



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

“Análisis de estabilidad de taludes para la protección contra inundaciones en  
el Sector de la Av. Malecón Chillón – Puente Piedra, 2017”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO CIVIL**

**AUTOR**

Machco Perez, Orvik Erik

**ASESOR**

Mg. Ing. Mogrovejo Gutierrez, Ruben Esau

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Diseño de Obras Hidráulicas y Saneamiento

**LIMA - PERÚ**

**2018**

## PÁGINA DEL JURADO

 <b>UCV</b> UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	<b>ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS</b>	Código : F06-PP-PR-02.02 Versión : 09 Fecha : 23-03-2018 Página : 1 de 1
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------

El Jurado encargado de evaluar la tesis presentada por don (ña): Orvik Erik Machco Perez cuyo título es: "

Análisis de estabilidad de taludes para la protección contra inundaciones en el sector de la Av. Malecón Chillón – Puente Piedra, 2017"

Reunido en la fecha, escuchó la sustentación y la resolución de preguntas por el estudiante, otorgándole el calificativo de: ..... (número) *14* ..... *Catorce* ..... (letras).

Lugar y fecha..... *17/07/2018* .....

.....  
**PRESIDENTE**

(Mg. Ing. Benites Zuñiga, Jose Luis)

.....  
**SECRETARIO**

(Mg. Ing. Córdova Salcedo, Felimón Domingo)

.....  
**VOCAL**

(Mg. Ing. Mogrovejo Gutierrez, Ruben Esau)

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Responsable de SGC	Aprobó	Vicerrectorado de Investigación
---------	----------------------------	--------	--------------------	--------	---------------------------------

**DEDICATORIA:**

A mis padres Don Santos Juan Machco Morales y Doña Georgina Faustina Perez Flores y hermanos Santos, Mayli y Gina, por su apoyo incondicional, consejos y valores transmitidos durante el recorrido de mis estudios, así como a toda mi grandiosa familia.

### **AGRADECIMIENTOS:**

En primer lugar, a dios, por ser mí guía en el recorrido de mi vida cotidiana.

A nuestra prestigiosa Universidad Cesar Vallejo por brindarme las herramientas y conocimientos necesarios en la formación de mi carrera profesional.

A mis docentes y asesores por su paciencia, enseñanza y conocimientos transmitidos hacia mi persona, los cuales me ayudaron a realizar este trabajo de investigación.

A todas las personas que de alguna manera fueron participe en la creación, desarrollo y terminación de este trabajo de investigación.

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Orvik Erik Machco Perez identificado con DNI N. ° 77335470, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

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 de la Universidad César Vallejo.

Lima, 17 de Julio del 2018



FIRMA

Orvik Erik Machco Perez

DNI: 77335470

## **PRESENTACIÓN**

Señores miembros del Jurado:

El presente trabajo de tesis que lleva como título: “Análisis de estabilidad de taludes para la protección contra inundaciones en el Sector de la Av. Malecón Chillón – Puente Piedra, 2017”, constituye un estudio detallado sobre el efecto de variación de caudal del río Chillón que causa socavación y por ende la inestabilidad de la ribera en la progresiva Km 6+100 a Km 6+400 del sector de la Av. Malecón Chillón y dar una solución de protección. Para ello se ha estructurado los siguientes capítulos:

El capítulo I; presenta la parte introductoria del estudio donde se observa la realidad problemática en la zona, los antecedentes notables, los conceptos teóricos del tema; así como la formulación del problema con sus objetivos e hipótesis. El capítulo II; explica la metodología utilizada en el estudio como el tipo, diseño y nivel, la operacionalización de las variables, la población y muestra utilizada. Además, se tendrá la validación y confiabilidad de técnicas e instrumentos de recolección de datos que se utilicen en el desarrollo de la tesis. El capítulo III; muestra los análisis y resultados del estudio de investigación fundamentados con la utilización de conceptos teóricos, uso y modelamientos en diferentes programas, trabajos de campo y laboratorio, entre otros. El capítulo IV; pone a discusión los resultados obtenidos frente a los antecedentes y las teorías utilizadas comparándolas y llegando a tener un grado de veracidad aceptable. El capítulo V; sintetiza las conclusiones a las que se llegaron con el estudio basado en los fundamentos teóricos, resultados numéricos y modelamientos requeridos. El capítulo VI; detalla recomendaciones para mejorar de alguna forma el problema que se pretende resolver, teniendo en cuenta los resultados obtenidos con el estudio. El capítulo VII; referencia las bibliografías utilizadas y por último el capítulo VIII; muestra los anexos.

Esperando cumplir con los requisitos de aprobación.

Atentamente.

**Orvik Erik Machco Perez**

## ÍNDICE

PÁGINA DEL JURADO .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD .....	v
PRESENTACIÓN.....	vi
RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT.....	xv
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>16</b>
1.1. Realidad Problemática.....	17
1.2. Trabajos previos .....	20
1.2.1. Antecedentes nacionales .....	20
1.2.2. Antecedentes internacionales.....	21
1.3. Teorías relacionadas al tema.....	23
1.3.1. Morfología fluvial .....	23
1.3.1.1. Clasificación común de ríos.....	23
1.3.1.2. Clasificación común de ríos.....	25
1.3.2. Parámetros geomorfológicos .....	26
1.3.2.1. Pendiente longitudinal .....	26
1.3.2.2. Sección transversal del cauce.....	26
1.3.3. Parámetros hidráulicos .....	26
1.3.3.1. Régimen de flujo .....	27
1.3.3.2. Velocidad de flujo .....	27
1.3.3.3. Profundidad de agua .....	27
1.3.4. Parámetros hidrológicos .....	27
1.3.4.1. Caudal de diseño.....	27
1.3.4.2. Rugosidad de Manning .....	30
1.3.4.3. Socavación.....	31
1.3.5. Parámetros geotécnicos .....	33
1.3.5.1. Granulometría.....	34
1.3.5.2. Límites de Atterberg .....	34
1.3.5.3. Límites de Atterberg .....	35
1.3.6. Estabilidad de taludes .....	35
1.3.6.1. Formación natural del talud .....	35
1.3.6.2. Formación artificial del talud.....	36

1.3.6.3.	Método de equilibrio límite .....	36
1.3.7.	Factor de seguridad.....	39
1.3.8.	Protección de taludes .....	41
1.3.8.1.	Protecciones flexibles .....	42
1.3.8.2.	Protecciones rígidas .....	47
1.3.9.	Modelamiento hidráulico, hidrológico y de estabilidad .....	49
1.3.9.1.	Modelamiento hidráulico.....	49
1.3.9.2.	Modelamiento hidrológico.....	50
1.3.9.3.	Modelamiento de estabilidad .....	50
1.4.	Formulación del problema.....	50
1.4.1.	Problema general .....	50
1.4.2.	Problemas específicos.....	50
1.5.	Justificación del estudio .....	50
1.6.	Hipótesis.....	51
1.6.1.	Hipótesis general .....	51
1.6.2.	Hipótesis específicas.....	52
1.7.	Objetivos .....	52
1.7.1.	Objetivo general .....	52
1.7.2.	Objetivos específicos .....	52
<b>II.</b>	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>53</b>
2.1.	Método, diseño, tipo y nivel de investigación.....	54
2.1.1.	Método de investigación.....	54
2.1.2.	Diseño de investigación .....	54
2.1.3.	Tipo de investigación.....	54
2.1.4.	Nivel de investigación .....	55
2.2.	Variables y operacionalización.....	55
2.2.1.	Variables.....	55
2.2.2.	Operacionalización de las variables .....	56
2.3.	Población, muestra y muestreo .....	57
2.3.1.	Población.....	57
2.3.2.	Muestra.....	57
2.3.3.	Muestreo .....	57
2.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad .....	58
2.4.1.	Técnica .....	58
2.4.2.	Instrumento de recolección de datos .....	58

2.4.3.	Validez .....	59
2.4.4.	Confiabilidad .....	60
2.5.	Métodos de análisis de datos .....	61
2.6.	Aspectos éticos .....	61
<b>III.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>62</b>
3.1.	Descripción de la zona de estudio .....	63
3.1.1.	Recopilación de información .....	64
3.1.2.	Panorama de la zona .....	64
3.2.	Trabajos preliminares .....	65
3.2.1.	Topografía .....	65
3.2.2.	Geotecnia .....	66
3.2.3.	Hidrología .....	72
3.3.	Modelamiento hidrológico e hidráulico .....	80
3.4.	Cálculo de socavación en el cauce .....	83
3.5.	Ancho de encauzamiento .....	88
3.6.	Diseño de protección de enrocado .....	88
3.7.	Diseño de protección con gaviones .....	90
3.8.	Modelamiento de estabilidad .....	92
3.8.1.	Análisis de estabilidad global estático .....	93
3.8.2.	Análisis de estabilidad global pseudoestático .....	99
3.9.	Comparativa de métodos en función al tipo de protección .....	106
<b>IV.</b>	<b>DISCUSIONES</b> .....	<b>108</b>
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>111</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>114</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>116</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>123</b>
	Anexo 1: Matriz de consistencia .....	124
	Anexo 2: Fichas de recolección de datos .....	126
	Anexo 3: Resultados de ensayos de suelos .....	130
	Anexo 5: Documentos topográficos .....	135
	Anexo 6: Cargos de documentación .....	139
	Anexo 7: Resultados del programa Hec - Ras .....	142
	Anexo 8: Panel fotográfico .....	154
	Anexo 9: Actas y resultado del turnitin .....	157

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Urbanización San Diego, desborde del río Chillón. ....	19
<b>Figura 2.</b> Estado actual de la ribera de estudio. ....	19
<b>Figura 3.</b> Clasificación de ríos.....	24
<b>Figura 4.</b> Clasificación de ríos de forma cualitativa .....	25
<b>Figura 5.</b> Clasificación de ríos de forma cuantitativa .....	25
<b>Figura 6.</b> Sección transversal del cauce.....	26
<b>Figura 7.</b> Microzonificación Geotécnica del Distrito de Puente Piedra. ....	33
<b>Figura 8.</b> Separación en tamaños del material de la ribera .....	34
<b>Figura 9.</b> Instrumento para el corte directo.....	35
<b>Figura 10.</b> Método de Bishop Simplificado.....	37
<b>Figura 11.</b> Fuerzas que actúan sobre las dovelas en el método de Spencer. ....	38
<b>Figura 12.</b> Factor de zonificación.....	40
<b>Figura 13.</b> Zonificación en función al tipo de suelo .....	41
<b>Figura 14.</b> Sección típica de enrocado de protección.....	44
<b>Figura 15.</b> Tipos de unidades de gavión .....	46
<b>Figura 16.</b> Presiones de tierra en un muro de contención .....	47
<b>Figura 17.</b> Predimensionamiento de muros de contención .....	49
<b>Figura 18.</b> Ubicación del tramo de estudio.....	63
<b>Figura 19.</b> Proceso de erosión en la ribera.....	64
<b>Figura 20.</b> Deslizamiento del terreno .....	65
<b>Figura 21.</b> Sistemas de protección actual margen izquierda del río .....	65
<b>Figura 22.</b> Levantamiento topográfico del sector de estudio .....	66
<b>Figura 23.</b> Excavación de las tres calicatas .....	68
<b>Figura 24.</b> Granulometría del lecho del río Chillón .....	70
<b>Figura 25.</b> Preparación para el corte directo. (Fuente: Imagen propia, 2018).....	71
<b>Figura 26.</b> Ubicación de la estación hidrométrica analizada.....	72
<b>Figura 27.</b> Ajuste de datos para la distribución Gumbel.....	77
<b>Figura 28.</b> Vista en planta del tramo importado al Hec-Ras. (Fuente: Imagen propia, 2018) .....	80
<b>Figura 29.</b> Sección 07.....	81
<b>Figura 30.</b> Sección 15.....	81
<b>Figura 31.</b> Perfil de velocidades de flujo importado del Hec-Ras.....	81
<b>Figura 32.</b> Modelamiento hidráulico e hidrológico importado del Hec-Ras.....	82
<b>Figura 33.</b> Socavación en la sección 07.....	86

<b>Figura 34.</b> Socavación en la sección 15.....	87
<b>Figura 35.</b> Perfil longitudinal de las socavaciones de cada sección. ....	88
<b>Figura 36.</b> Diseño final de protección con enrocado .....	90
<b>Figura 37.</b> Diseño final de protección con gaviones.....	91
<b>Figura 38.</b> Especificaciones técnicas del gavión caja .....	92
<b>Figura 39.</b> FS estático por el método de Bishop simplificado para el cauce sin socavación .....	94
<b>Figura 40.</b> FS estático por el método de Spencer para el cauce sin socavación. ....	94
<b>Figura 41.</b> FS estático por el método de Morgenstern-Price para el cauce sin socavación .....	95
<b>Figura 42.</b> FS estático por el método de Bishop simplificado para el cauce con socavación .....	96
<b>Figura 43.</b> FS estático por el método de Spencer para el cauce con socavación. ....	96
<b>Figura 44.</b> FS estático por el método de Morgenstern-Price para el cauce con socavación .....	97
<b>Figura 45.</b> FS estático por el método de Bishop simplificado para el cauce con gaviones .....	98
<b>Figura 46.</b> FS estático por el método de Spencer para el cauce con gaviones. ....	98
<b>Figura 47.</b> FS estático por el método de Morgenstern-Price para el cauce con gaviones.....	99
<b>Figura 48.</b> FS pseudoestático por el método de Bishop simplificado para el cauce con socavación .....	100
<b>Figura 49.</b> FS pseudoestático por el método de Spencer para el cauce con socavación .....	101
<b>Figura 50.</b> FS pseudoestático por el método de Morgenstern-Price para el cauce con socavación .....	101
<b>Figura 51.</b> FS pseudoestático por el método de Bishop simplificado para el cauce con gaviones	102
<b>Figura 52.</b> FS pseudoestático por el método de Spencer para el cauce con gaviones .....	103
<b>Figura 53.</b> FS pseudoestático por el método de Morgenstern-Price para el cauce con gaviones ..	103
<b>Figura 54.</b> FS pseudoestático por el método de Bishop simplificado para el cauce con enrocado	104
<b>Figura 55.</b> FS pseudoestático por el método de Spencer para el cauce con enrocado .....	105
<b>Figura 56.</b> FS pseudoestático por el método de Morgenstern-Price para el cauce con enrocado ..	105
<b>Figura 57.</b> Resultados de la comparación de métodos para el gavión.....	106
<b>Figura 58.</b> Resultados de la comparación de métodos para el enrocado. ....	107
<b>Figura 59.</b> Levantamiento topográfico de la zona de estudio .....	155
<b>Figura 60.</b> Calicatas en la zona de estudio.....	155
<b>Figura 61.</b> Ensayo granulométrico por tamizado.....	156
<b>Figura 62.</b> Ensayo de corte directo .....	156

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Valores de $Y_n$ y $\sigma_N$ en función de $N$ .....	28
<b>Tabla 2.</b> Valores de $N\alpha\sigma_m$ .....	29
<b>Tabla 3.</b> Valores críticos $d$ para la prueba de bondad .....	30
<b>Tabla 4.</b> Factores de corrección para rugosidad $n$ .....	31
<b>Tabla 5.</b> Factores de seguridad según normativas.....	39
<b>Tabla 6.</b> Suelos de acuerdo a la amplificación sísmica .....	40
<b>Tabla 7.</b> Requerimientos para uso de geotextiles.....	44
<b>Tabla 8.</b> Dimensiones estándar del gavión caja .....	45
<b>Tabla 9.</b> Dimensiones estándar del colchón reno.....	46
<b>Tabla 10.</b> Operacionalización de la variable independiente .....	56
<b>Tabla 11.</b> Operacionalización de la variable dependiente .....	56
<b>Tabla 12.</b> Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	59
<b>Tabla 13.</b> Magnitudes y rangos de validez.....	60
<b>Tabla 14.</b> Índice de validez por juicio de expertos .....	60
<b>Tabla 15.</b> Ubicación geográfica de la zona de estudio .....	63
<b>Tabla 16.</b> Puntos y coordenadas de control UTM.....	66
<b>Tabla 17.</b> Características de la calicata C-1 .....	67
<b>Tabla 18.</b> Características de la calicata C-2 .....	67
<b>Tabla 19.</b> Características de la calicata C-3 .....	68
<b>Tabla 20.</b> Análisis granulométrico de las muestras.....	69
<b>Tabla 21.</b> Simbología de suelos .....	69
<b>Tabla 22.</b> Clasificación SUCS de las muestras .....	70
<b>Tabla 23.</b> Contenido de humedad de las muestras .....	71
<b>Tabla 24.</b> Resultado del ensayo de corte directo.....	72
<b>Tabla 25.</b> Registro de caudales máximos medios ( $m^3/s$ ), medidos en la estación Pte. Magdalena .73	
<b>Tabla 26.</b> Datos de entrada para el análisis de distribución .....	75
<b>Tabla 27.</b> Valores de $Y_n$ y $\sigma_N$ tomados.....	76
<b>Tabla 28.</b> $Q_{m\acute{a}x}$ para diferentes $T$ .....	76
<b>Tabla 29.</b> Factores $\phi$ .....	76
<b>Tabla 30.</b> Caudales de diseño .....	77
<b>Tabla 31.</b> Ajuste de bondad por Kolmogorov – Smirnov .....	78
<b>Tabla 32.</b> Cálculo de rugosidad “ $n$ ” del cauce y ribera .....	79

<b>Tabla 33.</b> Resultados hidráulicos generales de cada sección de estudio .....	83
<b>Tabla 34.</b> Resultados hidráulicos de la sección transversal RS 21 .....	83
<b>Tabla 35.</b> Socavación general mediante la fórmula de Lischtván – Levediev .....	87
<b>Tabla 36.</b> Resultados de FS estático para el cauce sin socavación.....	93
<b>Tabla 37.</b> Resultados de FS estático para el cauce con socavación.....	95
<b>Tabla 38.</b> Resultados de FS estático para el cauce con gaviones .....	97
<b>Tabla 39.</b> Resultados de FS pseudoestático para el cauce con socavación.....	100
<b>Tabla 40.</b> Resultados de FS pseudoestático para el cauce con gaviones .....	102
<b>Tabla 41.</b> Resultados de FS pseudoestático para el cauce con enrocado.....	104

## RESUMEN

El objetivo de este estudio de investigación es analizar la estabilidad de la ribera ante la variación del caudal del río Chillón que causa socavación en sus márgenes y cauce natural en la progresiva Km 6+100 a Km 6+400 del Sector de la Av. Malecón Chillón y de esta manera plantear sistemas de protección de defensa ribereña para resguardar a los pobladores aledaños de la zona de estudio.

Esta investigación se elabora mediante el método científico es de tipo aplicada, con un nivel descriptivo y diseño no experimental y sección transversal, ya que tenemos una o más recopilaciones de datos del presente para indagar una solución en el futuro. Para esto se toma como población todos los tramos de ribera del río de la cuenca baja del río Chillón y la muestra un tramo de río de 300 m de longitud de la cuenca baja del río Chillón localizado en la progresiva mencionadas.

Se analiza mediante las teorías y fundamentos de estabilidad, hidrología y sistemas de protección los cuales se desarrollan más adelante, mediante el uso de programas computacionales como el Hec- Ras, Hidroesta 2, Slide v 6.0, entre otros. Todo esto utilizando instrumentos de recolección de datos como ensayos de laboratorio, registros de caudales máximos medios, entre otros.

Determinando los resultados para un periodo de retorno de 500 años se espera un caudal máximo de  $266.615 \text{ m}^3/\text{s}$  generando socavaciones críticas de 1.04 m y 1.43 m en dos secciones analizadas a criterio propio, puesto que las velocidades de flujo son de 4.46 m/s y 4.43 m/s respectivamente. Para estas secciones se analiza la estabilidad de la ribera dando factores de seguridad de 0.906 por el método de Spencer en el cauce con socavación de forma pseudoestática, al agregarle los sistemas de protección propuestos como enrocado eleva este factor de seguridad de forma pseudoestática con un valor conservador de 1.853 por el método de Spencer y con el gavión un factor de seguridad de forma pseudoestática con un valor conservador de 1.694 por el mismo método.

En conclusión, de los dos tipos de protección se opta por el enrocado de protección al generar un mayor factor de seguridad conservador de 1.853 de forma pseudoestática.

**Palabras claves:** Socavación, caudal, estabilidad, protección, parámetros.

## ABSTRACT

The objective of this research study is to analyze the stability of the river bank due to the variation of the Chillón river flow that causes scour in its margins and natural channel in the progressive Km 6 + 100 to Km 6 + 400 of the Malecón Avenue Sector. Chillón and in this way raise protection systems of river defense to protect the inhabitants of the area of study.

This research is developed through the scientific method is applied type, with a descriptive level and non-experimental design and cross section, since we have one or more compilations of present data to investigate a solution in the future. For this, all sections of the river bank of the lower basin of the Chillón river are taken as a population and it is shown by a section of river 300 m long from the lower basin of the river chillón located in the progressive mentioned.

It is analyzed through the theories and foundations of stability, hydrology and protection systems which are developed later, through the use of computer programs such as Hec Ras, Hidroesta 2, Slide v 6.0, among others. All this using data collection instruments such as laboratory tests, records of maximum average flows, among others.

Determining the results for a return period of 500 years, a maximum flow of 266.615 m<sup>3</sup> / s is expected, generating critical scourges of 1.04 m and 1.43 m in two sections analyzed at their own discretion, since the flow rates are 4.46 m/s and 4.43 m/s respectively. For these sections, the stability of the river bank is analyzed, giving safety factors of 0.906 by the Spencer method in the channel with undermining in a pseudostatic way, adding the protection systems proposed as casting raises this safety factor in a pseudostatic way with a value conservative of 1.853 by the Spencer method and with the gabion a safety factor of pseudostatic form with a conservative value of 1.694 by the Spencer method.

