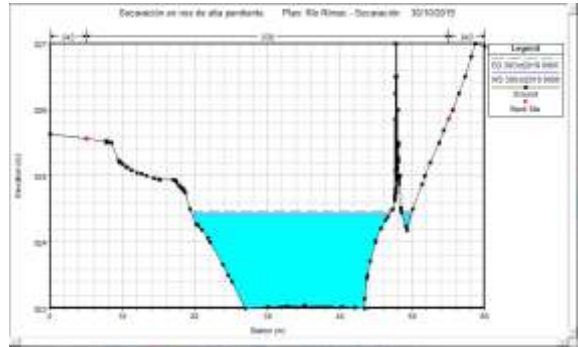


Figura: Sección 320

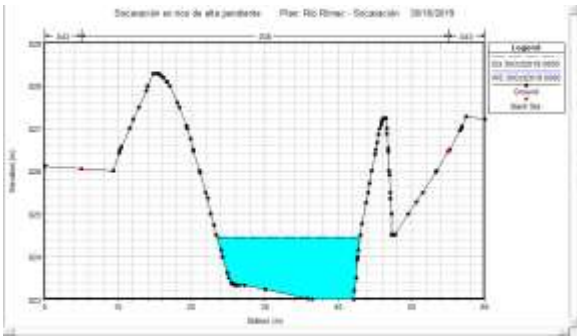


Figura: Sección 340

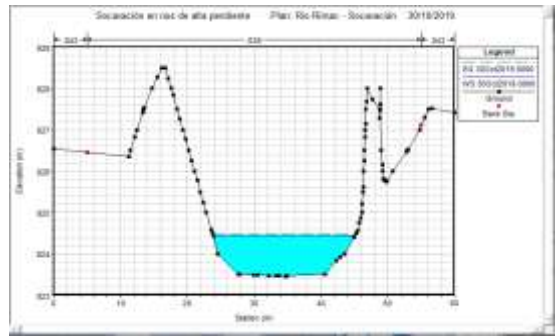


Figura: Sección 360

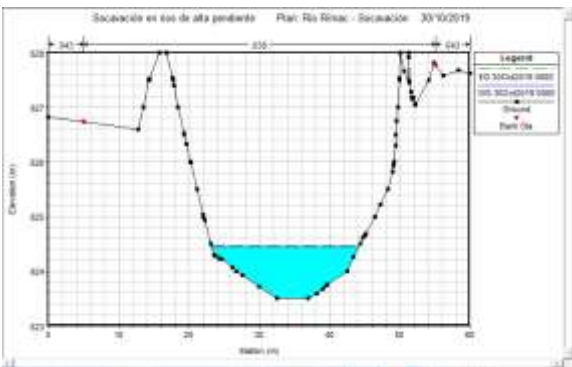


Figura: Sección 380

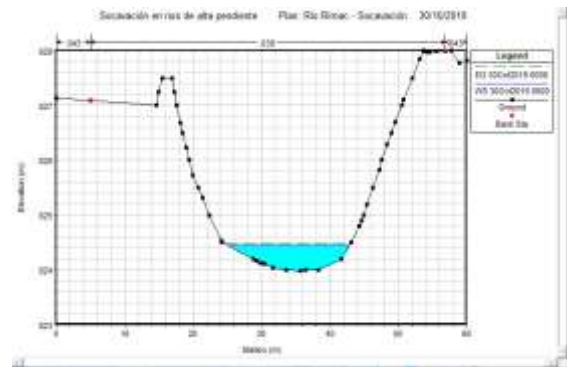


Figura: Sección 400

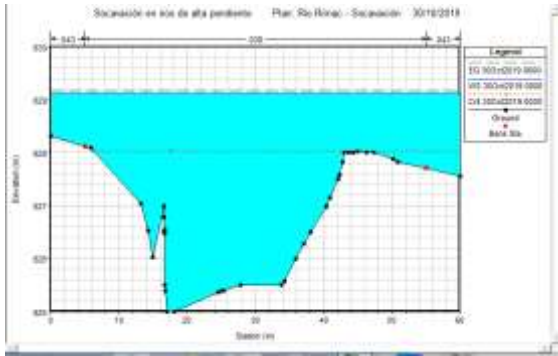


Figura: Sección 480

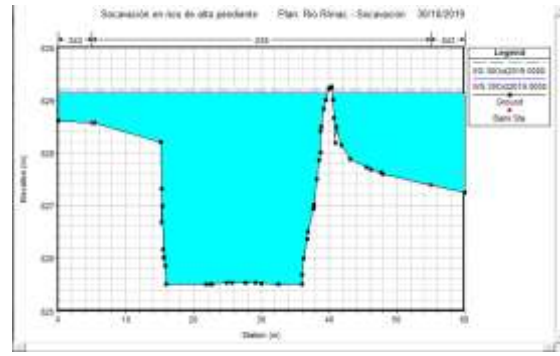


Figura: Sección 500

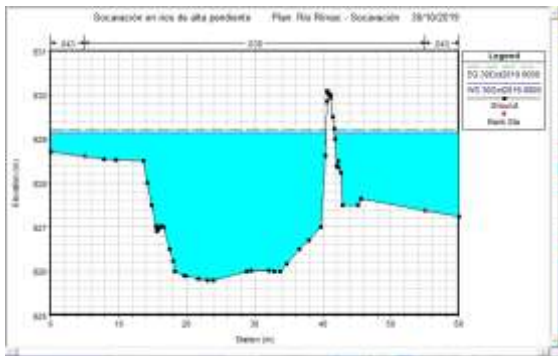


Figura: Sección 520

Figura de la profundidad de la socavación obtenida en cada una de las secciones:

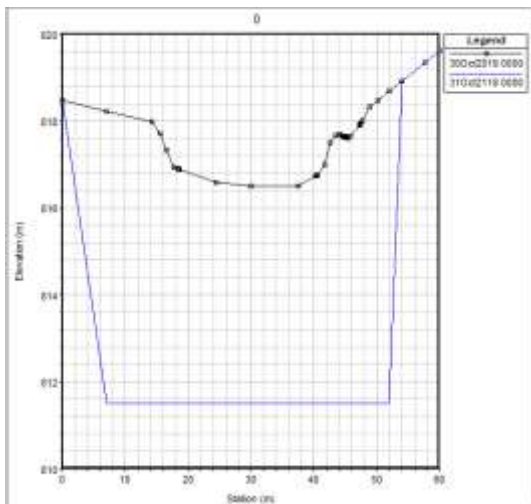


Figura: Sección 0

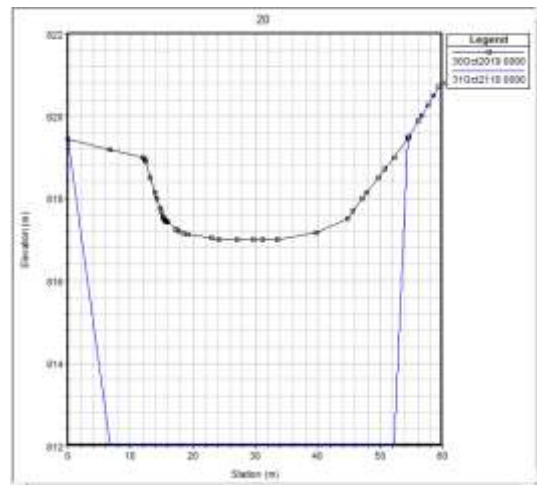


Figura: Sección 20

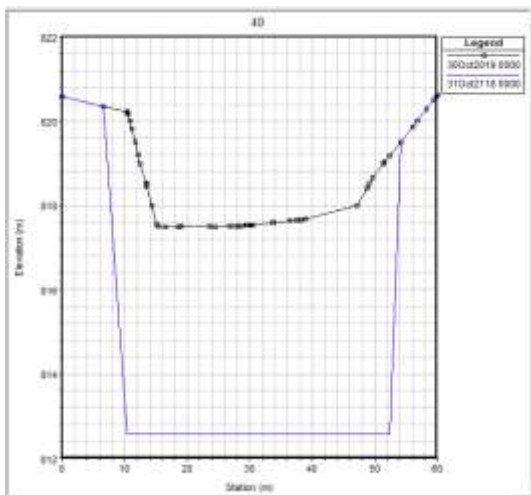


Figura: Sección 40

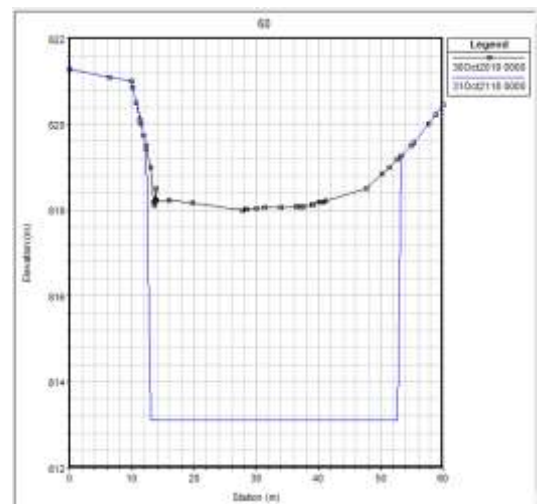


Figura: Sección 60

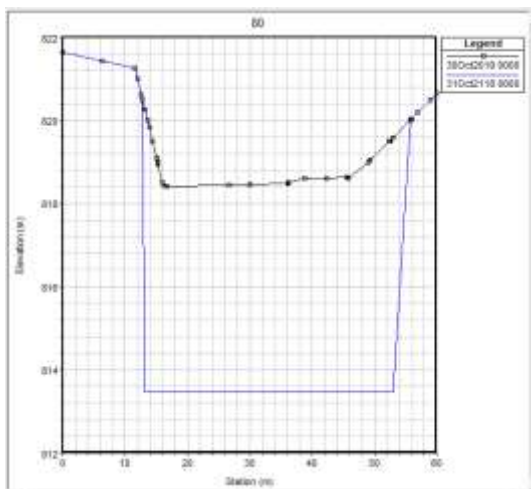


Figura: Sección 80

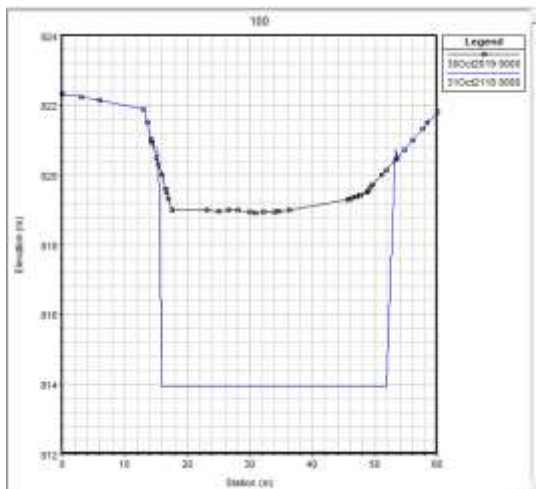


Figura: Sección 100

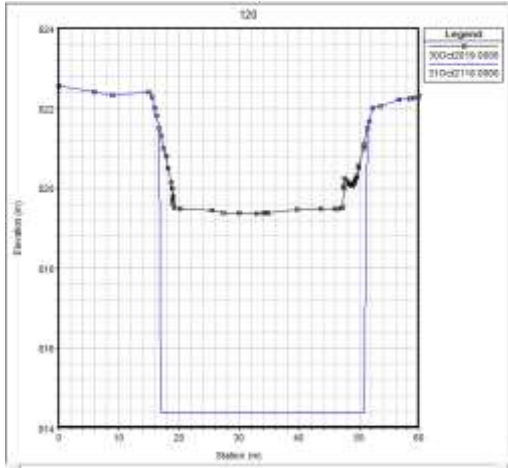


Figura: Sección 120

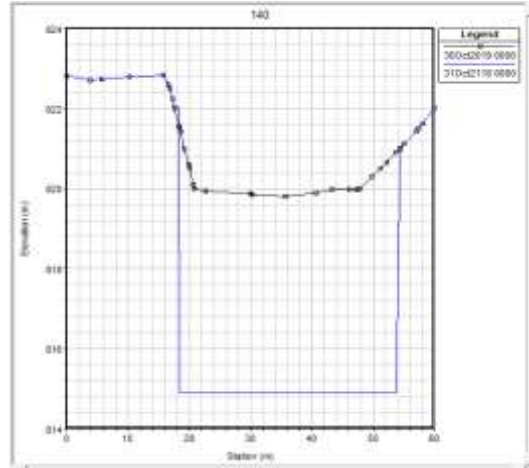


Figura: Sección 140

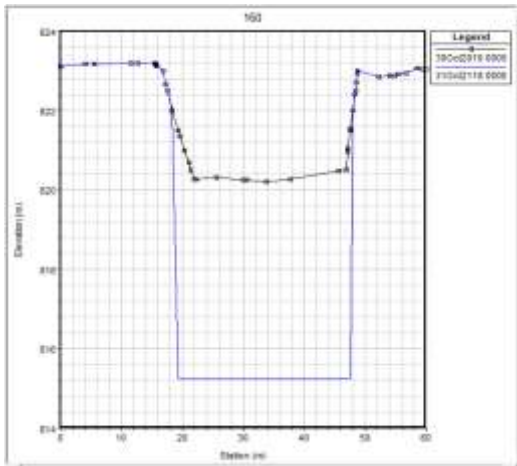


Figura: Sección 160

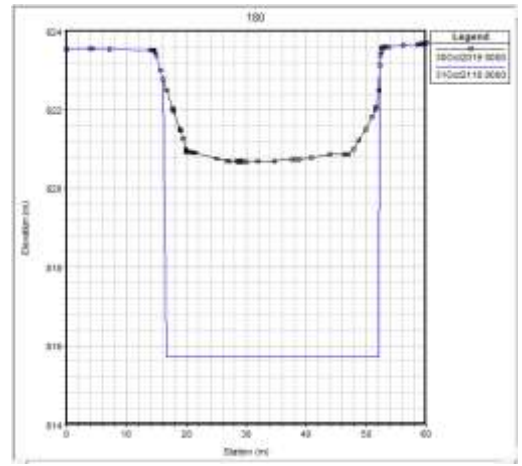


Figura: Sección 180

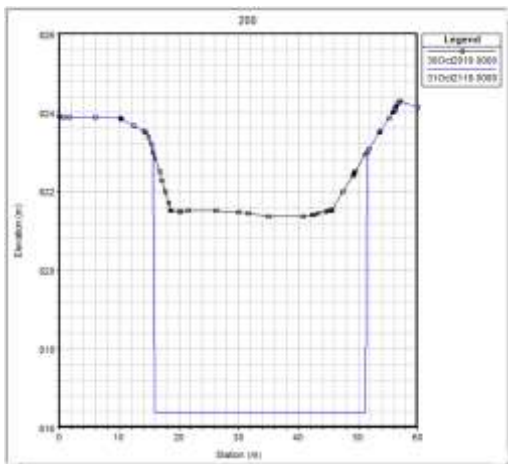


Figura: Sección 200

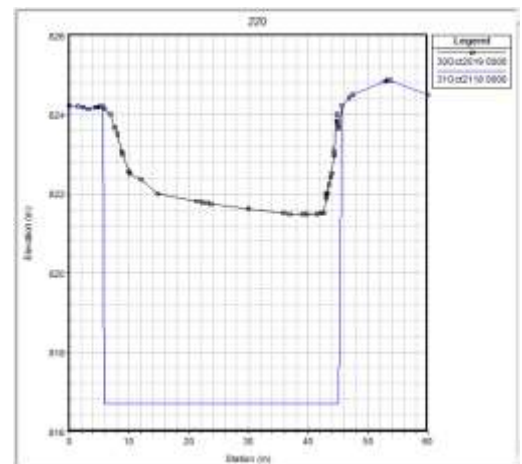


Figura: Sección 220



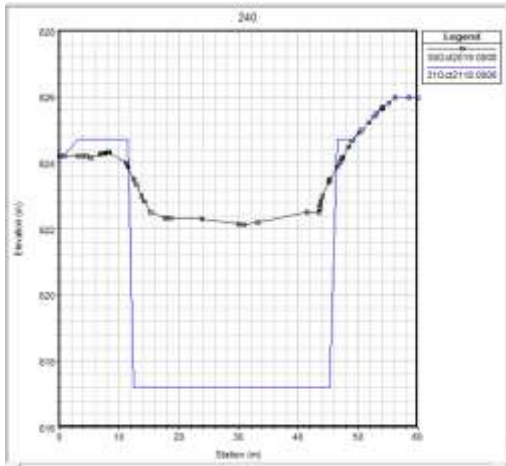


Figura: Sección 240

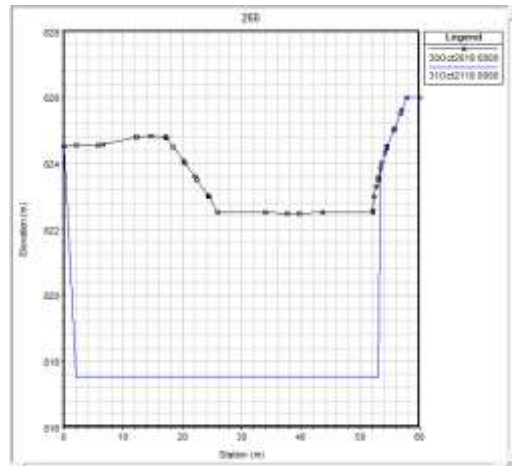


Figura: Sección 260

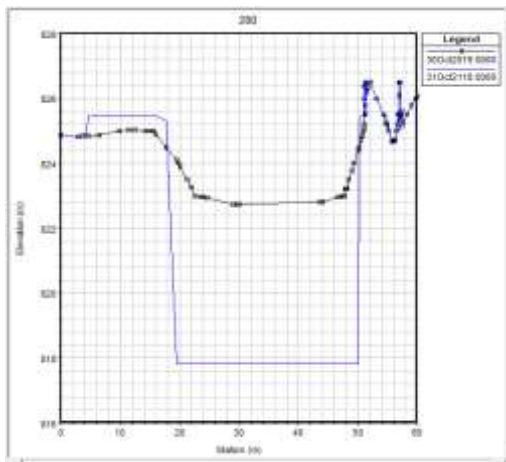


Figura: Sección 280

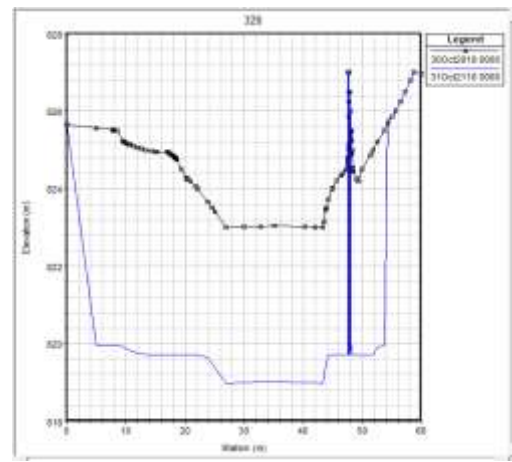


Figura: Sección 320

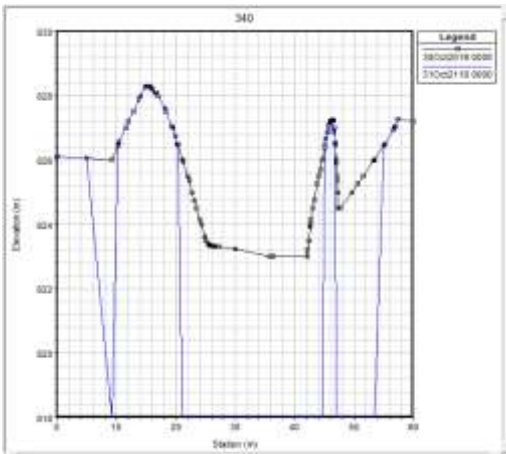


Figura: Sección 340

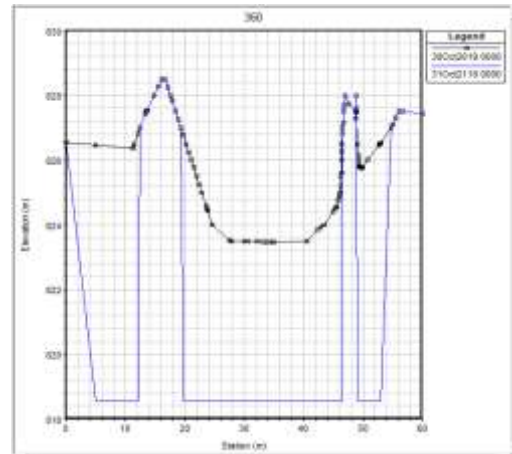


Figura: Sección 360

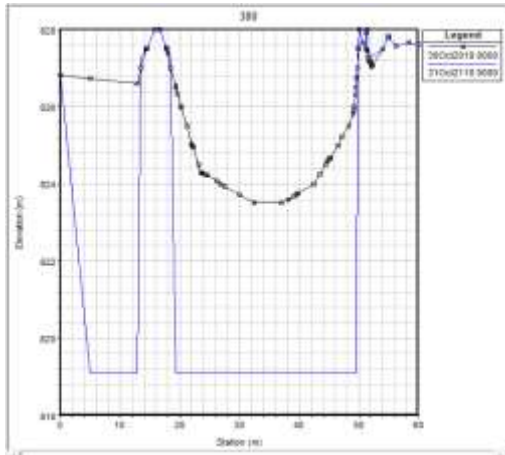


Figura: Sección 380

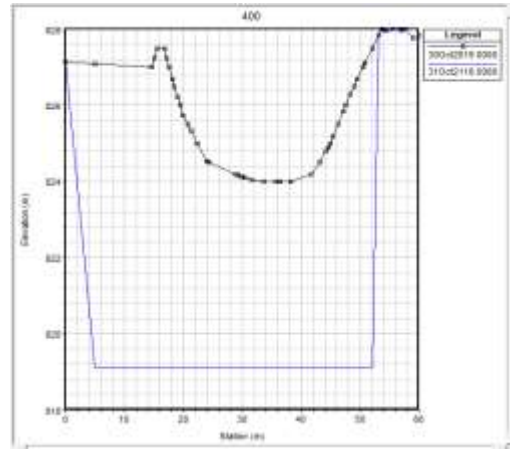


Figura: Sección 400

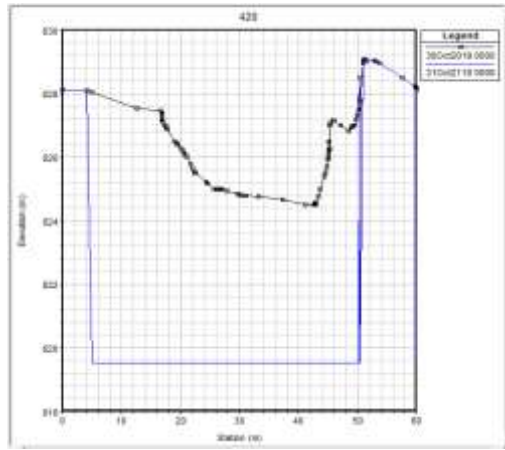


Figura: Sección 420

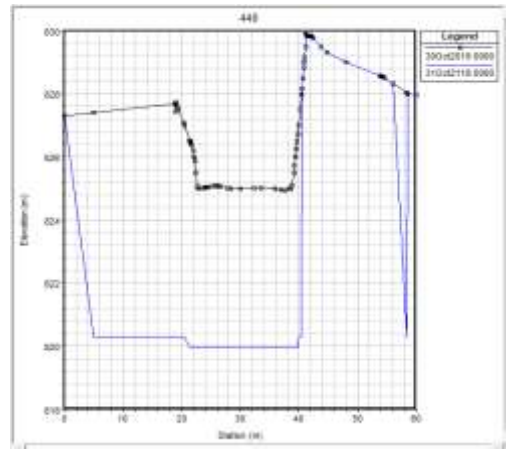


Figura: Sección 440

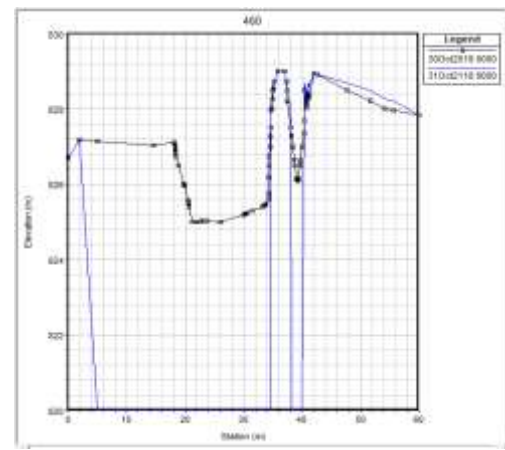


Figura: Sección 460