In conclusion of the two types of protection, the protection castling is chosen, generating a greater conservative safety factor of 1.853 in a pseudostatic way.

**Key words:** Scour, flow, stability, protection, parameters.

## **I. INTRODUCCIÓN**

## **1.1. Realidad Problemática**

La variación de caudales es uno de los principales efectos que genera la poca estabilidad de riberas en ríos; además de otros factores como el cambio climático, el incremento de precipitaciones, el tipo de suelo, entre otros; por estas razones se genera la erosión que da paso a la socavación inestabilizando la ribera. Recordemos que a comienzos del año 2017 se tuvo incrementos de caudal en el río Chillón y de otros ríos lo que generó daños perjudiciales, personas damnificadas y pérdidas materiales; dando así alarmas de inundación a nivel nacional.

Vergel y Trillos (2016, p. 11), indican que “El factor hídrico es un detonante de la estabilidad de los taludes, ya sean naturales o adecuados para construir viviendas y vías de acceso”. De esta manera se entiende que el factor agua que, aunque es fuente de supervivencia para el ser humano también es un elemento de generación de riesgos o desastres más aún si se encuentra en formas de ríos y riachuelos cerca a poblaciones aledañas. El aumento circunstancial del río genera que mayores probabilidades de riesgo de desbordes y de paso a inundaciones más aún si las riberas colapsan por el gran flujo de agua al socavar el pie o parte del mismo (ribera).

El fenómeno hídrico como la socavación debilita las riberas de un río modificándolas de forma que reducen su seguridad al desplazamiento o vuelco de masas de tierra. Betún y Quishpe (2016, p. 29), mencionan que “Cuando un talud es inestable se opta por modificar la geometría del mismo para de esa forma conseguir la disminución de las fuerzas que tienden al movimiento de la masa, así como también para aumentar la resistencia al corte”. Aunque a veces modificar no solamente la geometría del talud reduce el riesgo de falla o deslizamiento de las masas de tierra, puesto que las propiedades de suelo son escasas y los fenómenos hidrológicos están de forma constante se recurre a diseñar sistemas de protección lateral o defensas ribereñas con el fin de reducir o minimizar daños al talud, ribera o ladera de análisis salvaguardando vidas. Pero para diseñar estos sistemas se requiere de información básica necesaria como parámetros iniciales: topográficos, hidrológicos, geotécnicos, hidráulicos entre otros.

Misaico (2015, p. 9) menciona que “Para predecir el comportamiento de un canal natural se requiere conocer básicamente las características geomorfológicas de los ríos o quebradas y realizar una estimación de la cantidad de agua que puede pasar a través de las márgenes del

mismo”. Además, Bardales y Concepción (2014, p. 23) los “puntos críticos donde se presenta erosión y sedimentación, material que acarrea la corriente, entre otras informaciones son necesarias para el diseño, lo cual se puede conseguir a través de consultas a pobladores de más antigüedad en el lugar del proyecto”.

Pero también se debe realizar el correcto análisis de estabilidad del talud antes y después de ocurrido el fenómeno hídrico verificando su factor de seguridad, además de realizar el mismo análisis de estabilidad cuando se le haya agregado la protección considerando una estabilidad suelo – protección (estabilidad global) verificando el aumento del factor de seguridad respecto al tipo de protección elegido. Para ello se utiliza el programa Slide V6.0, “El programa calcula los factores de seguridad para distintas geometrías, dibujadas por el propio usuario o importadas desde algún programa de dibujo”. (Mendoza, 2016, p. 24)

La población que se encuentra entre el límite del distrito de San Martín de Porres y Puente Piedra no es ajena a esta situación hidrológica por la que pasa el río Chillón. Desde tiempos anteriores se ha tenido variaciones del caudal dando así a antecedentes de inundaciones o desbordes, uno de estos antecedentes fue el caso de la Urbanización San Diego en el año 2001 el cual tuvo una inundación debido a que el dique natural de la ribera izquierda colapso ante la variación del caudal generando filtraciones y sobre todo porque la altura del tirante de agua sobrepasó la altura a desnivel de la Urbanización.

Los pobladores se encuentran ubicados cerca de las riberas del río, donde el proceso erosivo y de socavación está presente y de forma constante. En la actualidad la ribera del margen derecho que comprende las progresivas Km 6+100 a Km 6+400 del sector de la Av. Malecón Chillón no cuenta con ningún tipo de obra de protección contra tal fenómeno natural, tan solo existe un dique natural que con el pasar de los años se ha ido deteriorando por la agresividad del río, generando así una zona vulnerable e inundable.

El presente trabajo de investigación busca generar una propuesta de protección antes estos fenómenos naturales para el control y mejoramiento del cauce, así como de la ribera en dicho sector; creando así una opción de resguardo y seguridad a la población aledaña a la zona. Es por esto que el análisis de estabilidad de taludes en la ribera de las progresivas mencionadas del río Chillón son necesarias para poder comprobar su vulnerabilidad ante estos efectos de erosión, socavación y verificando su estabilidad.



**Figura 1.** Urbanización San Diego, desborde del río Chillón.  
(Fuente: Orosco, 2004)



**Figura 2.** Estado actual de la ribera de estudio.  
(Fuente: Imagen Propia, 2017)

## **1.2. Trabajos previos**

A continuación, se presentan los trabajos previos o referencias de información de antecedentes para el mejor desarrollo del trabajo de investigación

### **1.2.1. Antecedentes nacionales**

En relación a los estudios nacionales, se manifiestan algunas averiguaciones notables y estas son:

(Mendoza, 2016). Análisis de estabilidad de taludes de suelos de gran altura en la mina Antapaccay. Tesis para obtener el título de ingeniero civil. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima. 2016. 78 pp.

Tuvo como objetivos: Calcular el factor de seguridad óptimo para el talud y determinar los parámetros geotécnicos y físicos de diseño en la zona. Aplicó la metodología: Análisis de equilibrio límite en condiciones estáticas y pseudoestáticas. Para la obtención de los cálculos mediante métodos de Bishop simplificado, Spencer y Morgenstern – Price, utilizó el software de modelamiento Slide v.6.0 teniendo como factor la acción sísmica. Sus resultados fueron: Se obtienen FS distintos, los valores son muy cercanos, para una misma sección, la gran mayoría de FS no existen variaciones mayores al 5 % entre los valores más altos y más bajos obtenidos. Excepcionalmente, se presentan algunas variaciones de 7%. Por tal motivo, puede afirmar que el grado de precisión entre los tres métodos es similar. Por último, sus conclusiones explican: Se eligió en el rango de aceptable al perfil que reunía conformidad por medio de los métodos utilizados dando aceptabilidad a valores de  $FS > 1.3$  en condiciones estáticas y  $FS > 1.0$  en condiciones pseudoestáticas.

(Bardales y Concepción, 2014). Modelamiento hidrológico e hidráulico aplicado al cálculo de socavación en puentes Potrero (km 165 + 527.00) y Maygasbamba (km 197 + 688.15), ubicados en carretera chota – Bambamarca – Hualgayoc. Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo. 2014. 219 pp.

Tuvo como objetivos: Determinar los criterios técnicos necesarios al realizar el modelamiento hidráulico e hidrológico de dichos puentes con el fin de encontrar las profundidades de socavaciones para periodos de retorno de 100 y 500 años por medio de las precipitaciones máximas. Aplicó la metodología: El método inductivo, el cual usa los enunciados observacionales para llegar a conclusiones generales, se va de lo particular a lo

general. Tomo registros de datos y los proceso mediante programas informáticos para el modelado y simulación de los tramos de análisis. Sus resultados fueron: Las socavaciones máximas en los puentes son de 4.07 m (derecho) y de 1.39 m (izquierdo) para T-500 años, 3.74 m (derecho) y de 7.89 m (izquierdo) para T-500 años en los puentes Maygasbamba y Potrero respectivamente. Por último, sus conclusiones explican: Los criterios técnicos utilizados para el modelamiento hidrológico e hidráulico en los puentes mencionados dan una respuesta aceptable frente al cálculo de profundidad de socavación.

(Misaico, 2014). Modelamiento hidráulico del río Lircay en el tramo de la ciudad de Ocopa. Tesis para obtener el título de ingeniero civil. Universidad Nacional de Huancavelica. Huancavelica. 2014. 106 pp.

Tuvo como objetivos: Determinar el modelamiento hidráulico del río Urcay en la ciudad de Ocopa, determinando el comportamiento del río bajo condiciones extremas de lluvias. Aplicó la metodología: Uso un programa computacional el Hec Ras, para el modelamiento hidráulico aplicando un modelo unidimensional con una variante cuasi bidimensional en función a las características físicas y geográficas de la sierra. Sus resultados fueron: Que la altura de agua o tirante excederán por encima del nivel del terreno del sector de estudio para periodos de retorno de 25, 50, 100 y 200 años, generando así cierto grado de peligrosidad. Por último, sus conclusiones explican: La aplicación de herramientas tecnológicas para el cálculo de parámetros hidráulicos genera confiabilidad al modelar y simular la data analizada para la selección y futuro diseño de obras de protección.

### **1.2.2. Antecedentes internacionales**

En relación a los estudios internacionales, se muestran algunos hallazgos relevantes y estos son:

(Betún y Quishpe, 2016). Análisis de alternativas para la estabilidad del talud con el programa Geo-Slope en el sector el Prado Cantón Piñas, provincia de el Oro. Trabajo de graduación, previo a la obtención del título de ingeniero civil. Universidad Central del Ecuador. 2016. 233 pp.

Tuvo como objetivos: Analizar la estabilidad del talud de la zona de estudio con el programa Geo-Slope y determinar el factor de seguridad que mejor cumpla con la situación actual del talud al reforzarlo con geomallas. Aplicó la metodología: Método de equilibrio límite basados en el modelo de Morgenstern-Price y de Spencer al suponer una superficie de falla

circular con el programa de modelamiento Geo-Slope ante condiciones estáticas y dinámicas. Sus resultados fueron: La zona se dividió en 4 perfiles de análisis, siendo el perfil N°4 el más inestable ante condiciones dinámicas, por seguridad fue necesario plantear sistemas de estabilización; mientras los otros tres perfiles mantienen un factor de seguridad aceptable ante las condiciones de diseño. Por último, sus conclusiones explican: El sistema de suelo reforzado (geomallas) genera mayor resistencia, estabilidad y aumenta el factor de seguridad del círculo crítico de falla.

(Vergel y Trillos, 2016). Análisis de estabilidad de un talud ubicado en el barrio Olaya Herrera del municipio de Ocaña, Norte de Santander. Trabajo de grado para optar el título de ingeniero civil. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. 2016. 356 pp.

Tuvo como objetivos: Proponer una alternativa de solución para reducir el nivel de amenaza y/o vulnerabilidad de la zona de estudio, basado en el análisis de estabilidad del talud. Aplicó la metodología: Análisis determinístico de equilibrio límite por medio del software Slope/w ante condiciones estáticas y dinámicas con presencia de nivel freático. Sus resultados fueron: El análisis se dividió en 2 sectores de lo cual se encontró que en el sector 1 en ambas opciones de falla presenta un nivel de amenaza bajo. Mientras que en el sector 2 presenta un nivel de amenaza alto cuando sus estratos se saturan ya sea en una condición estática o dinámica. Por último, sus conclusiones explican: La zona de estudio necesita la implementación de obras de mitigación que permitan disminuir los niveles de amenaza que se presentan en la actualidad, en especial para el sector del talud donde se analizó el sector 2.

(Aguilar y Zúñiga, 2015). Análisis comparativo de estabilidad de taludes mediante los métodos de equilibrio límite aplicado a taludes o laderas aledañas al cerro de la Popa, casco urbano de Cartagena. Trabajo de grado para obtener el título de ingeniero civil. Universidad de Cartagena. 2015. 123 pp.

Tuvo como objetivos: Realizar un análisis comparativo de estabilidad de taludes mediante los métodos de equilibrio límite aplicado a taludes o laderas para determinar que método brinda un factor de seguridad óptimo. Aplicó la metodología: Método de equilibrio límite para el cálculo de factores de seguridad (Bishop simplificado, Fellenius, Janbu, Spencer y Morgenstern – Price), mediante modelamientos con el programa Slide. Sus resultados fueron: Los métodos que mayor factor de seguridad brinda fueron los de Spencer, Morgenstern-Price y Bishop modificado. Los métodos que menor factor de seguridad fueron

los de Janbu y Fellenius, debido a que no se satisfacen completamente las condiciones de equilibrio. Por último, sus conclusiones explican: Se realizó el análisis en 5 zonas divididas en perfiles aledañas dando diferentes factores de seguridad bajo parámetros establecidos. Los perfiles de las zonas llamadas “Diamante” y “Lo Amador” se encuentran en riesgo de estabilidad por su mínimo factor de seguridad.

### **1.3. Teorías relacionadas al tema**

Para la mejor comprensión del tema a tratar en esta investigación se define y argumenta diferentes teorías y definiciones, las cuales son:

#### **1.3.1. Morfología fluvial**

La variabilidad de forma que posee el cauce de un río, tanto en sección transversal y longitudinal indica parámetros necesarios para el análisis del mismo, por ello Arbeláez (2003) menciona que “implica el estudio tanto de los cambios transversales y longitudinales, como también la predicción de su comportamiento en el futuro. Las características geotécnicas y las irregularidades de descargas en los ríos juegan un papel significativo en el comportamiento fluvial”.

##### **1.3.1.1. Clasificación común de ríos**

La clasificación de un río es necesario para poder indicar sus características geomorfológicas que las comprende en sí, es por ello que:

Arbeláez (2003), explica que el objetivo de clasificarlos se fundamenta en la necesidad de proveer las herramientas necesarias para la realización de asunciones, es decir, poder predecir el comportamiento que presentará con respecto a su apariencia, desarrollar relaciones empíricas para los tipos de corrientes individuales y por último poder extrapolar datos de otros ríos que presenten un tipo de corriente parecido.

##### **a) Ríos rectos o semirrectos**

Son vistos en ciertos tramos de longitud del río, caracterizados por tener una alta estabilidad lateral en sus valles estrechos. Estos ríos están en proceso de transformación hacia ser ríos meándricos siendo esto un problema al ejecutar o construir sistemas estructurales adyacentes. El tramo de análisis del río Chillón es clasificado como río semirrecto debido a sus características. “En un tramo rectilíneo el índice de sinuosidad es teóricamente igual a 1.

Referencialmente, se puede señalar que usualmente se llama “río recto” a aquél cuyo índice de sinuosidad es menor que 1,05”. (Willis Samamé, 2015, p. 15)

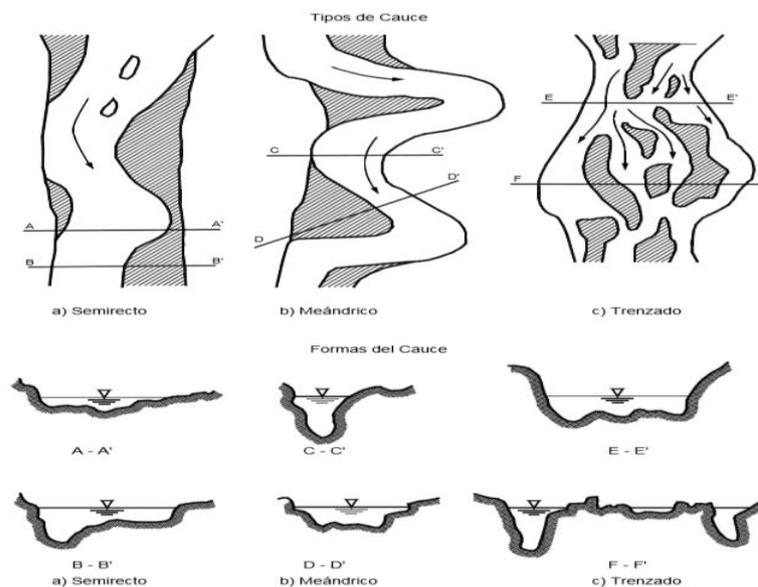
**b) Ríos meándricos**

Este tipo de río se forma a causa del fenómeno de erosión y sedimentación, el cual ocurre en las curvas de los márgenes del río por medio de la fuerza centrífuga del agua en movimiento. Se dice que su antecesor es el río recto el cual varía su forma hasta llegar a ser meándricos.

Según Fernández (como se citó en Leopold, 1994), “para que sean considerados como ríos meándricos su sinuosidad debe ser mayor a 1.5. Se caracterizan por presentar una pendiente baja y la carga de sedimentos está compuesta principalmente por material fino”. (2015, p. 16)

**c) Ríos entrelazados**

Conformados generalmente por gravas, es un sistema de canales múltiples de flujo entrelazados o trenzados de sección transversal ancha, pendiente alta y profundidades bajas. Considerados ríos inestables ante construcciones de estructuras debido a su grueso estrato aluvial inestable; este río tiene un grado de libertad mayor que el de los demás. “Para que se forme trenzados del cauce, es necesario que acumule una gran cantidad de solidos (sedimentos), volumen de agua alto y un borde principal poco plana con proceso de erosión”. (Suárez, 2001, p .106)



**Figura 3.** Clasificación de ríos. (Fuente: Suárez, 2001)

### 1.3.1.2. Clasificación común de ríos

Rosgen presento un sistema de clasificación de ríos basado en la morfología y geomorfología general del cauce local del rio. Lo dividió en dos niveles de análisis que fueron cualitativos y cuantitativos.

El primer nivel cualitativo, describe al cauce del rio en base a la variación de su sección transversal, perfil longitudinal, tipos de flujo, vista en planta y rango de pendiente dominante. Es un análisis inicial para entender más a fondo el segundo nivel cuantitativo.

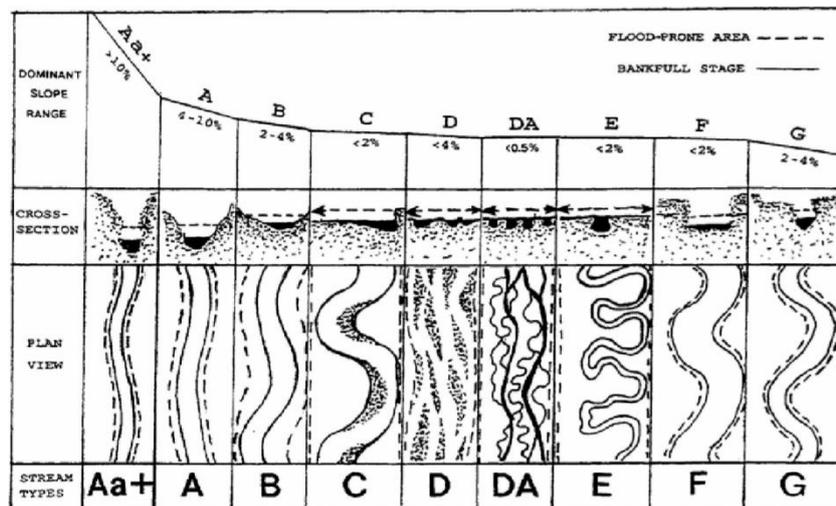


Figura 4. Clasificación de ríos de forma cualitativa. (Fuente: Rosgen, 1995)

Arbeláez (2003), “Con respecto al segundo nivel, Rosgen presentó una descripción de las variables morfométricas utilizadas para la clasificación del cauce. Entre ellas se encuentran, con respecto a la sección transversal, la relación de atrincheramiento, relación ancha/profundidad y características de los materiales dominantes”.

Dominant Bed Material	A	B	C	D	DA	E	F	G
1 BEDROCK	[Diagrama]	[Diagrama]	[Diagrama]				[Diagrama]	[Diagrama]
2 Boulders	[Diagrama]	[Diagrama]	[Diagrama]				[Diagrama]	[Diagrama]
3 COBBLE	[Diagrama]	[Diagrama]	[Diagrama]	[Diagrama]		[Diagrama]	[Diagrama]	[Diagrama]
4 GRAVEL	[Diagrama]							
5 SAND	[Diagrama]							
6 SILT/CLAY	[Diagrama]							
ENTRH.	<1.4	1.4-2.2	>2.2	N/A	>2.2	>2.2	<1.4	<1.4
SIN.	<1.2	>1.2	>1.4	<1.1	1.1-1.6	>1.5	>1.4	>1.2
W/D	<12	>12	>12	>40	<40	<12	>12	<12
SLOPE	.04-.099	.02-.039	<.02	<.02	<.005	<.02	<.02	.02-.039

Figura 5. Clasificación de ríos de forma cuantitativa. (Fuente: Rosgen, 1995)

### 1.3.2. Parámetros geomorfológicos

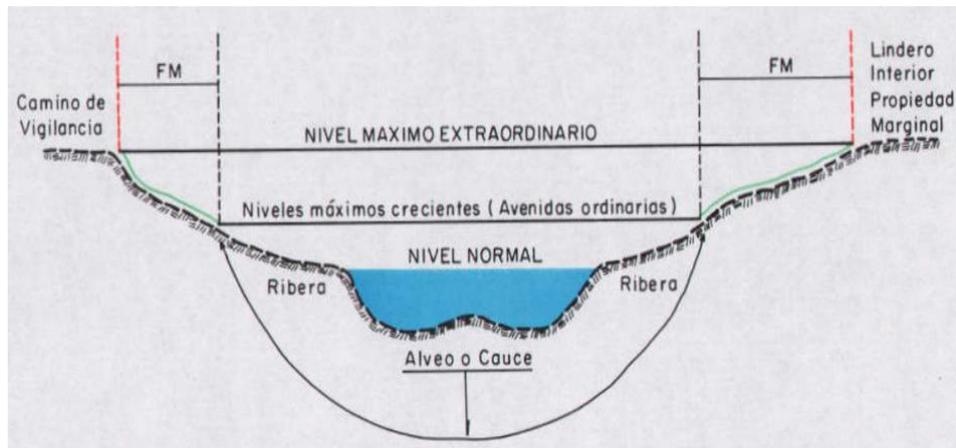
La geomorfología que posee un cauce varía en sus tramos longitudinales y transversales con el pasar del tiempo. En el proceso de socavación se tiene parámetros importantes como la pendiente longitudinal, la sección transversal y en planta del cauce para su análisis.