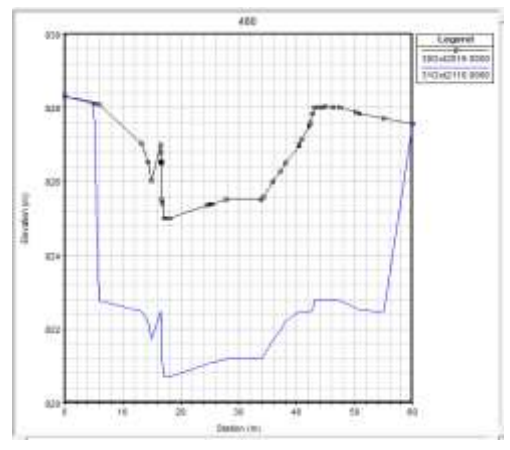


Figura: Sección 480

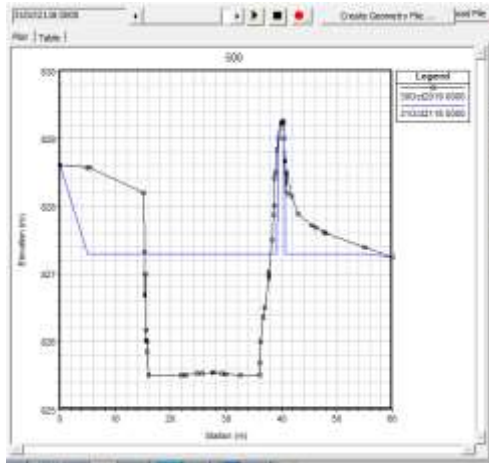


Figura: Sección 500

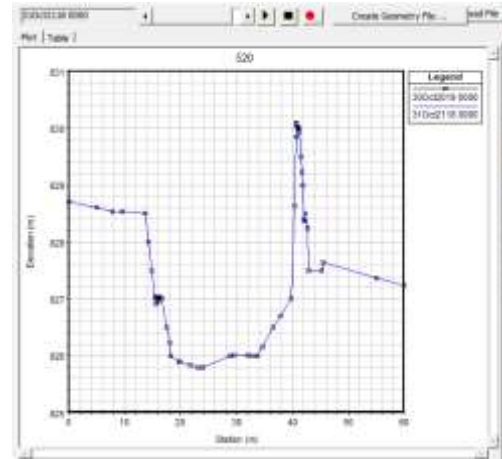


Figura: Sección 520



Anexo 13: Certificado de calibración de la estación total

**CERTIFICADO DE VERIFICACION Y AJUSTES**

N°21780-19

San Isidro 8, agosto 2019

A petición de PINEDO CERNA JOSE LUIS, la empresa SURVEY RENTAL & SALES SAC, le expide el presente Certificado de Calibración por un (01);

**ESTACION TOTAL MARCA LEICA MODELO TS06 PLUS 5" R500**

Con N° de serie 1364406, dicho instrumento ha sido revisado y calibrado todos los puntos en nuestro laboratorio y se encuentra en perfecto estado de funcionamiento de acuerdo a los estándares internacionales establecidos (DIN18723).

Equipo de calibración utilizado :

Equipo /Modelo	Marca	Serie	Temperatura
ESTACION TOTAL TS11	LEICA	1674905	21°C

Resultado :

Valor de Patrón	Valor Obtenido	Precisión Angular	Error Medido
VR: 360° 00' 00"	360° 00' 01"	05"	01"
HZ: 180° 00' 00"	180° 00' 01"	05"	05"

Medición de distancia con Prisma

BASE	DISTANCIA OBTENIDA	PRECISION LINEAL	DIFERENCIA
12.6455	12.6458	1.5 mm +2 ppm	0.0003
29.9866	29.9869	1.5 mm +2 ppm	0.0003

Medición de distancia sin Prisma

BASE	DISTANCIA OBTENIDA	PRECISION LINEAL	DIFERENCIA
16.5978	16.5984	2 mm + 2 ppm	0.0006
30.0421	30.0427	2 mm + 2 ppm	0.0006

\*Las unidades de distancia están expresadas en metros(m).

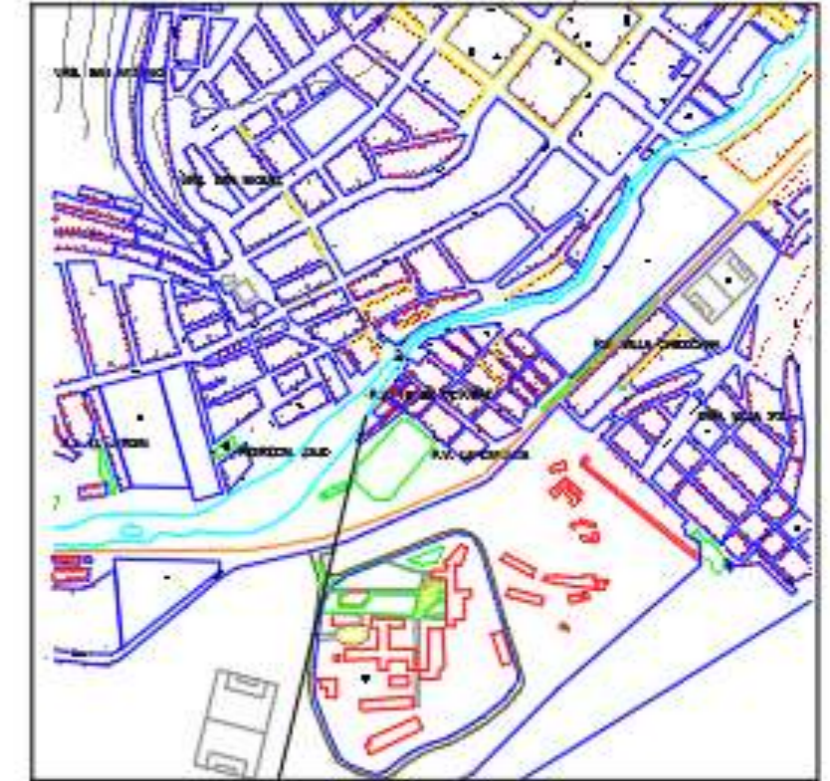
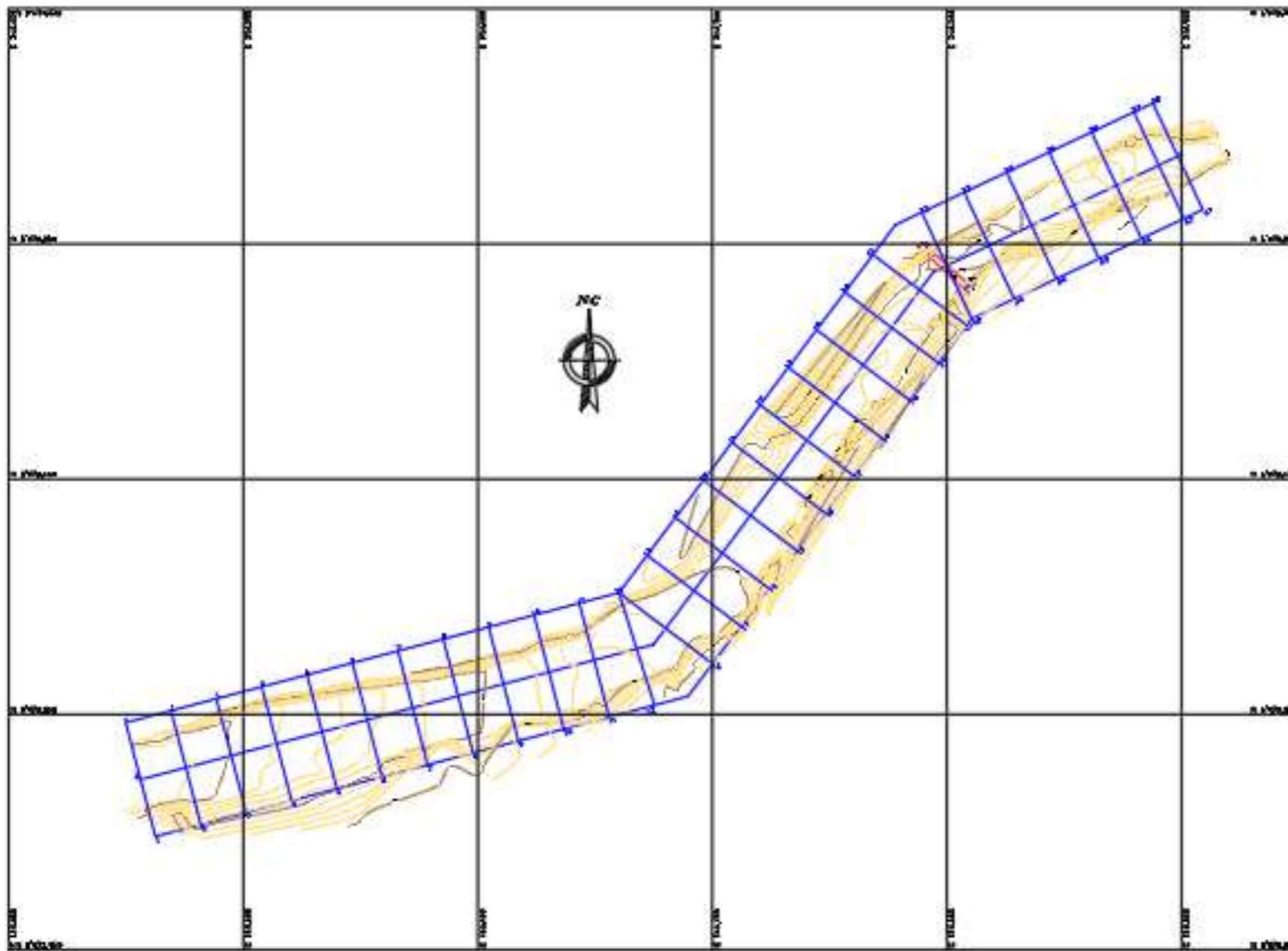
Certificado Por:  
 Ing. José Quispe Peña  
 Supervisor de Laboratorio