#### 1.3.2.1. Pendiente longitudinal

Es uno de los factores más importantes que inciden en la capacidad que tiene el cauce para transportar sedimentos, pues afecta directamente la velocidad del agua. En los tramos de pendiente fuerte, donde las pendientes son superiores al 3%, las velocidades de flujo son tan altas que pueden mover como carga de fondo sedimentos de diámetros mayores a 5 cm, además de los sólidos que ruedan por desequilibrio gracias al efecto de lubricación producido por el agua. (Enríquez, 2013, p. 26)

#### 1.3.2.2. Sección transversal del cauce

La irregularidad que posee un cauce es notoria sobre todo cuando el nivel del agua baja en épocas de estiaje. Esto se debe a la variación del caudal, el transporte de sedimentos y la estabilidad del cauce; los cuales regeneran irregularidades con el paso del tiempo. Según Enríquez (2013, p. 26), explica que “En los cauces naturales las secciones transversales son irregulares y la medición de sus características geométricas se realiza con levantamientos topográficos”.



**Figura 6.** Sección transversal del cauce. (Fuente: ANA, 1999)

### 1.3.3. Parámetros hidráulicos

Los parámetros hidráulicos ayudan a entender con mayor énfasis el proceso de socavación en los cauces; estos parámetros son el régimen, velocidad, y profundidad del flujo todos ellos relacionados con el caudal que el río contenga.

### 1.3.3.1. Régimen de flujo

La clasificación del régimen del flujo se basa en el número de Froude, el cual relaciona de forma adimensional las fuerzas de gravedad e inercia. De esta manera se explica que:

En el régimen supercrítico ( $F > 1$ ) el flujo es de alta velocidad, propio de cauces de gran pendiente o ríos de montaña. El flujo subcrítico ( $F < 1$ ) corresponde a un régimen de llanura con baja velocidad. El flujo crítico ( $F = 1$ ) es un estado teórico en corrientes naturales y representa el punto de transición entre los regímenes subcrítico y supercrítico. (Enríquez, 2013, p. 27)

### 1.3.3.2. Velocidad de flujo

Se entiende que la relación empírica velocidad - socavación es directamente proporcional entre ellos, esto quiere decir que a mayor velocidad mayor socavación. Estudios demuestran veracidad ante esta relación al iniciar el transporte de sedimentos por las condiciones críticas asignadas. La velocidad se relaciona con el régimen del flujo que pueda tener un río, esto ayuda a entender en qué condiciones se encuentra el río en ciertos periodos de análisis.

### 1.3.3.3. Profundidad de agua

La variación del caudal de un río genera una mayor profundidad al lecho del cauce, por ende, aumenta el fenómeno de socavación. Esto debido a que la variación en el flujo aumenta de forma ascendente generando mayor transporte de sedimentos del lugar.

### 1.3.4. Parámetros hidrológicos

En la hidrología se referencia los datos y la metodológica teórica necesaria para los cálculos hidrológicos, caudal de diseño, la rugosidad consistente del cauce y los análisis de proceso de socavación. La finalidad del estudio hidrológico es generar el mejor ajuste de las distribuciones gráficas correspondientes para calcular el adecuado caudal de diseño en función al tiempo de retorno y por ende la socavación del cauce.

#### 1.3.4.1. Caudal de diseño

Según Villón (2002, p. 241), explica que para diseñar:

Se debe calcular o estimar el caudal de diseño, que, para esos casos, son los caudales máximos. La magnitud del caudal de diseño, es función directa del periodo de retorno que se le asigne, el que a su vez depende de la importancia de la obra y de la vida útil de esta.

- **Periodos de retorno:** Se puede calcular el periodo de retorno (T) para el análisis de caudales máximos o de diseño en función a la siguiente ecuación:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \dots\dots\dots (1.1)$$

Dónde:

n = Vida útil de la obra.

R = Riesgo de falla.

T = Periodo de retorno (años)

- **Método de distribución Gumbel:** Se puede hallar el caudal máximo de diseño por medio de este método, el cual se ajusta a información histórica de estaciones hidrométricas, la secuencia es la siguiente:

a) Cálculo del promedio de caudales:

$$Q_m = \frac{\sum Q_i}{N} \dots\dots\dots (1.2)$$

b) Cálculo de la desviación estándar de los caudales:

$$\sigma_Q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N Q_i^2 - N Q_m^2}{N-1}} \dots\dots\dots (1.3)$$

c) Cálculo de los coeficientes en función de N:

**Tabla 1.** Valores de  $Y_n$  y  $\sigma_N$  en función de  $N$

N	$Y_n$	$\sigma_N$
60	0.55208	1.17467
62	0.5527	1.1770
64	0.5533	1.1793
66	0.5538	1.1814
68	0.5543	1.1834
70	0.55477	1.18536
72	0.5552	1.1873
74	0.5557	1.1890
76	0.5561	1.1906
78	0.5565	1.1923
80	0.55688	1.19382
82	0.5572	1.1953
84	0.5576	1.1967
86	0.5580	1.1980
88	0.5583	1.1994
90	0.55860	1.20073

Fuente: Reproducido de Villón, 2002

**Tabla 2.** Valores de  $\sqrt{N\alpha\sigma_m}$

$\phi$	$\sqrt{N\alpha\sigma_m}$
0.01	2.1607
0.02	1.7894
0.05	1.4550
0.10	1.3028
0.15	1.2548
0.20	1.2427
0.25	1.2494
0.30	1.2687
0.35	1.2981
0.40	1.3366
0.45	1.3845
0.50	1.4427
0.55	1.5153
0.60	1.5984
0.65	1.7034
0.70	1.8355
0.75	2.0069
0.80	2.2408
0.85	2.5849
0.90	3.1639
0.95	4.4721
0.98	7.0710
0.99	10.000

Fuente: Reproducido de Villón, 2002

d) Obtención de la ecuación del caudal máximo:

$$Q_{max} = Q_m - \frac{\sigma_Q}{\sigma_N} (Y_N - \ln T) \dots\dots\dots (1.4)$$

e) Cálculo del factor  $\phi$ :

$$\phi = 1 - \frac{1}{T} \dots\dots\dots (1.5)$$

f) Cálculo del intervalo de confianza:

- Si  $\phi$  varía entre 0.20 y 0.80, se utiliza la ecuación:

$$\Delta Q = \pm \sqrt{N\alpha\sigma_m} * \frac{\sigma_Q}{\sigma_N\sqrt{N}} \dots\dots\dots (1.6)$$

- Para  $\phi > 0.90$ , se utiliza la ecuación:

$$\Delta Q = \pm \frac{1.14 \sigma_Q}{\sigma_N} \dots\dots\dots (1.7)$$

g) Cálculo del caudal de diseño final:

$$Q_d = Q_{max} \pm \Delta Q \dots\dots\dots (1.8)$$

Arrieta (2014, p. 11), explica que se puede evaluar los métodos de distribución mediante ajustes de bondad como:

- **Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov:** Método por el cual se comprueba la bondad de ajuste de las distribuciones; asimismo, permite elegir la más representativa, es decir la de mejor ajuste. Esta prueba consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia D entre la función de distribución de probabilidad observada  $F_0(x_m)$  y la estimada  $F(x_m)$

$$D = \text{máx}|F_0(x_m) - F(x_m)| \dots\dots\dots (1.9)$$

Con un valor crítico “d” que depende del número de datos y el nivel de significancia seleccionado. Si ( $D < d$ ), se acepta la hipótesis nula. Esta prueba tiene la ventaja sobre la prueba de  $\chi^2$  de que compara los datos con el modelo estadístico sin necesidad de agruparlos.

**Tabla 3.** Valores críticos d para la prueba de bondad

Tamaño de la muestra	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
5	0.51	0.56	0.67
10	0.37	0.41	0.49
15	0.30	0.34	0.40
20	0.26	0.29	0.35
25	0.24	0.26	0.32
30	0.22	0.24	0.29
40	0.19	0.21	0.25
n grande	$1.22/\sqrt{n}$	$1.36/\sqrt{n}$	$1.63/\sqrt{n}$

Fuente: Reproducido de Aparicio, 2001

### 1.3.4.2. Rugosidad de Manning

Es un parámetro o característica que posee un cauce o canal dependiendo del material que se tenga en dicho lugar, se ha realizado estudios generando así tablas de rugosidades para diferentes materiales. Este parámetro muestra la resistencia que tiene un material de cauce o canal ante el flujo del fluido.

Para el realizar el cálculo de macro rugosidades del cauce se utiliza la fórmula de Cowan (1956), que presenta las siguientes características:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5 \dots\dots\dots (1.10)$$

- n: Coeficiente de rugosidad de Manning
- n<sub>0</sub>: Valor básico de rugosidad (micro rugosidad)
- n<sub>1</sub>: Corrección por efecto de irregularidades
- n<sub>2</sub>: Corrección por variaciones en forma y tamaño de las secciones
- n<sub>3</sub>: Corrección por obstrucciones
- n<sub>4</sub>: Corrección por vegetación y condiciones de flujo
- m<sub>5</sub>: Factor de corrección por meandros

**Tabla 4.** Factores de corrección para rugosidad n

Irregularidad	Suave	n <sub>1</sub>	0,000
	Menor		0,005
	Moderada		0,010
	Severa		0,020
Variación de la Sección	Gradual	n <sub>2</sub>	0,000
	Ocasional		0,005
	Frecuente		0,010 – 0,015
Efecto de la Obstrucción	Despreciable	n <sub>3</sub>	0,000
	Menor		0,010 – 0,015
	Apreciable		0,020 – 0,030
	Severo		0,040 – 0,060
Vegetación	Bajo	n <sub>4</sub>	0,005 – 0,010
	Medio		0,010 – 0,025
	Alto		0,025 – 0,050
	Muy alto		0,050 – 0,1
Intensidad de Meandros	Menor	m <sub>5</sub>	1,000
	Apreciable		1,150
	Severo		1,300

Fuente: Rocha, 2007

### 1.3.4.3. Socavación

La socavación es la profundidad generada en el cauce por la acción agresiva del flujo del agua. La socavación ocurre por diferentes factores que pueden ser el aumento del caudal, estrechamiento del cauce, interrupción del transporte sólido, flujos en curvas y si hay estructuras como pilares o estribos.

- **Método de Lischtván – Levediev:** Según el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (2012, p. 105), se menciona que:

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

De esta forma se manifiesta la ecuación de socavación para suelos granulares:

$$H_s = \left[ \frac{\alpha h^{5/3}}{0.68 \beta \mu \varphi D_m^{0.28}} \right]^{1/z} \dots\dots\dots (1.11)$$

$H_s - h$ : Profundidad de socavación (m)

$h$  : Tirante de agua (m)

$D_m$  : Diámetro característico del lecho (mm)

$\beta$  : Coeficiente de frecuencia.

$\mu$  : Factor de corrección por contracción del cauce.

$\varphi$  : Factor de corrección por forma de transporte de sedimentos.

Para hallar el factor de frecuencia ( $\beta$ ), se usa la siguiente expresión:

$$\beta = 0.7929 + 0.0973 \text{ Log (Tr)} \dots\dots\dots (1.12)$$

Para hallar el exponente variable ( $x$ ) respecto al  $D_m$ , se usa:

$$X \approx Z = 0.394557 - 0.4136 \text{ Log (} D_m) - 0.00891 \text{ Log}^2 (D_m) \dots\dots (1.13)$$

Para el factor de sección:

$$\alpha = \frac{Qd}{Be * R^{5/3}} \dots\dots\dots (1.14)$$

Para la velocidad real media:

$$V_r = \frac{\alpha * h^{5/3}}{H_s} \dots\dots\dots (1.15)$$

Para la velocidad erosiva en suelos granulares:

$$V_e = 0.68 * \beta * D_m^{0.28} * H_s^z \dots\dots\dots (1.16)$$

### 1.3.5. Parámetros geotécnicos

Estos parámetros son los que caracterizan al terreno o suelos de la zona de estudio; son importantes para el análisis de socavación y estabilidad de la ribera, por lo cual se mencionan algunos ensayos usados en el estudio. Además, la zona de estudio se denomina grava de origen aluvial y coluvial con arenas superficiales y/o afloramiento rocoso basado en la Microzonificación Geotécnica realizada por el CISMID, el cual se presenta a continuación:

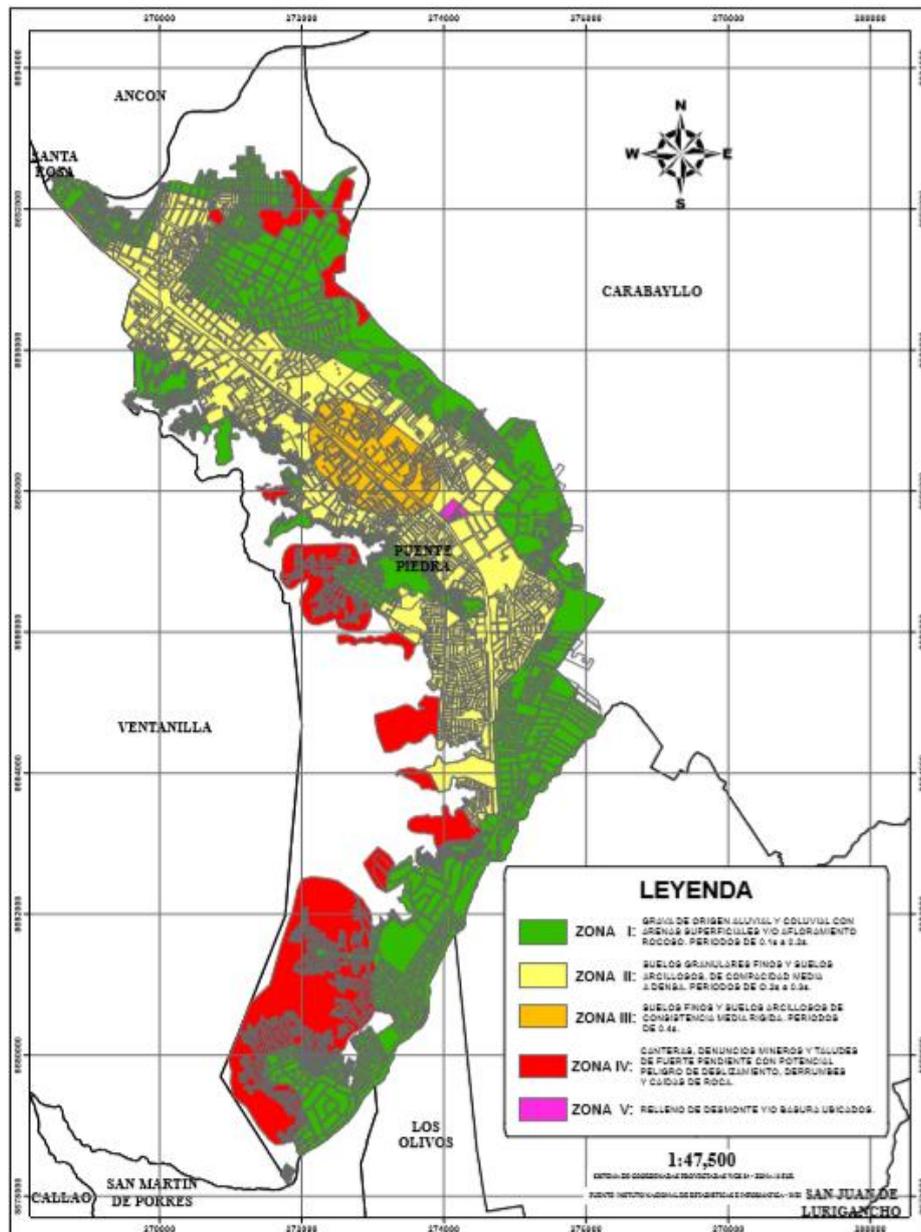


Figura 7. Microzonificación Geotécnica del Distrito de Puente Piedra.

(Fuente: CISMID, 2011)

### 1.3.5.1. Granulometría

La granulometría es la distribución y medición de los diferentes tipos de suelos, agregados o áridos. Permite la gradación del material mediante el proceso de tamizado y así generar la curva granulométrica que es un indicador gráfico para la clasificación del material que se está analizando. “La curva de distribución de tamaño de partícula puede ser utilizada para comparar diferentes sólidos. A partir de estas curvas pueden determinarse también tres parámetros básicos de suelos que se usan para clasificar granularmente los suelos” (Braja M. Das, 2015, p. 40). Con relación a estos parámetros se tiene:

- Tamaño efectivo ( $D_{10}$ )
- Coeficiente de uniformidad ( $C_u$ )
- Coeficiente de gradación ( $C_c$ )



**Figura 8.** Separación en tamaños del material de la ribera. (Fuente: Imagen propia, 2018)

### 1.3.5.2. Límites de Atterberg

Este ensayo fue propuesto por Atterberg que luego posteriormente sería redefinido por Casagrande para darle aplicación en la mecánica de suelos como hoy en día conocemos y podemos verlo en laboratorios. Este ensayo ayuda a caracterizar el comportamiento de suelos y permite obtener los límites de rango de humedad el cual contenga dicho material. Se realiza este procedimiento mediante tres análisis: El límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.

### 1.3.5.3. Límites de Atterberg

Este ensayo sirve para determinar la resistencia que posee el suelo ante esfuerzos inducidos por fatiga y deformaciones, los cuales simulan las sollicitaciones que pueda tener el terreno ante cargas, permite calcular los coeficientes de ángulo de fricción interna y cohesión aparente del suelo. Estos dos últimos datos importantes para el análisis de estabilidad de la ribera.



**Figura 9.** Instrumento para el corte directo. (Fuente: Imagen propia, 2018)

### 1.3.6. Estabilidad de taludes

Estabilizar un talud consiste en calcular un factor de seguridad que estabilice la porción o masas de tierra para un equilibrio estático y dinámico.

[...] Evaluar la estabilidad de un talud implica un estudio en el cual se debe, entre otros eventos: caracterizar la resistencia del suelo, establecer el perfil del talud, así como las condiciones de filtración y agua subterránea, seleccionar una superficie de deslizamiento o falla y calcular su factor de seguridad, finalmente, a partir de este factor de seguridad (el cual se elige en base al destino del talud) se deberá determinar la superficie de falla crítica. (Aguilar y Zúñiga, 2015, p. 14)

#### 1.3.6.1. Formación natural del talud

Un talud posee una forma irregular al ser de forma natural, esta se llama ladera natural o simplemente ladera. El talud natural que no ha sido formado por ninguna intervención por

parte del hombre se encuentra consolidada durante mucho tiempo y adopta esas irregularidades por factores climáticos y meteorológicos.

### 1.3.6.2. Formación artificial del talud

Un talud artificial está conformado por variaciones en su morfología, ya que ha sido alterado de su forma natural por el hombre. A estas modificaciones se les llama cortes o taludes artificiales y están en función al origen de su conformación, son modificados con el fin de darle mejor geometría, pendiente y resistencia al mismo.

### 1.3.6.3. Método de equilibrio límite

“A través del método de límite de equilibrio permite obtener un factor de seguridad o a través de un análisis regresivo, obtener los valores de la resistencia al cortante en el momento de la falla [...]”. (Aguilar y Zúñiga, 2015, p. 14)

Según los preceptos de la teoría del equilibrio límite, la estabilidad de los taludes es determinada a partir del cálculo del factor de seguridad  $n$  en la región del talud que presenta la mayor vulnerabilidad al deslizamiento. Esta región crítica está limitada por la superficie de falla que presenta el menor valor de  $n$ . Debido a lo anterior, se requieren métodos que puedan evaluar todas las posibles zonas y encontrar la que representa menor seguridad en el análisis. (Salazar, 2015, p. 65)

#### a) Método de Bishop Simplificado

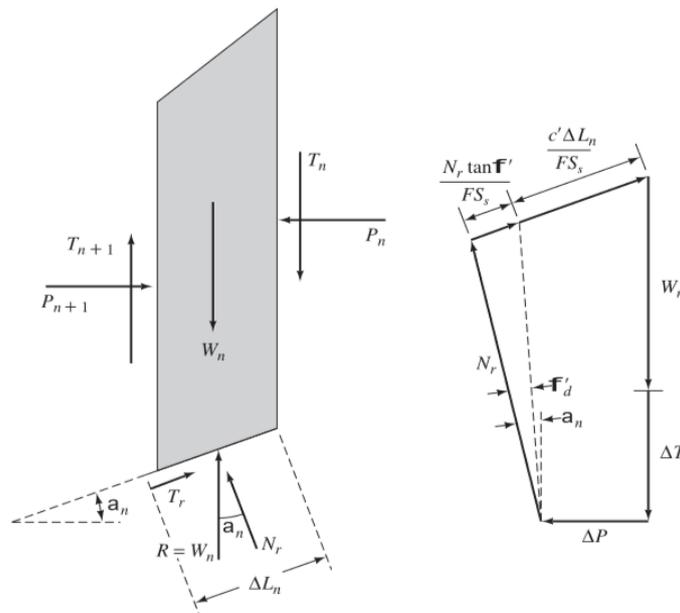
Morales (2009, pp. 91-92), explica que “Bishop desarrolló en 1955 un método de rebanadas o dovelas, teniendo en cuenta el efecto de las fuerzas entre las mismas, asumiendo que las fuerzas entre dovelas son horizontales; es decir, que no tiene en cuenta las fuerzas de cortante [...]”.

El método de Bishop no satisface de forma global los esfuerzos horizontales ejercidos en cada dovela, pero aun así la práctica y experiencia han demostrado que es un método bastante preciso en cuanto a sector de fallas de forma circular y cálculos de entrada para hallar el factor de seguridad requerido en el área de influencia crítica. Este método muestra las siguientes ecuaciones:

$$FS = \frac{\sum \left( \frac{c \cdot B + (W - u \cdot B) \cdot \tan \phi}{ma} \right)}{\sum W \cdot \text{sen} \alpha} \dots\dots\dots (1.17)$$

$$ma = \cos \alpha \cdot \left( 1 + \frac{\tan \alpha \cdot \tan \phi}{FS} \right) \dots\dots\dots (1.18)$$

- W : Peso de la dovela.
- $W_T$  : Componente tangencial del peso de la dovela.
- $W_N$  : Componente normal del peso de la dovela.
- N : Fuerza normal en la base de la dovela.
- $H_{n,n+1}$  : Fuerzas horizontales aplicadas sobre la dovela.
- u : Presión de poros.
- $U_i$  : Fuerza ejercida por la presión de poros.
- B : Base de la dovela.
- c : Cohesión del suelo.
- $\phi$  : Ángulo de fricción del suelo.
- $\alpha$  : Ángulo de la superficie de falla en la dovela.
- FS : Factor de seguridad.



**Figura 10.** Método de Bishop Simplificado. (Fuente: Das, Braja M, 2015)

**b) Método de Spencer**

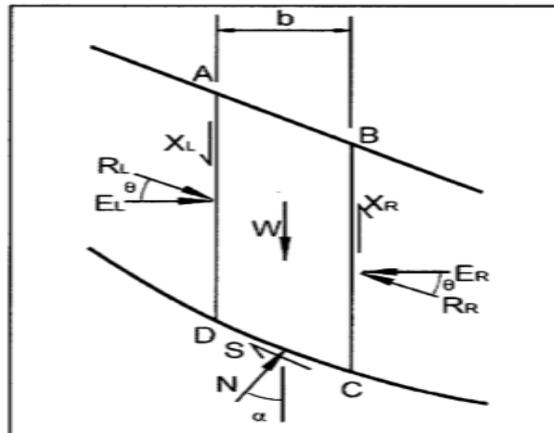
Aguilar y Zúñiga (2015, p. 33) mencionan que “Spencer plantea dos ecuaciones una de equilibrio de fuerzas y otra de equilibrio de momentos, las cuales se resuelven para calcular los factores de seguridad F y los ángulos de inclinación de las fuerzas entre dovelas  $\theta$ ”.

$$N + F_v \cos \alpha - F_h \sin \alpha - Q \sin (\alpha - \theta) = 0 \quad \dots\dots\dots (1.19)$$

$$S + F_v \sin \alpha + F_h \cos \alpha + Q \cos (\alpha - \theta) = 0 \quad \dots\dots\dots (1.20)$$

Para este método Mesa y Guada (2013, p. 7), manifiestan que:

El método de Spencer es un método general de cortes realizados en la base del equilibrio límite, pues pertenece también a la categoría de los denominados rigurosos. Supone que de la interacción entre rebanadas aparece una componente de empuje con ángulo de inclinación constante, por lo que, mediante iteraciones, analiza tanto el equilibrio en momentos como en fuerzas en función de ese ángulo, hasta hacerlo converger hacia un mismo valor, calculando entonces el FS correspondiente.



**Figura 11.** Fuerzas que actúan sobre las dovelas en el método de Spencer.  
(Fuente: Suárez, 2009)

**c) Método de Morgenstern y Price**

Para el método de Morgenstern y Price se tiene una función, la cual tiene relación con las fuerzas normales y las fuerzas cortantes entre cada dovela o rebanada.

Salazar (2015, p. 81) indica que esta función “puede considerarse constante o en su defecto puede considerarse otro tipo de función. La posibilidad de suponer una determinada función para determinar los valores de las fuerzas entre dovelas, lo hace un método más riguroso que el de Spencer”.

Para encontrar el factor de seguridad correspondiente al método la elección del tipo de función no se afecta de forma excesiva al contrario resta relevancia a su selección. Por lo tanto, esta función está en términos de  $X_i$  y  $E_i$  (tensiones internas resultantes).

$$\frac{X_i}{E_i} = \lambda \cdot f(\mathbf{x}) \dots\dots\dots (1.21)$$

En base a estas ecuaciones se obtiene el llamado “ecuación de las fuerzas”, el cual se presenta a continuación:

$$c' \sec^2 \frac{\alpha}{F_s} + \operatorname{tg} \varphi' \left( \frac{dW}{dx} - \frac{dX}{dx} - \operatorname{tg} \alpha \frac{dE}{dx} - \sec \alpha \frac{dU}{dx} \right) =$$

$$= \frac{dE}{dx} - \operatorname{tg} \alpha \left( \frac{dX}{dx} - \frac{dW}{dx} \right) \dots\dots\dots (1.22)$$

Al imponer la condición de equilibrio a la rotación respecto a la base se obtiene otra ecuación llamada “ecuación de momentos”

$$X = \frac{d(E_\gamma)}{dx} - \gamma \frac{dE}{dx} \dots\dots\dots (1.23)$$

Este método satisface todas las condiciones de equilibrio y se adapta a cualquier tipo de superficie (forma), ya que utiliza ecuaciones de funciones los cuales idealizan de forma real el relieve del sector de análisis.

### 1.3.7. Factor de seguridad

Para llegar a calcular la estabilidad de una talud, ribera o ladera se tiene que hallar el factor de seguridad necesario que verifique la estabilidad total o global del sistema basados en cálculos anteriormente explicados.

Actualmente, existen varias normativas nacionales e internacionales ampliamente aceptadas en Perú, en las que se regula el coeficiente de seguridad a emplear. La elección de dicho coeficiente debe realizarse considerando la temporalidad de la obra (provisional o definitiva) y la situación de cálculo (estática o sísmica). (Valiente, Sobrecases y Diaz, 2015, p. 52)

**Tabla 5.** Factores de seguridad según normativas

NORMATIVA	TALUD TEMPORAL		TALUD PERMANENTE	
	ESTÁTICA	SÍSMICA	ESTÁTICA	SÍSMICA
AASHTO LRFD	1,33-1,53	1,1	1,33-1,53	1,1
NAVFAC-DM7	1,3-1,25	1,2-1,15	1,5	1,2-1,15
FHWA-NHI-11-032	-	1,1	-	1,1
CE.020	-	-	1,5	1,25

Fuente: Valiente, Sobrecases y Diaz, 2015

Cabe destacar que los análisis de estabilidad serán realizados de manera estáticas y pseudoestáticas. Para este último se utiliza la aceleración máxima horizontal de diseño el

cual se calcula en función a la Norma E.030 de Diseño Sismorresistente vigente y la siguiente expresión:

$$A_{\max-d} = \text{PGA} * S \dots\dots\dots (1.24)$$

Donde:

$A_{\max-d}$  = Aceleración de diseño

PGA = Peak Ground Aceleration (Factor de zona)

S = Clasificación de suelos de acuerdo a la amplificación sísmica

**Tabla 6.** Suelos de acuerdo a la amplificación sísmica

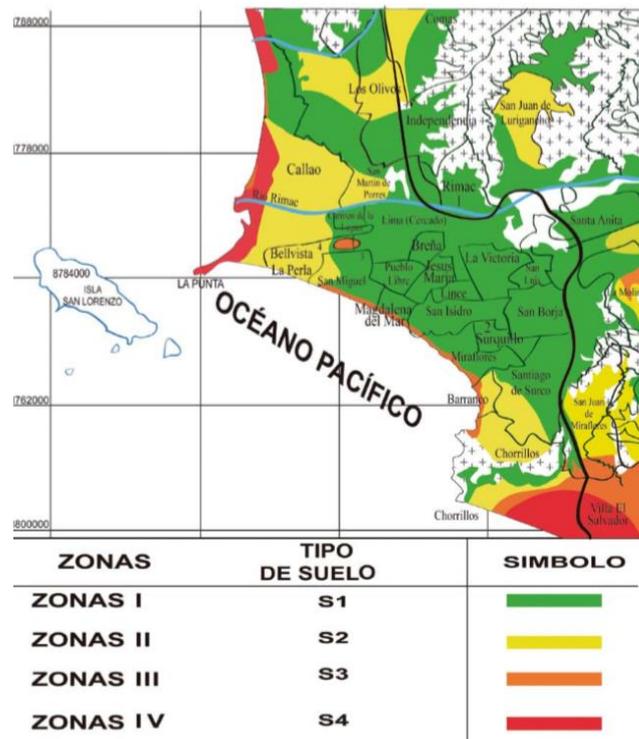
ZONA \ SUELO	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
Z <sub>4</sub>	0,80	1,00	1,05	1,10
Z <sub>3</sub>	0,80	1,00	1,15	1,20
Z <sub>2</sub>	0,80	1,00	1,20	1,40
Z <sub>1</sub>	0,80	1,00	1,60	2,00

Fuente: Norma E.030 Diseño Sismorresistente, 2016



**Figura 12.** Factor de zonificación.

(Fuente: Norma E.030 Diseño Sismorresistente, 2016)



**Figura 13.** Zonificación en función al tipo de suelo. (Fuente: Cismid, 2005)

La Aashto y la FHWA sugieren reducir el anterior resultado de la ecuación (1.24) a 1/2 ó 1/3 en el caso de considerar métodos pseudo-estáticos para el análisis de taludes, riberas o laderas, de esta manera se tiene:

$$A_d = 1/2 * A_{max-d} \dots \dots \dots (1.25)$$

**1.3.8. Protección de taludes**

La protección de un talud es una técnica de ingeniería que impide el desarrollo de la erosión, escurrimiento del agua, el avatar de las olas en los márgenes de la ribera en ríos, lagos y laderas brindando estabilidad. Estas protecciones son elegidas en función al diseño y análisis que mejor se proyecte en la zona, por medio de factores y parámetros respectivos.

Constituye una metodología muy compleja ya que la variabilidad con la que la avenida o caudal fluye hace que los diseños sean más exactos, el factor de seguridad sea más estable y por ende que resista todas las sollicitaciones que esta contenga. Las protecciones usadas en taludes, riberas o laderas suelen ser clasificadas en sistemas de muros y estructuras siguientes:

- a) Muros Rígidos

- b) Muros Flexibles
- c) Tierra Armada
- d) Estructuras Ancladas
- e) Estructuras enterradas

#### **1.3.8.1. Protecciones flexibles**

Para Betún y Quishpe (2016, p. 33), estos sistemas “Son estructuras que no contendrán ningún material cementante, y podrán soportar grandes deformaciones antes de que la estructura falle”.

Los sistemas flexibles comunes o convencionales que son usados con frecuencia, a largo plazo tienden a soportar grandes deformaciones para las solicitaciones para la cual han sido diseñadas; pero al ser convencionales también hay el riesgo de que fallen o en el peor de los casos colapsen.

“Estos se adaptan a las irregularidades o cambios de forma del terreno sobre el que apoyan, causadas principalmente por subsidencia o erosión, sin sufrir daños importantes”. (Guerra, 2013, p. 22)

Los sistemas flexibles que se pueden observar en la actualidad son aquellos que son utilizados de forma común para la protección y la estabilidad de taludes; entre ellos tenemos a los enrocados o rip rap, gaviones caja con colchón antisocavante tipo reno, entre otros.

##### **a) Enrocados o Rip Rap**

Es una estructura de protección de diques conformado por piedras o por fragmentos de rocas de forma angular o redondeada. Su fin es proteger los taludes ante la crecida de los ríos (caudales), subida de mareas, el fenómeno de socavación, entre otros.

Los factores que generan estabilidad al enrocado están directamente asociados a la velocidad del flujo tangencial, el ángulo del talud del enrocado y las características del enrocado.

De esta manera Huarcaya (2005, p. 48), explica que:

Cuando se observa que se tiene la suficiente cantidad en volumen de la piedra requerida, el enrocado es normalmente el material más barato para la ladera de protección. El enrocado tiene muchas ventajas entre otros tipos de protección. Es una manta flexible y no se daña ni debilita por el movimiento ligero del lecho resultado de algunos ajustes menores.

Para el diseño de este tipo de protección se calcula el diámetro medio  $D_{50}$  del enrocado, para esto se puede recurrir a diferentes expresiones analíticas de cálculo.

- Formula de estabilidad de momentos:

$$\eta = \frac{21 \tau_o}{(S_s - 1) \gamma D_s} \dots\dots\dots (1.26)$$

$$\eta = \frac{S_m^2 - FS^2}{FS S_m^2} \cos \theta \dots\dots\dots (1.27)$$

Dónde:

$D_s$  = Diámetro medio de las rocas

$\theta$  = arctg (V/H)

$\phi$  = Ángulo de reposo de la roca

F.S = Factor de seguridad (1.50)

$S_m = \text{Tg } \phi / \text{Tg } \theta$ ;  $\tau_o$  = Máximo esfuerzo de corte

- Formula de Isbash:

$$V = 1.7 \sqrt{\Delta g d} \dots\dots\dots (1.28)$$

$$\Delta = \frac{\rho_r - \rho}{\rho} \dots\dots\dots (1.29)$$

$d$  = diámetro mínimo de las rocas.

$\rho_r$  = densidad de las rocas.

$\rho$  = densidad del agua

Para elegir el diseño del espesor del enrocado se utiliza:

$$e_r = D_{50} \dots\dots\dots (1.30)$$

$e_r$  = espesor del enrocado

$D_{50}$  = Diametro medio del enrocado

La cota de fondo de uña del enrocado va a ser igual a la cota de fondo de socavacion de manera que:

$$P_u = \Delta S \dots\dots\dots (1.31)$$

Entonces la altura del enrocado final sera:

$$H = Y + BL \dots\dots\dots (1.32)$$

$H$  = Altura de enrocado (m)

$Y$  = Tirante de la maxima avenida (m)

$$BL = \text{Borde libre} = \frac{1}{2} * \frac{V^2}{2g}$$

Simons y Senturk recomiendan que la granulometría de los filtros de material granular debe cumplir con las siguientes ecuaciones:

$$d_{50}(\text{del filtro}) / d_{50}(\text{del terreno drenado}) < 40$$

$$5 < d_{15}(\text{del filtro}) / d_{15}(\text{del terreno drenado}) < 40$$

$$d_{15}(\text{del filtro}) / d_{85}(\text{del terreno drenado}) < 5$$

Se sugiere que el espesor mínimo del filtro de grava sea 25% del espesor del enrocado.

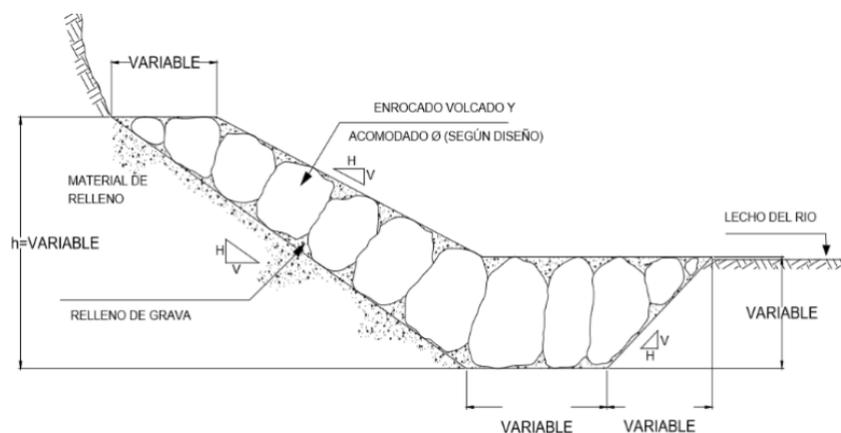
$$e_{\text{filtro}} = 0.25 * e_r \dots\dots\dots(1.33)$$

Para los geotextiles se optan en función a los requerimientos y propiedades que estas tengan para su diseño.

**Tabla 7. Requerimientos para uso de geotextiles**

PROPIEDAD	ENSAYO	UNID	REQUERIMIENTO DE GEOTEXTIL (VMPR)					
			CLASE 1		CLASE 2		CLASE 3	
			E < 50%	E > 50%	E < 50%	E > 50%	E < 50%	E > 50%
Resistencia Grab	ASTM D4632	N	1400	900	1100	700	800	500
Resistencia al razgado trapezoidal	ASTM D4533	N	500	350	400	250	300	180
Resistencia al punzonamiento	ASTM D4833	N	500	350	400*	250	300	180
Resistencia "Burst"	ASTM D3786	Kpa	3500	1700	2700	1300	2100	950
Resistencia a la costura	ASTM D4632	N	1260	810	990	630	720	450

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, 2012



**Figura 14. Sección típica de enrocado de protección.**

(Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, 2012)

\* El VMPR requerido para resistencia al rasgado trapezoidal para geotextil tejidos de monofilamentos, es de 250 N.

**b) Gavión caja con colchón tipo reno**

Son estructuras flexibles que actúan por peso propio, tienen forma de paralelepípedo rectangular. Sus cajas están hechas de tejido de alambre de acero galvanizado y plastificado, es un sistema mixto que se adapta en el terreno en cuanto a su ejecución. Posee un sistema de gaviones de protección lateral y un colchón antisocavante en la parte inferior.

De esta manera Alvaro y Henríquez (2014, p. 34), explican que:

Se colocan a pie de obra desarmados y luego de piedra de canto rodado o piedra chancada con determinado tamaño y peso específico, este material permite emplear sistemas constructivos sencillos, flexibles, versátiles, económicos y que puedan integrarse extremadamente valida desde el punto de vista técnico para construir muros de contención en cualquier ambiente, clima y estación. Tales estructuras son eficientes, no necesitando mano de obra especializada o medio mecánicos particulares, a menudo las piedras para el relleno se encuentran en las cercanías. Tiene la ventaja de tolerar grandes deformaciones sin perder resistencia.

Para el diseño de los gaviones tipo caja se opta por las especificaciones técnicas que estas contengan para su uso.

**Tabla 8. Dimensiones estándar del gavión caja**

Gaviones Caja con Diafragmas				
Dimensiones Estándar			Volumen [m³]	Diafragmas
Largo [m]	Ancho [m]	Alto [m]		
1,50	1,00	0,50	0,75	-
2,00	1,00	0,50	1,00	1
3,00	1,00	0,50	1,50	2
4,00	1,00	0,50	2,00	3
1,50	1,00	1,00	1,50	-
2,00	1,00	1,00	2,00	1
3,00	1,00	1,00	3,00	2
4,00	1,00	1,00	4,00	3

Fuente: De Almeida Barros, 2005

Para la altura del gavión total se utiliza la siguiente expresion:

$$H_g = BL + Y + \Delta S \dots\dots\dots (1.34)$$

H<sub>g</sub> = Altura total del gavión (m)

Y = Tirante de la máxima avenida (m)

$$BL = \text{Borde libre} = \frac{1}{2} * \frac{V^2}{2g}$$

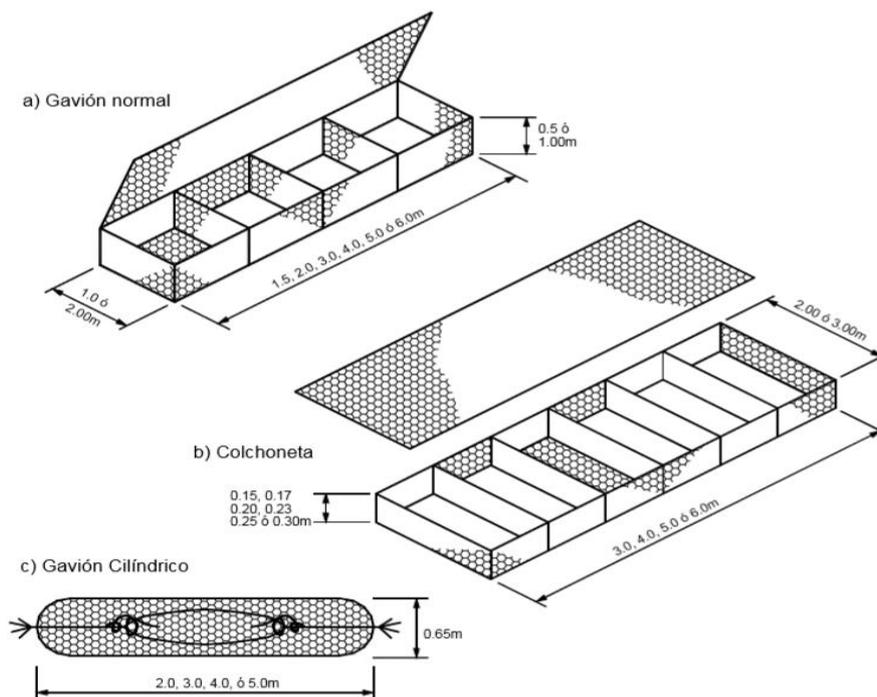
$\Delta S$  = Profundidad de socavación (m)

La longitud de tendido de los cochones reno antisocavante se puede calcular mediante la expresión:  $L_c = (1.50 \text{ a } 2.00) * \Delta S$

**Tabla 9. Dimensiones estándar del colchón reno**

Colchones Reno®				
Dimensiones Estándar			Área [m²]	Diafragmas
Largo [m]	Ancho [m]	Altura [m]		
3,00	2,00	0,17	6	2
4,00	2,00	0,17	8	3
5,00	2,00	0,17	10	4
6,00	2,00	0,17	12	5
3,00	2,00	0,23	6	2
4,00	2,00	0,23	8	3
5,00	2,00	0,23	10	4
6,00	2,00	0,23	12	5
3,00	2,00	0,30	6	2
4,00	2,00	0,30	8	3
5,00	2,00	0,30	10	4
6,00	2,00	0,30	12	5

Fuente: De Almeida Barros, 2005



**Figura 15.** Tipos de unidades de gavión. (Fuente: Suárez, 2001)

### 1.3.8.2. Protecciones rígidas

Para Betún y Quishpe (2016, p. 33), estos sistemas “Son aquellos que no se adaptan a las irregularidades o cambios de forma del margen por lo que son susceptibles de fallo si se quedan sin soporte”.