**Survey Rental & Sales S.A.C.**  
 JOSE MANUEL QUISPE P.  
 ING. ELECTRONICUPE DE SERVICIO TECNICO

Fecha Calibración:  
 8, agosto 2019  
 Fecha Prox. Calibración:  
 8, febrero 2020



## **Anexo 14: Plano de Ubicación**



PLANO DE UBICACION

**UBICACION:**

ESCALA 1/2.000

DEPARTAMENTO : LIMA  
 PROVINCIA : LIMA  
 DISTRITO : LURIGANCHO  
 SECTOR : RIO RIMAC



FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**TITULO DE INVESTIGACIÓN:**

"Socavación en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente - río Rimac zona del Pedregal, distrito de Lurigancho, Lima en el 2019"

**INVESTIGADOR:**

LUGO ESPINOZA, JOSSELYN VANESSA

LAMINA

**PLANO:**

PLANO DE UBICACIÓN

**PU-01**

**ESCALA:**

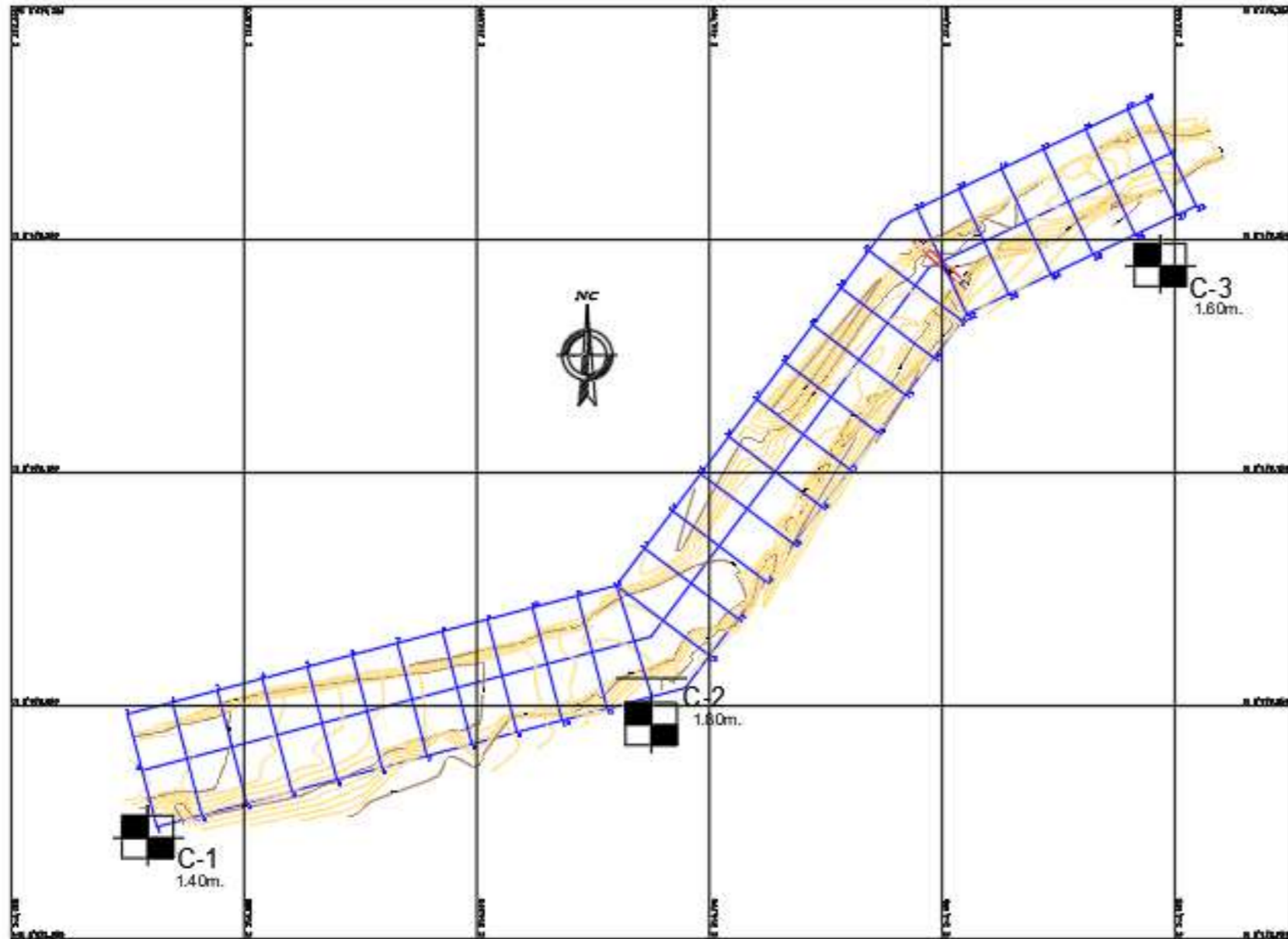
1:1000

**FECHA:**

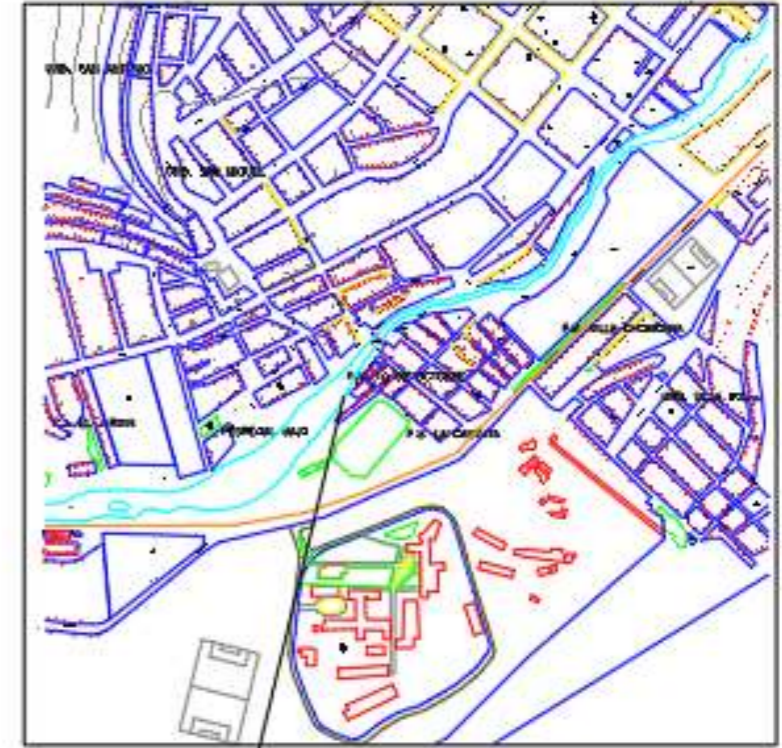
OCTUBRE 2019