Generalmente estas estructuras están conformadas por concreto simple, ciclópeo o concreto armado dependiendo del diseño al cual se destine. Estos sistemas generalmente son conocidos como muro de contención o de retención, esto puesto que soportan una gran cantidad de esfuerzos transmitidos por presiones de tierra o masas de agua.

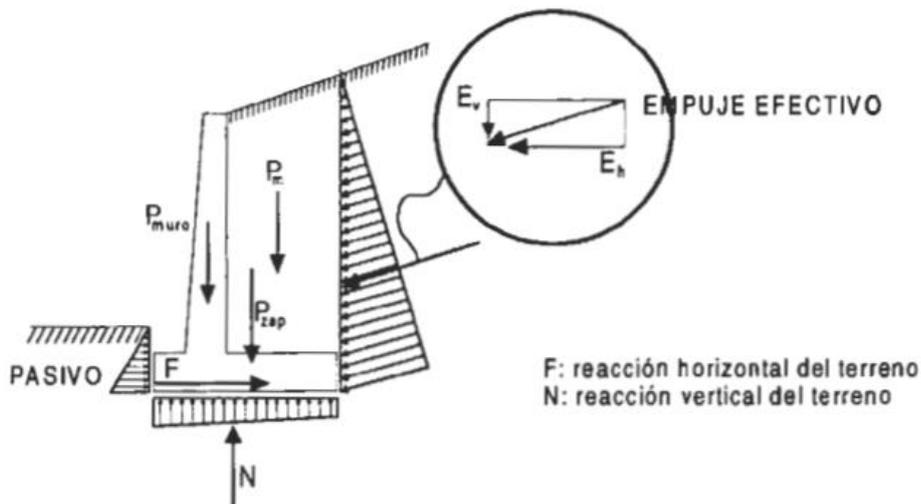
El empleo de estructuras de contención en concreto ciclópeo o armado ha sido muy popular desde hace muchos años, pero debe aceptarse que su éxito ha sido limitado para control de erosión y deslizamientos de tierra. Ocurre con frecuencia que un deslizamiento de rotación en donde la fuerza actuante en el pie tiene una componente vertical importante hacia arriba, levante el muro; y son muchos los casos conocidos de fracasos en el empleo de muros para controlar deslizamientos rotacionales. (Suárez, 2001, p. 48)

En este tipo de estructuras se utiliza la teoría de Rankine para empuje y presiones de tierra, se aplica la siguiente expresión para el empuje lateral del suelo.

$$H_a = \frac{1}{2} k_a \gamma h^2 \dots\dots\dots (1.35)$$

Donde:  $k_a = \cos \theta \frac{\cos \theta - \sqrt{\cos^2 \theta - \cos^2 \phi}}{\cos \theta + \sqrt{\cos^2 \theta - \cos^2 \phi}} \dots\dots\dots (1.36)$

Si:  $\theta = 0$  (talud horizontal)  $K_a = \text{tg}^2 (45^\circ - \phi / 2) \dots\dots\dots (1.37)$



**Figura 16.** Presiones de tierra en un muro de contención. (Fuente: Morales, 2006)

El equilibrio de estas estructuras está en función a la estabilidad por volteo y por deslizamiento:

$$F.S. \text{ VUELCO} = \frac{\Sigma M_0 \text{ FUERZAS ESTABILIZANTES}}{\Sigma M_0 \text{ FUERZAS DESESTABILIZANTES}} \geq 2.0 \dots\dots\dots (1.38)$$

$$F.S. \text{ DESLIZAMIENTO} = \frac{\Sigma F_H \text{ RESISTENTES}}{\Sigma F_H \text{ ACTUANTES}} \geq 1.5 \dots\dots\dots (1.39)$$

**a) Muros de gravedad**

Los muros de gravedad son estructuras que sostienen el talud aprovechando su propio peso puede ser concreto simple o mampostería de piedra. Es usado para la estabilización del talud y formar una plataforma uniforme que soporte el peso propio y la carga vehicular.

Conformados por materiales como concreto, proporciones de piedra y en ocasiones refuerzo de varillas de acero. “Se construyen con concreto plano o mampostería de piedra. Ellos dependen de su propio peso y cualquier apoyo del suelo sobre la mampostería para la estabilidad. Este tipo de construcción no es económico para los muros altos”. (Das, Braja M, 2015, p. 419).

Suárez (2001, pp. 449-450), manifiesta que:

El concreto ciclópeo es una mezcla de concreto con cantos o bloques de roca dura. Generalmente, se utilizan mezclas de 60% de concreto y 40% de volumen de piedra; Sin embargo, debe tenerse en cuenta que a mayor cantidad de piedra existe mayor posibilidad de agrietamiento del muro, por presencia de zonas de debilidad estructural interna. En ocasiones se le colocan refuerzos de varilla de acero dentro del concreto ciclópeo para mejorar su resistencia interna. El diseño de un muro de concreto ciclópeo es muy similar al de los muros de concreto simple rígidos y masivos.

**b) Muros reforzados**

Un muro de contención en voladizo es una estructura en concreto armado que se utiliza para alturas mayores de 6 metros por lo general o para soportar grandes presiones laterales, esta estructura proporciona un soporte lateral de cargas verticales y sobrecargas. Generalmente en obras viales independientemente del tamaño y la altura su utilización es muy común.

“Están hechos de concreto reforzado que consiste en un espolón delgado y una losa de base. Este tipo de pared es económica hasta una altura de alrededor de 8 m”. (Das, Braja M, 2015, p. 419)

Tipo	Esquema	Predimensiones
<b>MUROS DE GRAVEDAD</b> $H \leq 5 \text{ m}$		$b_0 = (0,25 \sim 0,3) H$ $b = (0,4 \sim 0,6) H$
<b>MUROS DE SEMIGRAVEDAD</b> $H \leq 5 \text{ m}$		$b = (0,5 \sim 0,7) H$ $b_0 = 0,3 \sim 0,5 \text{ m}$ $ht = (1/6 \sim 1/10) H$ $b_1 = 0,5 ht$
<b>MUROS EN VOLADIZO</b> $H \leq 10 \text{ m}$		$b_0 = 0,2 \sim 0,5 \text{ m}$ $b_1 = (1/4 \sim 1/2) B$ $ht = (1/6 \sim 1/12) H$ $b = (0,4 \sim 0,7) H$

**Figura 17.** Predimensionamiento de muros de contención.

(Fuente: Norma CE.020 Estabilización de suelos y taludes, 2012)

### 1.3.9. Modelamiento hidráulico, hidrológico y de estabilidad

Para el análisis general del estudio se realizarán modelamientos hidráulicos, hidrológicos y de estabilidad; basados en los datos, ensayos y trabajos de campo. Se utilizará programas de modelamiento y procesamiento de datos para obtener mejores resultados de forma real

#### 1.3.9.1. Modelamiento hidráulico

El fin del modelamiento hidráulico es presentar de forma gráfica y real el cauce en todo su recorrido, teniendo en cuenta la topografía general. Además de simular los caudales para diferentes tiempos de retorno, obteniendo velocidades de flujo, tirante de agua, régimen del río, características hidráulicas de la sección transversal; etc. Los programas generales usados en este modelamiento son:

- AutoCAD 2017
- Hec – Ras
- Hojas de cálculo Excel

### **1.3.9.2. Modelamiento hidrológico**

Para el modelamiento hidrológico se opta por calcular el caudal de diseño, las rugosidades del cauce y el fenómeno de socavación en la ribera y fondo del cauce para generar resultados satisfactorios, además de realizar el ajuste de bondad a los métodos de distribución. Los programas generales usados en este modelamiento son:

- Hidroesta 2
- Hojas de cálculo Excel

### **1.3.9.3. Modelamiento de estabilidad**

El modelamiento de estabilidad de la ribera será posible mediante el uso de programas de estabilidad además de trabajos de campo y de laboratorio, generar el factor de seguridad recomendable y medir la estabilidad de la ribera. Los programas generales usados en este modelamiento son:

- Slide v 6.0

## **1.4. Formulación del problema**

### **1.4.1. Problema general**

- ✓ ¿De qué manera el análisis de estabilidad de taludes influye en la propuesta de protección contra inundaciones en el Sector de la Av. Malecón Chillón - Puente Piedra, 2017?

### **1.4.2. Problemas específicos**

- ✓ ¿Qué metodologías modernas son aplicables en el análisis de estabilidad de taludes para la propuesta de protección contra inundaciones en el Sector de la Av. Malecón Chillón - Puente Piedra, 2017?
- ✓ ¿Qué características básicas ayudan a entender la estabilidad de la ribera del río en el Sector de la Av. Malecón Chillón – Puente Piedra, 2017?
- ✓ ¿Qué tipo de material es recomendable utilizar en la propuesta de protección contra inundaciones en el sector de la Av. Malecón Chillón - Puente Piedra, 2017?

## **1.5. Justificación del estudio**

El aumento del caudal en el río Chillón ha generado fenómenos de erosión y socavación esto se puede observar a simple vista en la zona de estudio volviéndolo vulnerable, además que

se está perdiendo el dique natural año tras año llegando el río hasta los pobladores. Además, nos referimos a una posible inundación en la zona de estudio y que esto genere problemas a las personas aledañas de la Av. Malecón Chillón - Puente Piedra, como sucedió anteriormente en la urbanización San Diego años atrás y en el año 2017, puesto que el río Chillón tiene variabilidad en su caudal de forma ascendente.

#### **a) Justificación teórica**

Para realizar el análisis se opta por tener conocimientos básicos e introductorios de la teoría relacionada al tema de investigación. Es por esta razón que el estudio aporta teorías acerca de la estabilidad de taludes y también mediante la combinación de suelo - estructura, además de concepto referidos a las defensas ribereñas como formulas, diseño, procesos constructivos, entre otros. Además, se toma de referencia los análisis teóricos respecto a parámetros hidráulicos, hidrológicos y geotécnicos iniciales pudiendo así generar mayor teoría respecto a estos análisis para futuros investigadores o estudiantes.

#### **b) Justificación práctica**

Se realiza este trabajo de investigación con el fin de proponer una obra de protección frente a la posible inundación en dicho sector y así poder dar seguridad y resguardo a las personas aledañas al sector, todo esto basado en las teorías, análisis y metodologías anteriormente explicadas de estabilidad, diseño, hidráulica, hidrología y geotecnia.

#### **c) Justificación metodológica**

Para encontrar resultados veraces y óptimos es necesario la creación de fichas de recolección de datos e instrumentos de medición respecto a las dimensiones e indicadores del estudio; además de verificar su validez y obtener una confiabilidad aceptable de las mismas. También es necesario realizar el análisis metodológico del estudio respecto a las variables en general generando así un aporte de investigación claro, veraz y conciso para los futuros investigadores que realicen estudios respecto al tema presentado.

### **1.6. Hipótesis**

#### **1.6.1. Hipótesis general**

- ✓ El análisis de estabilidad de taludes influye significativamente en la propuesta de protección contra inundaciones en el Sector de la Av. Malecón Chillón - Puente Piedra, 2017.

### **1.6.2. Hipótesis específicas**

- ✓ Las metodologías modernas son aplicables en el análisis de estabilidad de taludes para la propuesta de protección contra inundaciones en el Sector de la Av. Malecón Chillón - Puente Piedra, 2017
- ✓ Las características básicas del suelo ayudan a entender la estabilidad de la ribera del río en el sector de la Av. Malecón Chillón – Puente Piedra, 2017.
- ✓ El tipo de material recomendado puede ser utilizado en la propuesta de protección contra inundaciones en el sector de la Av. Malecón Chillón – Puente Piedra, 2017.

### **1.7. Objetivos**

#### **1.7.1. Objetivo general**

- ✓ Determinar de qué manera el análisis de estabilidad de taludes influye en la propuesta de protección contra inundaciones en el Sector de la Av. Malecón Chillón - Puente Piedra, 2017.

#### **1.7.2. Objetivos específicos**

- ✓ Identificar qué metodologías modernas son aplicables en el análisis de estabilidad de taludes para la propuesta de protección contra inundaciones en el Sector de la Av. Malecón Chillón - Puente Piedra, 2017.
- ✓ Indicar qué características básicas ayudan a entender la estabilidad de la ribera del río en el Sector de la Av. Malecón Chillón – Puente Piedra, 2017.
- ✓ Evaluar qué tipo de material es recomendable utilizar en la propuesta de protección contra inundaciones en el sector de la Av. Malecón Chillón - Puente Piedra, 2017.

## **II. METODOLOGÍA**

## **2.1. Método, diseño, tipo y nivel de investigación**

### **2.1.1. Método de investigación**

De forma general el método es una ruta que posee procesos los cuales llegan a un fin que es lograr o responder un objetivo propuesto.

Arias (2012) menciona que, “El método científico es el conjunto de gestiones, tácticas y procesos que se utilizan para formular y solucionar problemáticas de investigación por medio del ensayo o comprobación de hipótesis”. (p. 19)

El presente estudio de investigación usa el método científico; porque se indica una problemática de interés, la cual se coloca a prueba con la hipótesis propuesta; por medio de técnicas y procedimientos que apoyen con el desarrollo y dar contestación a la problemática.

### **2.1.2. Diseño de investigación**

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014) explican que, “El indagador debe elegir o desarrollar un diseño de investigación determinado. Los diseños se usan también para ponerlas a prueba. En cuanto a los diseños cuantitativos estas pueden ser experimentales o no experimentales”. (p. 126)

Este proyecto de investigación se basa en un diseño no experimental porque no habrá manipulación en los valores de las variables; así que se usará el estudio descriptivo y por ello el esquema a usar será el siguiente:



M: Lugar donde se realizan los estudios del proyecto y la cantidad de población beneficiada.

O: Datos obtenidos de la mencionada zona.

Además, para los diseños no-experimentales se tiene una división del tipo transversal y longitudinal. Por ende, es un diseño transversal, ya que tenemos uno o más recopilaciones de datos del presente para indagar una solución en el futuro.

### **2.1.3. Tipo de investigación**

Borja (2016), explica que “En la ciencia actual existen diversos tipos de investigación y que es preciso entender sus tipologías para que así se tome o use el que mejor se adecue al estudio que se desarrollará”. (p. 10)

Para Borja (2016), el tipo de investigación se cataloga en tres secciones:

- Investigación básica o pura.
- Investigación aplicada.
- Investigación tecnológica.

El presente estudio de investigación se realiza mediante un tipo de investigación aplicada, ya que se usa los conocimientos básicos y conceptos asimilados para emplearlos de forma práctica a un problema y dar posibles soluciones con la finalidad de beneficiar a la sociedad o a los elementos referidos al problema.

#### **2.1.4. Nivel de investigación**

Arias (2012) explica que “El nivel de investigación se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio”. (p. 23)

Arias (2012), presenta tres niveles de investigación:

- Nivel Exploratorio.
- Nivel Descriptivo.
- Nivel Explicativo.

Este estudio de investigación presenta un nivel descriptivo, porque se tienen sustentaciones de documentos y resultados de campo; además se pretende medir y recoger datos de información en función al estudio que se realiza de las variables o elementos de análisis. Como lo indican Hernández, Fernández y Baptista (2014), el estudio descriptivo tiene el fin de “detallar las peculiaridades, tipológicas y los perfiles de los individuos, agrupaciones, comunidades, objetos, procedimientos u otras anomalías que se impongan a un análisis”. (p. 92)

## **2.2. Variables y operacionalización**

### **2.2.1. Variables**

El análisis de las variables está en función a dos aspectos que son la independencia y dependencia respectivamente.

- ✓ Variable independiente: Análisis de estabilidad de taludes
- ✓ Variable dependiente: Protección contra inundaciones

## 2.2.2. Operacionalización de las variables

**Tabla 10.** Operacionalización de la variable independiente

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Análisis de estabilidad de taludes	“[...] seleccionar una superficie de deslizamiento o falla y calcular su factor de seguridad, finalmente, a partir de este factor de seguridad (el cual se elige en base al destino del talud) se deberá determinar la superficie de falla crítica”. (Aguilar y Zúñiga, 2015, p. 14)	Se analiza la estabilidad en la ribera del cauce mediante el uso de metodologías de cálculo, la geotecnia y los estudios hidrológicos respectivos.	Metodologías de cálculo	Bishop simplificado	Ordinal
				Spencer, Morgenstern y Price	
			Geotecnia	Granulometría	
				Límites de Atterberg	
				Corte directo	
			Estudios hidrológicos	Caudal de diseño	
				Rugosidad de Manning	
				Socavación	

Fuente: Elaboración propia, 2018

**Tabla 11.** Operacionalización de la variable dependiente

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Protección contra inundaciones	“Una obra de protección y encauzamiento es aquella que se ejecuta con el fin de evitar daños ocasionados por desbordamiento de corrientes naturales a áreas productivas y centros de población”. (Rodríguez, 2012, p. 184)	Se opta por el sistema y material de protección que se adapte en la ribera y cumpla todas las solicitaciones calculadas, mediante el uso de datos tomado en campo y laboratorio, además de modelamientos y simulaciones.	Sistemas de protección	Flexibles	Ordinal
				Rígidos	
			Tipo de material para protección	Muro reforzado	
				Enrocados	
				Gavión caja con colchón tipo reno	
			Modelos	Hidráulico	
				Hidrológico	
				Estabilidad	

Fuente: Elaboración propia, 2018

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

### **2.3.1. Población**

Arias (2012) define que “De forma general la población objetivo, es una conjunción finita o infinita de sujetos con tipologías similares para los cuales serán prolongables las soluciones del estudio”. (p. 81)

La población obtenida, son todos los tramos de ribera de río de la cuenca baja del río Chillón, siendo estos de diferentes características como longitud y condiciones actuales. Cabe destacar que la longitud del río en la cuenca total del río Chillón es de 126 Km aproximadamente, teniendo en su recorrido riberas vulnerables ante el cambio del caudal.

Población: Todos los tramos de ribera del río de la cuenca baja del río Chillón.

### **2.3.2. Muestra**

La estimación de la muestra se basó en la vulnerabilidad y riesgo observado en campo así como acopio de información de la zona, es decir que se tomó el sector de estudio por criterio propio. Por lo cual Borja (2016, p. 31), explica que:

Si cada sujeto de investigación poseyera las mismas cualidades, la dimensión requerida de la muestra sería solo la unidad; pero como este caso no se presenta, se necesita constituir un tamaño de muestra mayor a la unidad, pero a la vez que sea menor a la población general o universo de estudio.

Muestra: Un tramo de río de 300 m de longitud de la cuenca baja del río Chillón, localizado en la progresiva Km 6+100 a Km 6+400 del río Chillón, en el sector de la Av. Malecón Chillón – Puente Piedra.

### **2.3.3. Muestreo**

No probabilístico o dirigida (Por conveniencia), ya que se está optando como muestra un trayecto de progresiva de la cuenca baja del río Chillón en la Av. Malecón Chillón para analizar, por tener como ayuda algunos antecedentes del lugar y previa inspección ocular del lugar de estudio verificando procesos erosivos y de socavación en las partes afectadas durante todo el recorrido del tramo.

Como Arias (2012), explica “en este caso los elementos son escogidos con base en criterios o juicios preestablecidos por el investigador”. (p. 81)

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

Las técnicas e instrumentos utilizados en el análisis de la información y datos se ven conectadas de forma directa con la hipótesis y objetivos, las cuales a su vez pretenden resolver la problemática.

“Una vez efectuada la operacionalización de las variables y definidos los indicadores, es hora de seleccionar las técnicas e instrumentos de recolección de datos pertinentes para verificar las hipótesis o responder las interrogantes formuladas [...]”. (Arias, 2012, p. 67)

### **2.4.1. Técnica**

Para Borja (2016), “Se encuentra una gran variedad de técnicas para recolectar datos o información, las cuales a su vez son complementarias entre si más no excluyentes. Entre estas se tiene: las encuestas, la observación directa, entrevistas y los experimentos estandarizadas”. (p. 33)

Respecto a lo mencionado el presente estudio de investigación usa una técnica de observación directa en campo hacia los hechos más relevantes, así como la técnica de recolección de datos y revisión bibliográfica de tesis, libros e informes relevantes en la investigación.

### **2.4.2. Instrumento de recolección de datos**

Para Arias (2012), “Un instrumento de recolección de información se presenta como un objeto o recurso de almacenamiento de información, aparato o ficha (de forma digital o física), el cual tiene el fin de almacenar, obtener o anotar información relevante”. (p. 68)

Parella y Martins (2012), indican que “El instrumento para recolectar datos es, en origen, aquel elemento en el cual puede apoyarse el tesista para estar más cerca de los efectos y obtener de ellos datos”. (p. 125)

Por las definiciones anteriores el presente estudio usa como instrumento fichas de recolección de información creados por el tesista basado en las variables de análisis. Además de verificar su respectiva validez y también tener un grado aceptable de confiabilidad.

La Tabla 12 presenta los instrumentos y técnicas usados en el proceso o etapas de la investigación verificando algunas formas de validación vitos desde el punto de desarrollo de la investigación.

**Tabla 12. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Etapas de la investigación	Técnicas	Instrumentos	Validación
Geotecnia	Análisis en Campo (recolección de muestras)	- Ensayo granulométrico. - Límites de Atterberg. - Ensayo de corte directo.	- Norma ASTM D - 422 - Norma ASTM D - 4318 - Norma ASTM D - 3080
Estudios hidrológicos	Análisis documental y tecnológico (recolección de datos y programas computacionales)	- Registro de caudales máximos medios (m <sup>3</sup> /s)	- Senamhi (Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú)
Metodologías de cálculo	Análisis tecnológico (programas computacionales)	- Ficha de recolección de datos	- Ficha de validación del Cuestionario de Encuesta
Modelamientos	Análisis tecnológico (programas computacionales)	- Hec-Ras - Hojas de cálculo Excel - AutoCAD 2017 - Hidroesta 2 - Slide v 6.0 - Otros	- Ficha de validación del Cuestionario de Encuesta
Sistemas de protección	Análisis documental (recolección de datos)	- Ficha de recolección de datos	- Ficha de validación del Cuestionario de Encuesta
Tipo de material para protección	Análisis documental (recolección de datos)	- Ficha de recolección de datos	- Ficha de validación del Cuestionario de Encuesta

Fuente: Elaboración propia, 2018

### 2.4.3. Validez

Hernández, Fernández y Baptista (2014), definen “De forma general se entiende por validez a un grado de aceptación respecto a la medición del instrumento con su variable de análisis”. (p. 200)

El investigador debe buscar la validez de los instrumentos para que así estas puedan ser confiables al momento de responder las problemáticas propuestas. En este caso la validación de la ficha de recolección de datos es hecha mediante juicio de expertos (3 especialistas),

además de normas técnicas ya establecidas, instituciones nacionales reconocidas para la petición de información relevante en la investigación (ver Tabla12).

**Tabla 13.** *Magnitudes y rangos de validez*

Rangos	Magnitud
0,81 a 1,00	Muy Alta
0,61 a 0,80	Alta
0,41 a 0,60	Moderaada
0,21 a 0,40	Baja
0,01 a 0,20	Muy Baja

Fuente: Ruiz, 2002

De la Tabla 14 se observa que el índice de validez del instrumento tiene un criterio de “Muy alta”, respecto a la Tabla 13.

**Tabla 14.** *Índice de validez por juicio de expertos*

Validez	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Promedio
Ficha de recolección de datos	0.92	1	0.895	0.938
Índice de validez				0.938

Fuente: Elaboración propia, 2018

Esto demuestra que la ficha elaborada posee un grado aceptable de uso en el estudio, para lo cual se puede reunir datos de campo.

#### **2.4.4. Confiabilidad**

Palella y Martins (2012), mencionan que “Es entendida como error aleatorio nulo respecto a los instrumentos de recolección de información. Es un grado de veracidad donde las mediciones tienen ausencia de la desviación generada por los errores de causa”. (p. 164)

De forma directa la información y datos son confiables, ya que son recolectadas de documentaciones citadas y referenciadas de forma correcta. Con la finalidad de entregar un rango de confiabilidad y validez hacia los instrumentos de recolección de datos. Además, se tiene la confiabilidad mediante instituciones nacionales quienes transfieren datos, además las normas nacionales y calibración de modelos computacionales.

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

Para la debida interpretación de datos y sus resultados respecto a los distintos instrumentos de se obtuvieron gracias a los ensayos, métodos teóricos, fichas de recolección de información y softwares computacionales de modelamiento y simulación se selecciona un análisis y síntesis de información más preciso con el fin de obtener de forma real el problema, donde el grado de validez y confiabilidad estarán presentes.

Respecto a los resultados se obtendrán cálculos manuales, tablas y gráficos, formatos en Excel, modelamiento y simulaciones con los softwares correspondientes, todo ello interpretado y sustentado de forma veraz. Se tiene el siguiente flujo de trabajo:

- Recolección de datos
- Trabajos de campo
- Trabajo de gabinete

## **2.6. Aspectos éticos**

Para el presente trabajo de investigación se ha referenciado diferentes tesis, libros y manuales con el fin de recolectar información confiable por ser fuentes de indagación de expertos.

Por esta razón la ética y moral está de por medio al usar esta información como base teórica y de análisis que ayude a desarrollar la problemática planteada, siendo estas escritas y citadas correctamente por el sistema de Referencias estilo ISO 690 y 690-2 Adaptación de la norma de la International Organization for Standardization (ISO). Además del uso del programa Turnitin para el análisis de autenticidad.

### **III. RESULTADOS**

### 3.1. Descripción de la zona de estudio

El sector de la Av. Malecón Chillón se encuentra ubicado a la altura del Km 22.00 de la Panamericana Norte, margen izquierda de la ruta Lima –Ancón, distrito de Puente Piedra, provincia y departamento de Lima entre los límites del distrito de Puente Piedra y San Martín de Porres, con referencia al frente de la Urbanización San Diego. A continuación, se presenta una imagen referenciada hacia la zona de estudio.



**Figura 18.** Ubicación del tramo de estudio. (Fuente: Google Earth, 2017)

Este tramo se seleccionó como zona de estudio porque en la actualidad no cuenta con obras de protección en la ribera derecha del río, además que anteriormente hubo una inundación por este sector.

**Tabla 15.** Ubicación geográfica de la zona de estudio

<b>Departamento</b>	Lima
<b>Provincia</b>	Lima
<b>Distrito</b>	Puente Piedra
<b>Zona</b>	18
<b>Ubicación geográfica</b>	Longitud oeste: 77° 5'28.74"O Latitud sur: 11°56'38.87"S Altitud: 68 msnm.

Fuente: Google Earth, 2018

### 3.1.1. Recopilación de información

El presente trabajo de investigación se fundamenta mediante el uso de normas nacionales, informes y manuales, tales como:

- Norma E.050 Suelos y Cimentaciones (RNE).
- Norma CE.020 Estabilización de Suelos y Taludes (RNE).
- Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (MTC).
- Resumen ejecutivo: “Delimitación de la faja marginal del río Chillón” (ANA).
- Tesis relacionadas con el tema de investigación, verificando los datos para después procesarlos, entre otros.

### 3.1.2. Panorama de la zona

- a) En la Figura 19 se aprecia el deterioro y erosión de la ribera a estudiar, esta erosión está haciendo que el río se ensanche hasta llegar a la población aledaña, por medio del aumento de caudal del río Chillón. No existe sistemas de protección en el margen derecho del río, el ancho de la trocha medida en campo varía entre 6.00 m a 6.50 m perdiendo así parte de la Av. Malecón Chillón. Actualmente no poseen defensas ribereñas como protección.



**Figura 19.** Proceso de erosión en la ribera. (Fuente: Imagen propia, 2017)

- b) La ribera presenta deslizamientos a causa del fenómeno de socavación y erosión, agrietamiento de la ribera, el suelo posee inestabilidad al poseer material granular muy suelto y de relleno como se observa en la Figura 20. Cabe destacar que estas fallas están ocurriendo muy cerca de las casas aledañas del río.



**Figura 20.** Deslizamiento del terreno. (Fuente: Imagen propia, 2017)

- c) El margen izquierdo del río posee gaviones como sistemas de protección actuales, los cuales fueron ejecutados después de la inundación que paso la Urbanización San Diego en el año 2001, nótese material de relleno orillado en los gaviones y cierto grado de socavación.



**Figura 21.** Sistemas de protección actual margen izquierda del río.

(Fuente: Imagen propia, 2017)

## 3.2. Trabajos preliminares

### 3.2.1. Topografía

El levantamiento topográfico se realizó con el fin de tomar puntos de levantamiento y realizar una figura grafica representativa para ver el medio en cual se trabaja, además de ayuda para realizar el modelamiento hidráulico y de estabilidad. El trabajo de levantamiento

topográfico se inicia con la lectura de los puntos geodésicos calculados y determinados por el equipo topográfico referidos al sistema WGS-84 Zona 18 de la Red Geodésica SIRGAS – IGN.

Para la realización del control terrestre, se contó con la información siguiente:

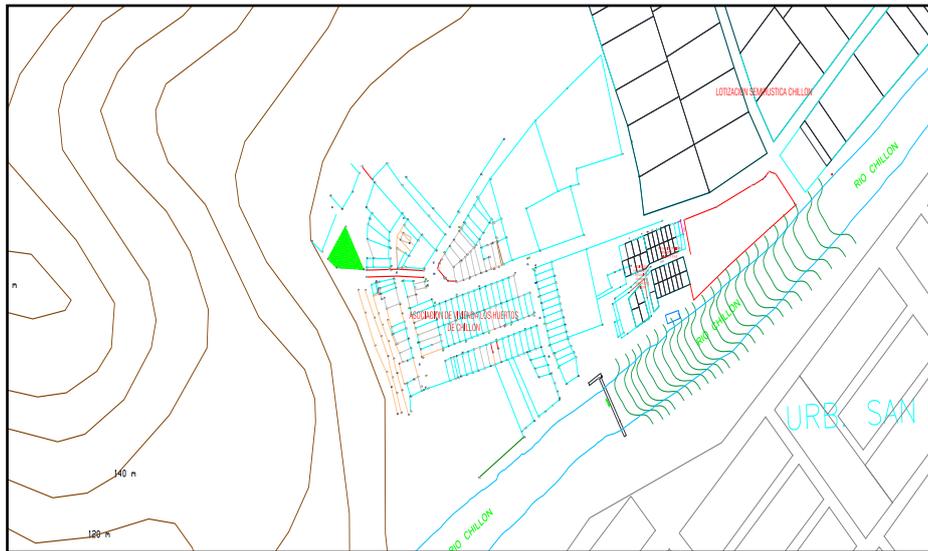
- Puntos de poligonal de primer orden establecido por el IGN.

**Tabla 16.** Puntos y coordenadas de control UTM

PUNTO	LATITUD (S) WGS-84	LONGITUD (W) WGS-84	ESTE (X) WGS-84	NORTE (Y) WGS-84	ALTURA
MPP-1	S11°56'28.40509"	O77°05'39.86966"	271908.584	8679082.870	141.719
MPP-5	S11°56'12.27823	O77°05'14.22821"	272680.852	8679584.387	123.030

Fuente: IGN, 2018

Después de realizar los levantamientos topográficos respectivos, con el equipo de estación total marca Leica Viva TS11 de aproximación 2", se procedió a transferir toda la información de campo a través del programa Leica-Survey. Se utilizó una hoja de cálculo Excel que hizo posible utilizar el programa AutoCAD, para los trazos y unión de puntos generando así el grafico presentado.



**Figura 22.** Levantamiento topográfico del sector de estudio.

(Fuente: Imagen propia, 2018)

### 3.2.2. Geotecnia

Para conseguir las características del material de la ribera se realizó trabajos de geotecnia, tomando muestras representativas del suelo y llevándolas al Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales en la Universidad Cesar Vallejo en la ciudad de Lima, ensayándolas

bajo las consideraciones de las normas peruanas vigentes (RNE). De esta manera se tendrán datos e información para poder seguir con el desarrollo de la investigación.

**a) Calicatas**

Se realizó 3 calicatas para analizar las características del suelo de fundación, la excavación fue a cielo abierto. Cada excavación fue realizado a 50 m aproximadamente de distancia uno del otro, presentan cierta homogeneidad en las 4 caras de la excavación, no se encontró nivel freático. Estas muestras fueron llevadas al laboratorio de la universidad Cesar vallejo para su análisis, además se tiene las características observadas en campo.

En campo se pudo constatar la inestabilidad de una parte de la ribera al momento de realizar las excavaciones, esto se puede verificar en la calicata C-3, ya que se llegó solo a una profundidad de 1.80 m.

**Tabla 17. Características de la calicata C-1**

<b>Calicata C-1</b>	
0.00 m	Nivel del terreno natural
0.00 m – 0.40 m	Relleno acumulativo de gravas angulares, limos, color beige de humedad moderadamente seca y de compacidad suave a firme ,presenta residuos sólidos.
0.40 m – 2.00 m	Relleno de gravas subredondeadas de color grisáceo y humedad moderadamente seca y de compacidad suave a firme presenta bolonerias de hasta 4 pulg. de diámetro y también presenta residuos plásticos.
2.00 m – 3.00 m	Lentecillo no estratificado de limo con gravas angulosas intercaladas de humedad medio húmedo y consistencia firme a dura, presenta algunos residuos sólidos.

Fuente: Elaboración propia, 2018

**Tabla 18. Características de la calicata C-2**

<b>Calicata C-2</b>	
0.00 m	Nivel del terreno natural
0.00 m – 0.90 m	Relleno acumulativo de gravas angulares, limos, color beige de humedad moderadamente seca y de compacidad suave a firme ,presenta residuos sólidos.
0.90 m – 1.90 m	Relleno de gravas subredondeadas con presencia de residuos solidos, bolonerias de hasta de 7 pulg. de diametro color gris y humedad moderadamente humeda y de compacidad suelto a medio firme..
1.90 m – 2.30 m	Grava subredondeada de color gris ligeramente humedo, presenta intercalaciones de bolonerias de 6 pulg. de compacidad firme a ligeramente densa, aparición de losetas de ladrillos de 1 - 0.5 %

Fuente: Elaboración propia, 2018

**Tabla 19.** Características de la calicata C-3

<b>Calicata C - 3</b>	
0.00 m	Nivel de terreno natural
0.00 m - 0.80 m	Relleno acumulativo de gravas angulares , limos, color gris de humedad moderadamente media y compacidad firme a suave , presenta residuos sólidos.
0.80 m - 1.20 m	Arena limosa de caracterizticas finas, humedad moderadamente alta y de compacidad suave a denso , presenta diminutos residuos sólidos.
1.20 m - 1.80 m	Grava subredondeada de color gris ligeramente humedo, presenta bolonerias de 5 pulg.

Fuente: Elaboración propia, 2018



**Figura 23.** Excavación de las tres calicatas. (Fuente: Imagen propia, 2018)

## b) Granulometría

Se realizó el ensayo de granulometría por tamizado para analizar la distribución de las partículas de la muestra del suelo de la ribera, así como referencias de la granulometría del cauce del río.

- $D_{50}$  = De acuerdo con la curva granulométrica para un 50% del tamaño de la muestra se tiene 18 mm de diámetro.
- $D_m$  = Se considera como diámetro medio el  $D_{50}$ .
- $D_{90}$  = De acuerdo con la curva granulométrica para un 90% del tamaño de la muestra se tiene 60 mm de diámetro.
- Peso específico del suelo ( $Y_s$ ) =  $2.71 \text{ Tn/m}^3 \approx 26.57 \text{ Kn/m}^3$
- Peso específico del agua ( $Y_w$ ) =  $1.00 \text{ Tn/m}^3$

Para la granulometría del lecho del río se referencia por medio de la Figura 24, el cual muestra la granulometría del lecho del río Chillón mediante 8 muestras del material del río ensayadas en Laboratorio de Mecánica de Suelos. Se encontró cantos rodados, gravas, arenas y algunos finos cuyos diámetros varían entre los 450 mm y los 0.074 mm.

**Tabla 20. Análisis granulométrico de las muestras**

Calicata		<b>C-1</b>	<b>C-2</b>	<b>C-2</b>	<b>C-3</b>		
Muestra		<b>M-1</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-1</b>		
Profundidad (m)		<b>0.55</b>	<b>1.7</b>	<b>2.10</b>	<b>1.00</b>		
<b>Análisis Granulométrico por Tamizado - ASTM D 422</b>							
Tamiz	(mm)	% Acumulado que pasa					
3"	75.00	100	100	100			
2"	50.00	96	93	85			
1 1/2"	38.10	91	90	71			
1"	25.00	84	81	57	100		
3/4"	19.00	76	75	52	99		
1/2"	12.50	69	66	46	96		
3/8"	9.50	65	61	43	94		
1/4"	6.30	61	55	39	90		
Nº 4	4.75	58	52	37	87		
Nº 10	2.00	50	43	33	79		
Nº 20	0.85	42	33	28	71		
Nº 40	0.425	28	20	16	58		
Nº 60	0.25	15	12	8	48		
Nº 100	0.15	4	3	2	31		
Nº 200	0.075	2	2	1	26		
<b>Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad - ASTM D 4318 (95)</b>							
Límite Líquido		NT	NT	NT	NT		
Límite Plástico		NT	NT	NT	NT		
Índice de Plasticidad		NP	NP	NP	NP		
<b>Clasificación de Suelos SUCS - ASTM D 2487 (93)</b>							
Clasificación		<b>SP con grava</b>	<b>SP con grava</b>	<b>GP con arena</b>	<b>SM</b>		

Fuente: Ensayo de laboratorio, 2018

**Tabla 21. Simbología de suelos**

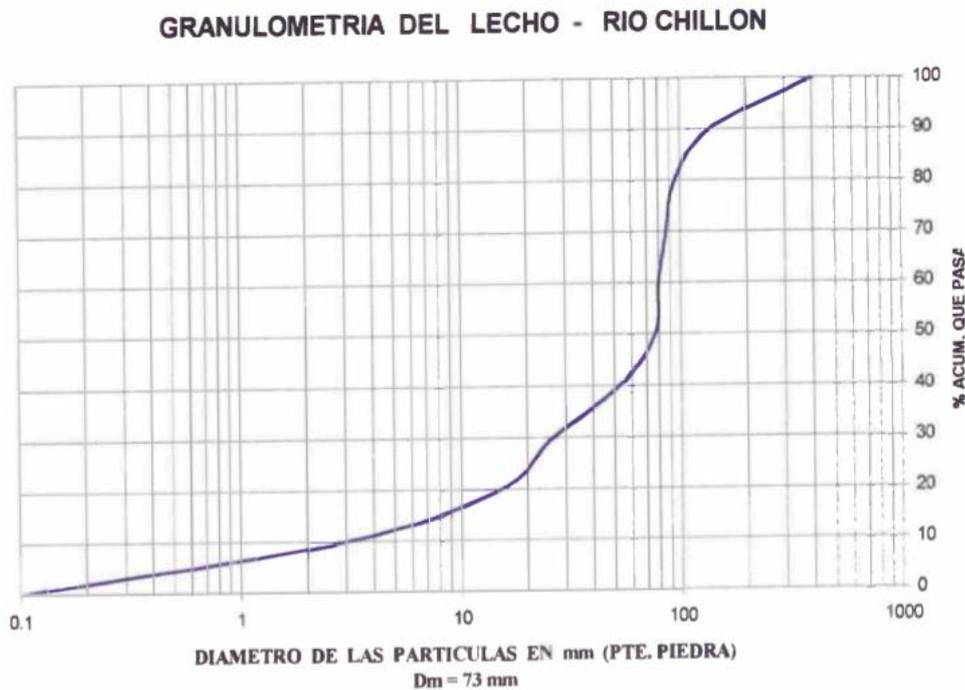
DIVISIONES MAYORES		SIMBOLO		DESCRIPCIÓN
		SUCS	GRÁFICO	
SUELOS GRANULARES	GRAVA Y SUELOS GRAVOSOS	GW		GRAVA BIEN GRADUADA
		GP		GRAVA MAL GRADUADA
		GM		GRAVA LIMOSA
		GC		GRAVA ARCILLOSA
	ARENA Y SUELOS ARENOSOS	SW		ARENA BIEN GRADUADA
		SP		ARENA MAL GRADUADA
		SM		ARENA LIMOSA
		SC		ARENA ARCILLOSA

Fuente: (Norma E.050 Suelos y Cimentaciones, 2006)

**Tabla 22.** Clasificación SUCS de las muestras

Calicata	Clasificación SUCS-ASTM D 2484 (93)	Descripción
C-1 M-1	SP con grava	Arena mal graduada con grava
C-2 M-1	SP con grava	Arena mal graduada con grava
C-2 M-1	GP con arena	Grava mal graduada con arena
C-1 M-1	SM	Arena limosa

Fuente: Ensayo de laboratorio, 2018



**Figura 24.** Granulometría del lecho del río Chillón. (Fuente: Huacoto, 1997)

### c) Contenido de humedad

Otro ensayo importante fue el contenido de humedad, esto para obtener el porcentaje de humedad contenida en cada muestra, se puso las muestras a una temperatura de  $105 \pm 5$  °C durante un periodo de tiempo de 16 horas, teniendo así las muestras secas al día siguiente.

Las muestras fueron puestas en diferentes recipientes con sus respectivos nombres, fueron pesados en una balanza electrónica con mínimo error en kilaje, y secados en las horas antes explicadas.

En la Tabla 23, se puede apreciar que el porcentaje mayor de humedad lo tiene la muestra de la calicata 3 con 11.36 %, esto puesto que por la clasificación es arena limosa (SM) teniendo en cuenta que es un banco pequeño de arena; mientras que las demás muestras poseen gravas en gran porcentaje dando porcentajes bajos de humedad.

**Tabla 23.** *Contenido de humedad de las muestras*

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D 2216					
Nº	PUENTE PIEDRA - LIMA	C - 1	C - 2	C - 2	C - 3
	MUESTRA	0,40-2,00	0,90-1,90	1,90-2,30	0,80-1,20
1	Peso recipiente + suelo humedo	1530.00	1331.00	1199.00	1136.00
2	Peso recipiente + suelo seco	1503.00	1308.00	1188.00	1065.00
3	Peso recipiente	433.00	445.00	444.00	440.00
4	Peso agua (1-2)	27.00	23.00	11.00	71.00
5	Peso Suelos seco (2-3)	1070.00	863.00	744.00	625.00
6	Humedad (4/5) * 100 (%)	2.52	2.67	1.48	11.36

Fuente: Ensayo de laboratorio, 2018

#### d) Corte directo

Este ensayo sirve para determinar la resistencia que posee el suelo ante esfuerzos inducidos por fatiga y deformaciones, los cuales simulan las sollicitaciones que pueda tener el terreno ante cargas, permite calcular los coeficientes de ángulo de fricción interna y cohesión aparente del suelo.