## **Anexo 15: Plano de Ubicación de Calicatas**





LEYENDA	
	Calicata



PLANO DE UBICACION

**UBICACION:**

ESCALA 1/2.000

DEPARTAMENTO : LIMA  
 PROVINCIA : LIMA  
 DISTRITO : LURIGANCHO  
 SECTOR : RIO RIMAC



FACULTAD DE INGENIERIA  
 ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

**TITULO DE INVESTIGACIÓN:**

"Socavación en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente – río Rímac zona del Pedregal, distrito de Lurigancho, Lima en el 2019"

**INVESTIGADOR:**

LUGO ESPINOZA, JOSSELYN VANESSA

LAMINA

**PLANO:**

PLANO DE UBICACIÓN DE CALICATAS

**PU-02**

**ESCALA:**

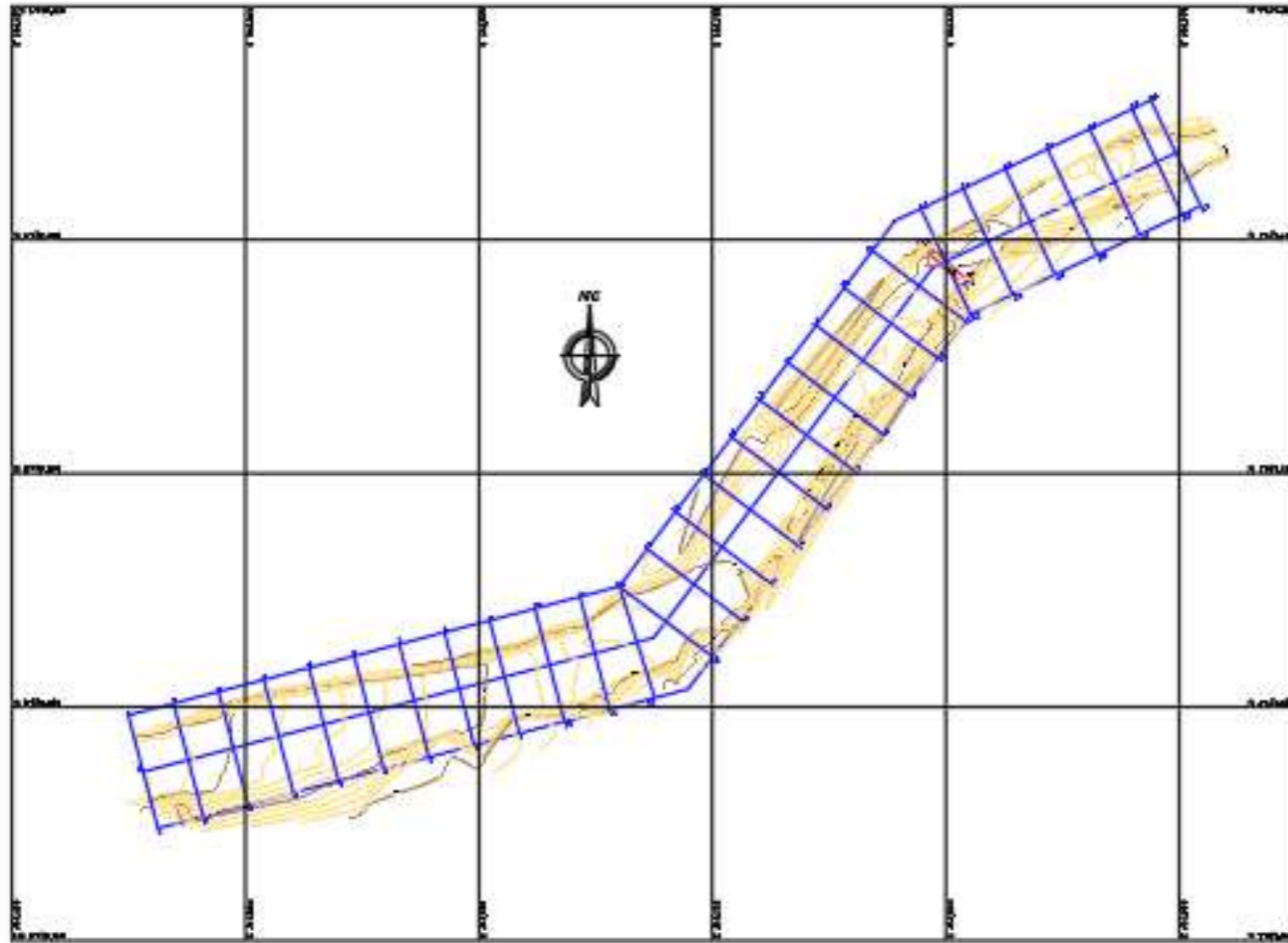
1:1000

**FECHA:**

OCTUBRE 2019

## **Anexo 16: Plano de Levantamiento topográfico**

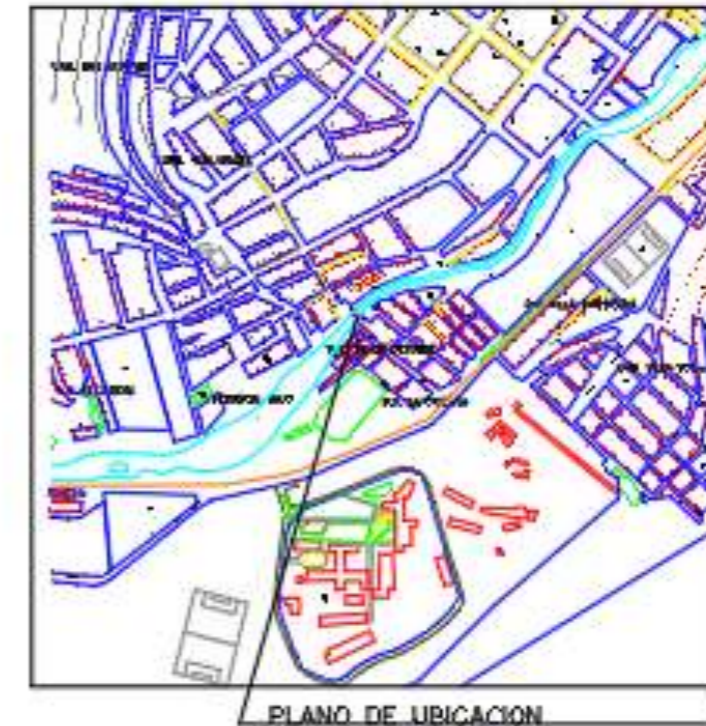




PERFIL LONGITUDINAL DEL RIO



ANEXO 01  
 01/01/2019



UBICACION:

ESCALA 1/2.000

DEPARTAMENTO : LIMA  
 PROVINCIA : LIMA  
 DISTRITO : LURICANCHO  
 SECTOR : RIO RIMAC



FACULTAD DE INGENIERIA  
 ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TITULO DE INVESTIGACIÓN:

"Socavación en muros de defensa ribereña en ríos de alta pendiente - río Rímac zona del Pedregal, distrito de Lurigancho, Lima en el 2019"

INVESTIGADOR:  
 LUGO ESPINOZA, JOSSELYN VANESSA

LAMINA

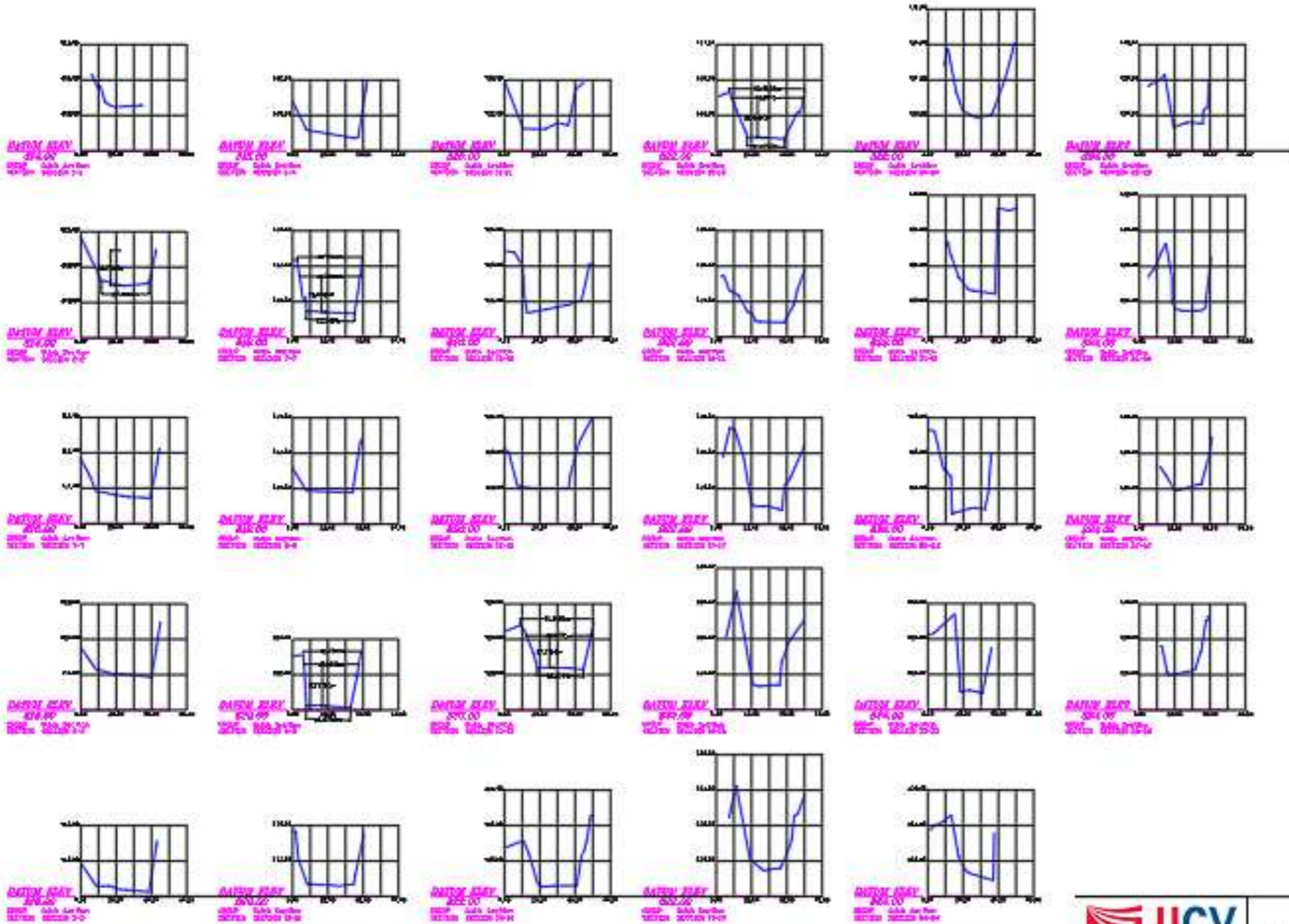
PLANO:  
 PLANO TOPOGRAFICO

PT-01

ESCALA: 1:1000      FECHA: OCTUBRE 2019

## **Anexo 17: Plano de Secciones Transversales**





ESCALA: V=1  
H=1



FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TITULO DE INVESTIGACIÓN:  
"Socavación en muras de defensa ribereña en ríos de alta pendiente - río Rimac zona del Pedregal, distrito de Lurigancho, Lima en el 2019"

INVESTIGADOR:  
LUGO ESPINOZA, JOSSELYN VANESSA

LAMINA

PLANO:  
PLANO DE SECCIONES TRANSVERSALES

PT-02

ESCALA: 1:1000

FECHA: OCTUBRE 2019

## Anexo 18: Panel Fotográfico



Figura: Vista actual del tramo del río Rímac



Figura: Vista de las viviendas aledañas al río



Figura: Estado actual de la cimentación



Figura: estado actual de la defensa ribereña



Figura: Vista del muro de defensa ribereña en la zona del Pedregal





Figura: Excavación manual de la calicata C-1



Figura: Profundidad de la calicata C-1



Figura: Ubicación de la calicata C-1



Figura: Excavación manual de la calicata C-2



Figura: Ubicación de la calicata C-2



Figura: Ubicación de la calicata C-3



Figura: Excavación manual de la calicata C-3





Figura: Ubicación de la estación total en el punto 1



Figura: Inicio del levantamiento topográfico



Figura: Estación total



Figura: Ubicación de la estación total en el siguiente punto



Figura: Levantamiento topográfico del río Rímac en la zona del Pedregal