Se comienza con el uso de un molde de forma cuadrada dividida en dos de forma horizontal de 6.30 cm de lado y una altura de 2.20 cm, dentro del cual se pone una piedra porosa y un papel filtro tanto en la parte superior como inferior, después la muestra de suelo queda en la parte intermedia. Se lleva a la máquina de ensayo de corte directo donde se humedece el material y se comienza a aplicar una fuerza vertical y otra horizontal lo que origina el corte de la muestra al desplazarse estas dos mitades del molde. En este ensayo se observa dos tipos de esfuerzos, los cuales inducen a la falla de la muestra por corte: Esfuerzo normal y esfuerzo cortante.



**Figura 25.** Preparación para el corte directo. (Fuente: Imagen propia, 2018)

**Tabla 24.** Resultado del ensayo de corte directo

ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D - 3080				
Especimen :		A	B	C
Lado :	(cm)	6,30	6,30	6,30
Altura :	(cm)	2,20	2,20	2,20
Densidad Seca :	(g/cm <sup>3</sup> )	1.79	1.79	1.79
Humedad Inicial :	(%)	2.67	2.67	2.67
Humedad Saturado :	(%)	11.11	10.97	11.21
Esfuerzo Normal :	(kg/cm <sup>2</sup> )	0.50	1.00	1.50

Fuente: Ensayo de laboratorio, 2018

### 3.2.3. Hidrología

Para los cálculos hidrológicos se utilizan los registros de caudales máximos medios (m<sup>3</sup>/s), medidos en la estación Puente Magdalena y así generar el caudal máximo de diseño para el análisis total del tramo del río viendo su comportamiento ante esta variación de caudal. Esto se constata mediante el uso de programas hidrológicos, que permiten modelar y calcular estos parámetros.

**Figura 26.** Ubicación de la estación hidrométrica analizada

NOMBRE DE LA ESTACIÓN	UBICACIÓN		ALTITUD	PROV.	DPTO.	PERIODO DE REGISTRO
	LATITUD	LONGITUD	msnm			
Pte. Magdalena	11°42' S	76°50' W	1000	Canta	Lima	1919-1997

Fuente: Senamhi, 2014

Se cuenta con registros de caudales máximos medios (m<sup>3</sup>/s) históricos para el análisis que van desde el año 1919 a 1997, esta información proporciona por el Senamhi (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú); teniendo como máximo caudal histórico 180.13 m<sup>3</sup>/s en el año de 1964 y el mínimo caudal 19.00 m<sup>3</sup>/s en 1926.

Como la mayoría de los ríos de la costa el río Chillón presenta un régimen de descarga irregular y de carácter torrencioso, lo que da una demarcación en sus valores extremos. Entre los meses de Mayo – Diciembre se tiene un período de estiaje el cual conforma un 17% del volumen descargado; mientras que entre los meses de Enero – Abril se tiene un período de avenidas con una descarga de 58% del volumen total. Además de dos períodos de transición que son Abril –Mayo y Diciembre – Enero con volúmenes de descarga de 14% y 11 % respectivamente.

En el año 2017 se tuvo una fuerte variación en el caudal del río Chillón, provocando fenómenos de socavación en diferentes tramos del recorrido del río, incluso con el colapso de puentes.

**Tabla 25.** Registro de caudales máximos medios (m<sup>3</sup>/s), medidos en la estación Pte.

*Magdalena*

Año	Estación Pte. Magdalena	Año	Estación Pte. Magdalena	Año	Estación Pte. Magdalena
1919	72.00	1945	112.00	1971	180.00
1920	75.00	1946	42.45	1972	49.60
1921	71.00	1947	45.00	1974	98.52
1922	68.00	1948	107.00	1975	42.50
1923	56.00	1949	70.00	1976	65.45
1924	96.80	1950	85.00	1977	30.10
1925	65.10	1951	70.00	1978	47.48
1926	19.00	1952	78.00	1979	32.71
1927	50.00	1953	50.70	1980	35.10
1928	76.50	1954	120.00	1981	28.40
1929	52.60	1955	49.50	1982	20.00
1930	43.60	1956	40.20	1983	30.30
1931	75.00	1957	38.56	1984	28.00
1932	153.70	1958	72.33	1985	30.00
1933	83.70	1959	28.53	1986	35.00
1934	136.20	1960	28.80	1987	29.00
1935	52.40	1961	40.00	1988	47.00
1936	39.30	1962	42.84	1989	38.00
1937	67.20	1963	36.00	1990	31.00
1938	83.70	1964	180.13	1991	36.00
1939	63.70	1965	60.28	1992	29.20
1940	79.35	1966	130.31	1993	27.10
1941	91.85	1967	20.42	1994	35.20
1942	71.52	1968	35.24	1995	30.30
1943	81.09	1969	150.18	1996	31.20
1944	43.25	1970	56.90	1997	70.00

Fuente: Senamhi, 2014

**a) Período de retorno**

Se eligieron los periodos de retorno representativos basados en el riesgo de falla (R) y la vida útil (n) de la obra hidráulica mediante la ecuación (1.1); la cual constituye una fórmula analítica, teniendo lo siguiente:

➤ Para:

R = 40%

n = 25 años

$$0.40 = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^{25} \gg T = 49.44 \approx 50 \text{ años}$$

➤ Para:

$$R = 25\%$$

$$n = 25 \text{ años}$$

$$0.25 = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^{25} \gg T = 87.40 \approx 100 \text{ años}$$

➤ Para:

$$R = 5\%$$

$$n = 25 \text{ años}$$

$$0.05 = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^{25} \gg T = 487.89 \approx 500 \text{ años}$$

Finalmente se tienen los periodos de retorno  $T = 50, 100$  y  $500$  años para el cálculo del caudal de diseño teniendo en cuenta los caudales máximos medios ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) históricos.

## b) Caudal de diseño

Para hallar el caudal de diseño del río se opta por utilizar un registro de caudales máximos medios ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) históricos. Se escogió el método de Gumbel, ya que este método se adapta a una buena distribución al utilizar caudales históricos, además de realizar el juste de bondad de Kolmogorov – Smirnov.

### • Método de distribución Gumbel

Para iniciar con la metodología de distribución de Gumbel se presenta el siguiente procedimiento de cálculo, mediante el uso de los fundamentos analíticos de la expresión de la fórmula antes descrita.

1) Cálculo del promedio de caudales mediante la ecuación (1.2):

$$Q_m = \frac{\sum Q_i}{N}$$

Por lo cual se tiene que:

$$Q_m = 60.9442 \text{ m}^3/\text{s}$$

2) Cálculo de la desviación estándar mediante la ecuación (1.3):

$$\sigma_Q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N Q_i^2 - N Q_m^2}{N-1}}$$

$$\sigma_Q = 36.1199 \text{ m}^3/\text{s}$$

En la Tabla 26, se presenta los datos de entrada para el cálculo:

**Tabla 26.** Datos de entrada para el análisis de distribución

N	Qi (m3/s)	Qi <sup>2</sup>	N	Qi (m3/s)	Qi <sup>2</sup>
1	72	5184.0000	41	28.53	813.9609
2	75	5625.0000	42	28.8	829.4400
3	71	5041.0000	43	40	1600.0000
4	68	4624.0000	44	42.84	1835.2656
5	56	3136.0000	45	36	1296.0000
6	96.8	9370.2400	46	180.13	32446.8169
7	65.1	4238.0100	47	60.28	3633.6784
8	19	361.0000	48	130.31	16980.6961
9	50	2500.0000	49	20.42	416.9764
10	76.5	5852.2500	50	35.24	1241.8576
11	52.6	2766.7600	51	150.18	22554.0324
12	43.6	1900.9600	52	56.9	3237.6100
13	75	5625.0000	53	180	32400.0000
14	153.7	23623.6900	54	49.6	2460.1600
15	83.7	7005.6900	55	0	0.0000
16	136.2	18550.4400	56	98.52	9706.1904
17	52.4	2745.7600	57	42.5	1806.2500
18	39.3	1544.4900	58	65.45	4283.7025
19	67.2	4515.8400	59	30.1	906.0100
20	83.7	7005.6900	60	47.48	2254.3504
21	63.7	4057.6900	61	32.71	1069.9441
22	79.35	6296.4225	62	35.1	1232.0100
23	91.35	8344.8225	63	28.4	806.5600
24	71.52	5115.1104	64	20	400.0000
25	81.09	6575.5881	65	30.3	918.0900
26	43.25	1870.5625	66	28	784.0000
27	112	12544.0000	67	30	900.0000
28	42.45	1802.0025	68	35	1225.0000
29	45	2025.0000	69	29	841.0000
30	107	11449.0000	70	47	2209.0000
31	70	4900.0000	71	38	1444.0000
32	85	7225.0000	72	31	961.0000
33	70	4900.0000	73	36	1296.0000
34	78	6084.0000	74	29.2	852.6400
35	50.7	2570.4900	75	27.1	734.4100
36	120	14400.0000	76	35.2	1239.0400
37	49.5	2450.2500	77	30.3	918.0900
38	40.2	1616.0400	78	31.2	973.4400
39	38.56	1486.8736	79	70	4900.0000
40	72.33	5231.6289	Σ	4814.5900	396567.5227

Fuente: Elaboración propia, 2018

3) Cálculo de los coeficientes en función de N:

**Tabla 27.** Valores de  $Y_n$  y  $\sigma_N$  tomados

N	$Y_n$	$\sigma_N$
72	0.5552	1.1873
74	0.5557	1.189
76	0.5561	1.1906
78	0.5565	1.1923
80	0.55688	1.19382

Fuente: Tomado de Villón, 2002

Para lo cual escogemos que para  $N = 79$ :  $Y_n = 0.55688$  y  $\sigma_N = 1.19382$

4) Obtención de la ecuación del  $Q_{\max}$  mediante la ecuación (1.4):

$$Q_{\max} = Q_m - \frac{\sigma_Q}{\sigma_N} (Y_N - \ln T)$$
$$Q_{\max} = 60.9442 - \frac{36.1199}{1.19382} (0.55688 - \ln T)$$

5) Cálculo del  $Q_{\max}$  en diferentes T:

**Tabla 28.**  $Q_{\max}$  para diferentes T

T	$Q_{\max}$	Unid.
50	162.4566	m <sup>3</sup> /s
100	183.4283	m <sup>3</sup> /s
500	232.1230	m <sup>3</sup> /s

Fuente: Elaboración propia, 2018

6) Cálculo del factor  $\phi$  mediante la ecuación (1.5):

$$\phi = 1 - \frac{1}{T}$$

**Tabla 29.** Factores  $\phi$

T	$\phi$
50	0.98
100	0.99
500	1.00

Fuente: Elaboración propia, 2018

7) Cálculo del intervalo de confianza:

De la tabla 3.16 se aprecia que  $\phi > 0.90$ , se utiliza la ecuación (1.7):

$$\Delta Q = \pm \frac{1.14 \sigma_Q}{\sigma_N}$$
$$\Delta Q = 34.4916 \text{ m}^3/\text{s}$$

8) Cálculo del caudal de diseño final mediante la ecuación (1.8):

$$Q_d = Q_{max} \pm \Delta Q$$

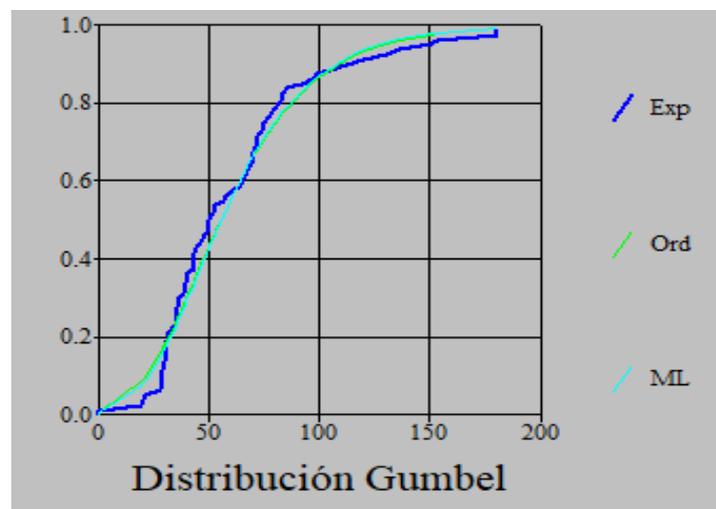
**Tabla 30.** Caudales de diseño

T	Qd max	Qd min	Unid.
50	196.948	127.965	m3/s
100	217.920	148.937	m3/s
500	266.615	197.631	m3/s

Fuente: Elaboración propia, 2018

- **Ajuste de bondad por la metodología de Kolmogorov – Smirnov**

Para el ajuste de bondad por el método de Kolmogorov – Smirnov en la distribución Gumbel se utilizó el programa Hidroesta 2 un software referido al cálculo hidrológico de datos históricos y otros, teniendo el siguiente resultado:



**Figura 27.** Ajuste de datos para la distribución Gumbel. (Fuente: Imagen propia, 2018)

La Figura 27, muestra que la curva de datos generado por el método de Kolmogorov – Smirnov respecto a los datos reales de los caudales históricos se ajustan mediante la distribución Gumbel, estas curvas son aproximadamente semejantes.

El eje de las abscisas consta de los datos de los caudales históricos de la estación hidrométrica y el eje de las ordenadas muestra los valores de la función generada por el método mismo.

De la Tabla 3, se resalta este procedimiento y sus análisis en el programa computacional respecto al delta teórico, el tamaño de la muestra y su nivel de significancia ( $\alpha$ ).

**Tabla 31. Ajuste de bondad por Kolmogorov – Smirnov**

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	0.0	0.0125	0.0081	0.0058	0.0044
2	19.0	0.0250	0.0850	0.0757	0.0600
3	20.0	0.0375	0.0926	0.0830	0.0551
4	20.42	0.0500	0.0959	0.0862	0.0459
5	27.1	0.0625	0.1569	0.1462	0.0944
6	28.0	0.0750	0.1662	0.1556	0.0912
7	28.4	0.0875	0.1704	0.1598	0.0829
8	28.53	0.1000	0.1718	0.1612	0.0718
9	28.8	0.1125	0.1747	0.1641	0.0622
10	29.0	0.1250	0.1769	0.1663	0.0519
11	29.2	0.1375	0.1790	0.1684	0.0415
12	30.0	0.1500	0.1878	0.1773	0.0378
13	30.1	0.1625	0.1889	0.1784	0.0264
14	30.3	0.1750	0.1911	0.1806	0.0161
15	30.3	0.1875	0.1911	0.1806	0.0036
16	31.0	0.2000	0.1990	0.1886	0.0010
17	31.2	0.2125	0.2013	0.1909	0.0112
18	32.71	0.2250	0.2187	0.2085	0.0063
19	35.0	0.2375	0.2461	0.2363	0.0086
20	35.1	0.2500	0.2473	0.2376	0.0027
21	35.2	0.2625	0.2485	0.2388	0.0140
22	35.24	0.2750	0.2490	0.2393	0.0260
23	36.0	0.2875	0.2584	0.2488	0.0291
24	36.0	0.3000	0.2584	0.2488	0.0416
25	38.0	0.3125	0.2833	0.2743	0.0292
26	38.56	0.3250	0.2904	0.2816	0.0346
27	39.3	0.3375	0.2998	0.2912	0.0377
28	40.0	0.3500	0.3087	0.3004	0.0413
29	40.2	0.3625	0.3113	0.3030	0.0512
30	42.45	0.3750	0.3402	0.3328	0.0348
31	42.5	0.3875	0.3409	0.3335	0.0466
32	42.84	0.4000	0.3453	0.3380	0.0547
33	43.25	0.4125	0.3506	0.3435	0.0619
34	43.6	0.4250	0.3551	0.3481	0.0699
35	45.0	0.4375	0.3733	0.3669	0.0642
36	47.0	0.4500	0.3992	0.3936	0.0508
37	47.48	0.4625	0.4054	0.4000	0.0571
38	49.5	0.4750	0.4314	0.4268	0.0436
39	49.6	0.4875	0.4327	0.4281	0.0548
40	50.0	0.5000	0.4378	0.4334	0.0622
41	50.7	0.5125	0.4467	0.4426	0.0658
42	52.4	0.5250	0.4681	0.4648	0.0569
43	52.6	0.5375	0.4706	0.4674	0.0669
44	56.0	0.5500	0.5125	0.5106	0.0375
45	56.9	0.5625	0.5233	0.5218	0.0392
46	60.28	0.5750	0.5628	0.5625	0.0122
47	63.7	0.5875	0.6007	0.6017	0.0132
48	65.1	0.6000	0.6157	0.6170	0.0157
49	65.45	0.6125	0.6194	0.6208	0.0069
50	67.2	0.6250	0.6374	0.6393	0.0124
51	68.0	0.6375	0.6454	0.6476	0.0079
52	70.0	0.6500	0.6649	0.6676	0.0149
53	70.0	0.6625	0.6649	0.6676	0.0024
54	70.0	0.6750	0.6649	0.6676	0.0101
55	71.0	0.6875	0.6744	0.6773	0.0131
56	71.52	0.7000	0.6793	0.6823	0.0207
57	72.0	0.7125	0.6837	0.6868	0.0288
58	72.33	0.7250	0.6867	0.6899	0.0383
59	75.0	0.7375	0.7103	0.7140	0.0272
60	75.0	0.7500	0.7103	0.7140	0.0397
61	76.5	0.7625	0.7229	0.7269	0.0396
62	78.0	0.7750	0.7351	0.7393	0.0399
63	79.35	0.7875	0.7457	0.7501	0.0418
64	81.09	0.8000	0.7588	0.7634	0.0412
65	83.7	0.8125	0.7775	0.7823	0.0350
66	83.7	0.8250	0.7775	0.7823	0.0475
67	85.0	0.8375	0.7863	0.7912	0.0512
68	91.85	0.8500	0.8279	0.8331	0.0221
69	96.8	0.8625	0.8533	0.8586	0.0092
70	98.52	0.8750	0.8613	0.8666	0.0137
71	107.0	0.8875	0.8952	0.9001	0.0077
72	112.0	0.9000	0.9114	0.9160	0.0114
73	120.0	0.9125	0.9324	0.9365	0.0199
74	130.31	0.9250	0.9525	0.9559	0.0275
75	136.2	0.9375	0.9612	0.9643	0.0237
76	150.18	0.9500	0.9761	0.9783	0.0261
77	153.7	0.9625	0.9789	0.9809	0.0164
78	180.0	0.9750	0.9916	0.9926	0.0166
79	180.13	0.9875	0.9916	0.9927	0.0041

Fuente: Elaboración propia, 2018

De la Tabla 31, se indica que para el ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.0944, es menor que el delta tabular 0.1530. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%.

Se tienen los parámetros de la distribución Gumbel:

**Con momentos ordinarios:**

Parámetro de posición ( $\mu$ )= 44.582

Parámetro de escala (alfa)= 28.3576

**Con momentos lineales:**

Parámetro de posición ( $\mu$ l)= 45.076

Parámetro de escala (alfal)= 27.5019

**c) Rugosidad de Manning**

Se realiza los cálculos de coeficiente de rugosidad mediante la fórmula de Cowan, para obtener las rugosidades del cauce y de la ribera durante el trayecto del río de análisis. La microrugosidad  $n_0$  puede ser estimada por la fórmula de Strickler cuando el sedimento del lecho es granular donde D es el diámetro representativo al 90% del sedimento.

Para zona de inundación (Ribera):  $\gg n_0 = 0.038 * 0.060^{1/6} \gg n_0 = 0.024$

Para el cauce principal (Lecho):  $\gg n_0 = 0.038 * 0.155^{1/6} \gg n_0 = 0.028$

**Tabla 32. Cálculo de rugosidad “n” del cauce y ribera**

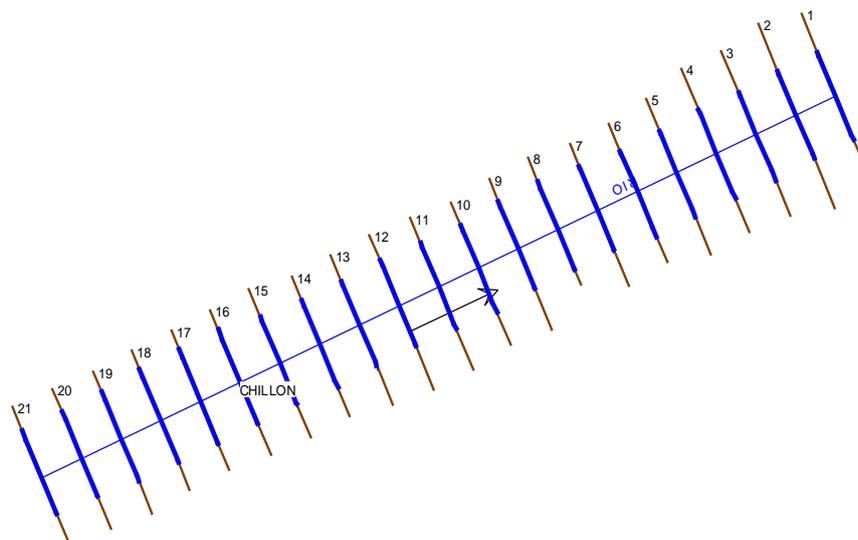
Para cauce principal (lecho)	
Rugosidades	Características
$n_0 = 0.028$	Grava gruesa (Superficie)
$n_1 = 0.005$	Menor (Irregularidad)
$n_2 = 0.005$	Ocasional (Variación de sección)
$n_3 = 0.000$	Despreciable (Obstrucción)
$n_4 = 0.005$	Bajo (Vegetación)
$m_5 = 1.000$	Menor (Meandros)
<b>n = 0.043</b>	<b>Rugosidad del cauce</b>
Para zona de inundación (ribera)	
Rugosidades	Características
$n_0 = 0.024$	Grava fina (Superficie)
$n_1 = 0.005$	Menor (Irregularidad)
$n_2 = 0.005$	Ocasional (Variación de sección)
$n_3 = 0.000$	Despreciable (Obstrucción)
$n_4 = 0.010$	Medio (Vegetación)
$m_5 = 1.000$	Menor (Meandros)
<b>n = 0.044</b>	<b>Rugosidad de la ribera</b>

Fuente: Elaboración propia, 2018

### 3.3. Modelamiento hidrológico e hidráulico

Para realizar el análisis del río Chillón para cada sección del cauce se utilizó el programa Hec-Ras, es un software de modelamiento hidráulico unidimensional creado por la USACE (United States Army Corps of Engineers), mediante el uso de los trabajos preliminares anteriores se da el inicio del modelamiento tanto hidráulico como hidrológico del mismo.

En primer lugar se ingresa la dirección del flujo del río en planta dibujando después la geometría de cada sección a lo largo del recorrido del río; mediante su altitud y distancias entre secciones. Se inicia el modelado del río, teniendo como datos la topografía de la secciones, las rugosidades del cauce y ribera, caudales del diseño para sus respectivos periodos de retorno de  $T = 50, 100$  y  $500$  años.

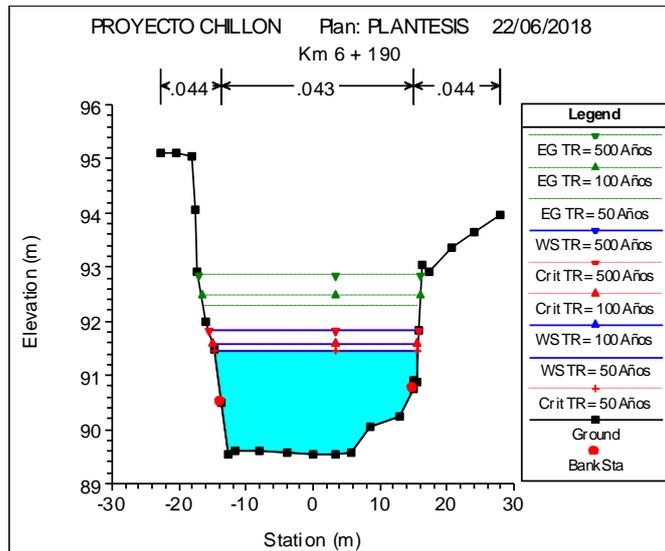


**Figura 28.** Vista en planta del tramo importado al Hec-Ras. (Fuente: Imagen propia, 2018)

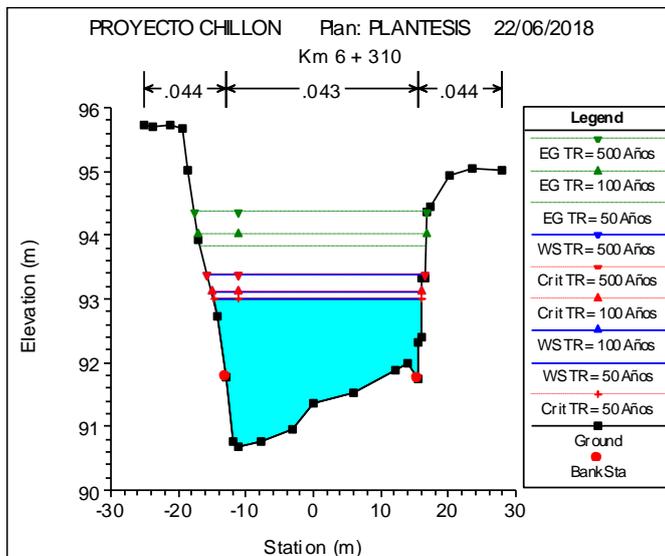
En segundo lugar se analiza cada sección por separado por lo que se obtiene 21 perfiles de la sección transversal del río Chillón para los análisis basados en su forma y relieve con la siguiente enumeración:

Sección: 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 y 21 detalladas de manera gradual de aguas abajo hacia aguas arriba respecto a su progresiva esto se puede observar en (Anexo 9).

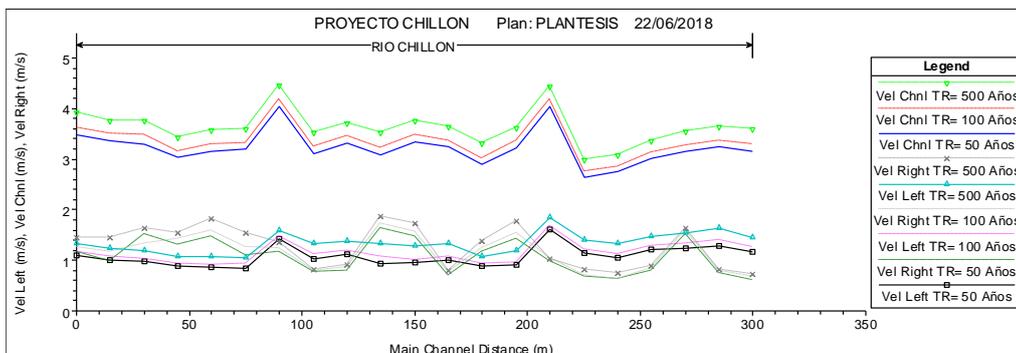
Las Figuras 29 y 30, muestran las secciones con mayor velocidad además de ser los perfiles que están por convertirse en flujos supercríticos ( $F > 1$ ).



**Figura 29.** Sección 07. (Fuente: Imagen propia, 2018)



**Figura 30.** Sección 15. (Fuente: Imagen propia, 2018)



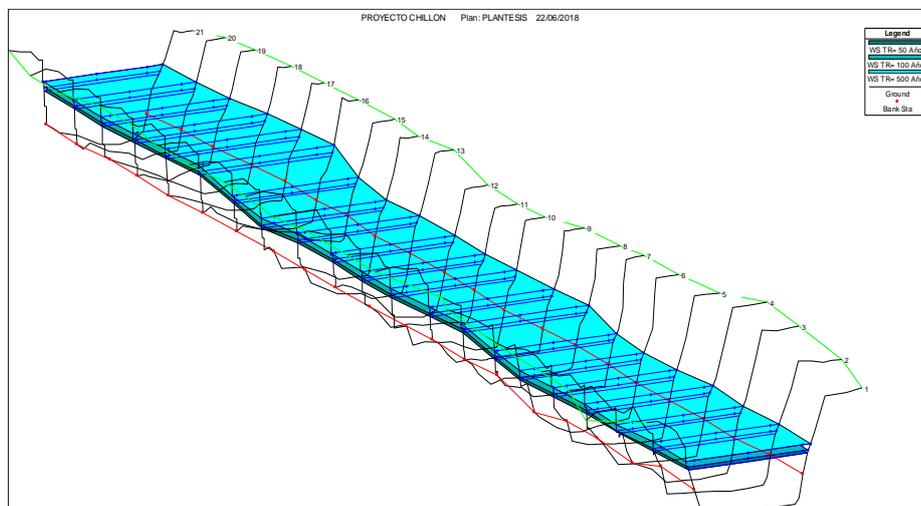
**Figura 31.** Perfil de velocidades de flujo importado del Hec-Ras.

(Fuente: Imagen propia, 2018)

En la Figura 31, se aprecia que en las progresivas Km 6 + 190 y Km 6 + 310 tienen los mayores picos de velocidad de flujo de 4.46 m/s y 4.43 m/s correspondientemente para un tiempo de retorno de  $T = 500$  años , resultando estas la de mayor importancia generando así mayor fenómeno de socavación en dichos puntos.

Se realiza el cálculo de estabilidad para la sección desfavorable más adelante en función a su profundidad de socavación el cual es el caso de la progresiva Km 6 + 310 con una velocidad de 4.43 m/s, para esto se optara por tipos de protección adaptables a la zona de estudio.

En tercer lugar mediante el uso de este programa Hec-Ras se pudo modelar y simular la parte hidráulica e hidrológica de la progresiva de investigación del rio para diferentes escenarios y tiempos de retorno, generando así un esquema real de la conducta de dicho cauce respecto a elevaciones de la avenida. La Figura 32, muestra estas simulaciones y finalidades del proceso del programa Hec-Ras.



**Figura 32.** Modelamiento hidráulico e hidrológico importado del Hec-Ras.

(Fuente: Imagen propia, 2018)

Se obtuvieron resultados tanto gráficos como numéricos con la modelación y simulación del sector del río de investigación. En la Tabla 33, se observa los resultados hidráulicos de las secciones 01 hasta el 21 para un periodo de retorno de 500 años, el cual se desea analizar. Cabe destacar que estos resultados son importantes para calcular la socavación, además de verificar que secciones son las de mayor vulnerabilidad ante la socavación hallada y sus velocidades críticas para medir la estabilidad de la ribera.

**Tabla 33. Resultados hidráulicos generales de cada sección de estudio**

HEC-RAS Plan: PLANTESIS River RIO Reach: CHILLON Profile: TR= 500 Años																
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl	Max Chl Dpth (m)	Sta W.S. Lft (m)	Sta W.S. Rgt (m)	Shear Total (N/m <sup>2</sup> )
CHILLON	21	TR= 500 Años	266.62	91.12	94.37		95.02	0.006168	3.61	76.53	30.86	0.69	3.25	-16.12	14.74	138.06
CHILLON	20	TR= 500 Años	266.62	91.18	94.26		94.92	0.006857	3.65	75.62	31.59	0.72	3.08	-16.87	14.72	147.95
CHILLON	19	TR= 500 Años	266.62	90.95	94.19		94.81	0.006241	3.55	79.04	33.00	0.69	3.24	-17.97	15.03	136.64
CHILLON	18	TR= 500 Años	266.62	91.00	94.14		94.71	0.005753	3.35	82.31	34.46	0.66	3.14	-18.65	15.81	125.46
CHILLON	17	TR= 500 Años	266.62	90.91	94.13		94.60	0.004508	3.09	89.09	34.90	0.59	3.22	-18.97	15.93	104.64
CHILLON	16	TR= 500 Años	266.62	90.64	94.09		94.53	0.003972	2.99	92.64	34.80	0.56	3.45	-18.42	16.38	95.92
CHILLON	15	TR= 500 Años	266.62	90.67	93.39	93.39	94.37	0.014060	4.43	61.65	32.37	0.98	2.72	-15.70	16.68	243.94
CHILLON	14	TR= 500 Años	266.62	89.86	93.07		93.72	0.006649	3.63	76.83	32.13	0.70	3.21	-15.45	16.68	144.75
CHILLON	13	TR= 500 Años	266.62	89.69	93.05		93.60	0.005009	3.31	83.14	31.56	0.62	3.36	-15.24	16.33	119.52
CHILLON	12	TR= 500 Años	266.62	89.42	92.83		93.50	0.007165	3.65	74.77	31.76	0.72	3.41	-15.66	16.10	153.53
CHILLON	11	TR= 500 Años	266.62	89.78	92.69		93.39	0.007558	3.75	73.65	31.46	0.75	2.91	-15.89	15.48	161.24
CHILLON	10	TR= 500 Años	266.62	89.38	92.65		93.26	0.005930	3.52	80.19	32.43	0.67	3.28	-16.95	15.58	132.21
CHILLON	9	TR= 500 Años	266.62	89.75	92.45		93.15	0.007808	3.73	73.22	32.02	0.75	2.69	-17.13	14.89	163.18
CHILLON	8	TR= 500 Años	266.62	89.53	92.40	91.85	93.02	0.006453	3.52	77.81	32.77	0.69	2.86	-16.87	15.89	140.56
CHILLON	7	TR= 500 Años	266.62	89.54	91.84	91.84	92.84	0.014205	4.46	60.94	31.29	0.99	2.30	-15.63	15.65	256.01
CHILLON	6	TR= 500 Años	266.62	88.61	91.69		92.34	0.006443	3.61	76.68	31.93	0.69	3.08	-15.47	16.46	143.49
CHILLON	5	TR= 500 Años	266.62	88.62	91.60		92.24	0.006406	3.57	77.46	31.57	0.69	2.98	-15.49	16.08	144.43
CHILLON	4	TR= 500 Años	266.62	88.49	91.54		92.13	0.005755	3.43	80.77	32.93	0.66	3.05	-16.11	16.83	129.68
CHILLON	3	TR= 500 Años	266.62	88.37	91.32		92.02	0.007413	3.76	73.99	32.51	0.74	2.95	-16.01	16.50	156.15
CHILLON	2	TR= 500 Años	266.62	88.51	91.19		91.90	0.008164	3.77	72.50	32.31	0.76	2.68	-16.12	16.19	169.31
CHILLON	1	TR= 500 Años	266.62	88.39	90.99	90.69	91.77	0.009109	3.93	69.63	31.98	0.81	2.60	-15.97	16.02	185.02

Fuente: Elaboración propia, 2018

En la Tabla 34, se observa los resultados hidráulicos de la sección 21; el cual nos da los datos necesarios para comenzar con los cálculos de socavación inicial.

**Tabla 34. Resultados hidráulicos de la sección transversal RS 21**

Plan: PLANTESIS RIO CHILLON RS: 21 Profile: TR= 500 Años					
E.G. Elev (m)	95.02	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.65	Wt. n-Val.	0.044	0.043	0.044
W.S. Elev (m)	94.37	Reach Len. (m)	15.00	15.00	15.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m <sup>2</sup> )	3.47	72.36	0.70
E.G. Slope (m/m)	0.006168	Area (m <sup>2</sup> )	3.47	72.36	0.70
Q Total (m <sup>3</sup> /s)	266.62	Flow (m <sup>3</sup> /s)	5.04	261.07	0.50
Top Width (m)	30.86	Top Width (m)	4.14	25.74	0.98
Vel Total (m/s)	3.48	Avg. Vel. (m/s)	1.45	3.61	0.72
Max Chl Dpth (m)	3.25	Hydr. Depth (m)	0.84	2.81	0.71
Conv. Total (m <sup>3</sup> /s)	3394.8	Conv. (m <sup>3</sup> /s)	64.2	3324.2	6.4
Length Wtd. (m)	15.00	Wetted Per. (m)	4.73	26.06	2.74
Min Ch El (m)	91.12	Shear (N/m <sup>2</sup> )	44.41	167.95	15.40
Alpha	1.05	Stream Power (N/m s)	1123.69	0.00	0.00
Frctn Loss (m)	0.10	Cum Volume (1000 m <sup>3</sup> )	0.66	21.70	0.67
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m <sup>2</sup> )	0.87	8.24	0.62

Fuente: Elaboración propia, 2018

### 3.4. Cálculo de socavación en el cauce

La socavación se halla mediante la metodología de Lischtván – Levediev para superficies de granulo, además de datos de entrada. Se calcula las condiciones de socavación por las que el rio está pasando, teniendo en cuenta que si la velocidad media (Vm) es menor a la velocidad crítica (Vc) se tiene una socavación por aguas claras y si fuera de forma inversa se tendría una socavación en lecho móvil.

Para la velocidad media usaremos la fórmula de Manning:

$$Vm = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2} \dots\dots\dots (1.40)$$

Dónde:

Rugosidad del cauce (n) = 0.043

Área hidráulica (A<sub>f</sub>) = 72.36 m<sup>2</sup>

Perímetro mojado (P<sub>m</sub>) = 26.06 m

Radio hidráulico (R) = A<sub>f</sub>/ P<sub>m</sub> = 72.36 / 26.06 = 2.77 m

Pendiente media (S) = 0.0060 m/m

$$Vm = \frac{1}{0.043} * 2.52^{2/3} * 0.0060^{1/2} \gg Vm = 3.55 \text{ m/s}$$

Para la velocidad crítica que da inicio al movimiento de partículas usaremos la fórmula empírica de Hec-18:

$$Vc = 6.19 * h^{1/6} * D_{50}^{1/3} \dots\dots\dots (1.41)$$

Dónde:

Profundidad promedio aguas arriba (h) = 3.25 m

Diámetro al 50% (D<sub>50</sub>) = 0.073 m

$$Vc = 6.19 * 3.25^{1/6} * 0.073^{1/3} \gg Vc = 3.15 \text{ m/s}$$

De esta manera se constata que la socavación es por medio de lecho móvil, ya que se tiene que:  $Vm = 3.55 \text{ m/s} > Vc = 3.15 \text{ m/s}$ .

Para el cálculo de factor de frecuencia (β), usamos la ecuación (1.12):

$$\beta = 0.7929 + 0.0973 \text{ Log (Tr)}$$

$$\beta = 0.7929 + 0.0973 \text{ Log (500)} \gg (\beta) = 1.056$$

Para el exponente variable (x) respecto al D<sub>m</sub>, se usa la ecuación (1.13):

$$X = 0.394557 - 0.4136 \text{ Log (D}_m) - 0.00891 \text{ Log}^2 \text{ (D}_m)$$

$$X = 0.394557 - 0.4136 \text{ Log (75)} - 0.00891 \text{ Log}^2 \text{ (75)} \gg X = 0.2856782$$

Para el coeficiente por contracción (u), se utiliza: u = 1.00 (no hay obstáculos)

- Socavación en la progresiva (Km 6 + 190)

$$\Delta S = Hs - h \text{ (Socavación general)}$$

$$Qd = 266.62 \text{ m}^3/\text{s (Caudal de diseño)}$$

$$Be = 31.29 \text{ m (Ancho de la superficie libre de flujo)}$$

$$h = 2.30 \text{ m (Tirante máximo)}$$

$$\begin{aligned} \beta &= 1.056 \text{ (Para un } T = 500 \text{ años)} \\ D_m &= 73 \text{ mm (Diámetro medio)} \\ u &= 1.00 \\ \varphi &= 1.00 \\ x \approx z &= 0.2856782 \\ R &= Af / Be = 60.94 / 31.29 = 1.947 \text{ m} \\ \alpha &= \frac{Qd}{Be * R^{5/3}} = \frac{266.62}{31.29 * 1.947^{5/3}} = 2.81 \end{aligned}$$

Por lo tanto usando la ecuación (1.11):

$$Hs = \left[ \frac{2.81 * 2.30^{\frac{5}{3}}}{0.68 * 1.056 * 1 * 1 * 73^{0.28}} \right]^{(1/(1+0.2856782))}$$

$$Hs = 3.34 \text{ m}$$

$$\Delta S = 3.34 - 2.30 = 1.04 \text{ m}$$

Ahora se verifica las condiciones de la fórmula de Lischtvan – Levediev en base a dos aspectos fundamentales, los cuales son:

- ✓ Flujo subcrítico:  $0.99 < 1.00$ ..... (Cumple)
- ✓ condición de equilibrio de velocidades de flujo:  $(Vr = Ve)$ ..... (Cumple)

Para la velocidad real media se utiliza la ecuación (1.15):

$$Vr = \frac{2.81 * 2.30^{\frac{5}{3}}}{3.34} = 3.37 \text{ m/s}$$

Para la velocidad erosiva en suelos granulares se utiliza la ecuación (1.16):

$$Ve = 0.68 * 1.056 * 73^{0.28} * 3.34^{0.2856872} = 3.37 \text{ m/s}$$

- Socavación en la progresiva (Km 6 + 310)

$$\begin{aligned} \Delta S &= Hs - h \text{ (Socavación general)} \\ Qd &= 266.62 \text{ m}^3/\text{s (Caudal de diseño)} \\ Be &= 32.37 \text{ m (Ancho de la superficie libre de flujo)} \\ h &= 2.72 \text{ m (Tirante máximo)} \\ \beta &= 1.056 \text{ (Para un } T = 500 \text{ años)} \\ D_m &= 73 \text{ mm (Diámetro medio)} \\ u &= 1.00 \\ \varphi &= 1.00 \end{aligned}$$

$$x \approx z = 0.2856782$$

$$R = Af / Be = 61.65 / 32.37 = 1.905 \text{ m}$$

$$\alpha = \frac{Qd}{Be * R^{5/3}} = \frac{266.62}{32.37 * 1.905^{5/3}} = 2.81$$

Por lo tanto usando la ecuación (1.6):

$$Hs = \left[ \frac{2.81 * 2.72^{\frac{5}{3}}}{0.68 * 1.056 * 1 * 1 * 73^{0.28}} \right]^{(1/(1+0.2856782))}$$

$$Hs = 4.15 \text{ m}$$

$$\Delta S = 4.15 - 2.72 = 1.43 \text{ m}$$

Ahora se verifica las condiciones de la fórmula de Lischtván – Levediev en base a dos aspectos fundamentales, los cuales son:

- ✓ Flujo subcrítico:  $0.98 < 1.00$ ..... (Cumple)
- ✓ condición de equilibrio de velocidades de flujo:  $(Vr = Ve)$ ..... (Cumple)

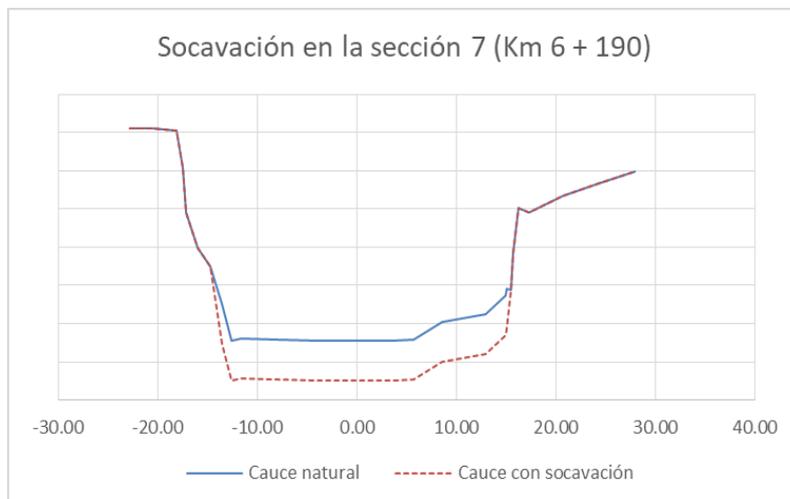
Para la Velocidad real media se utiliza la ecuación (1.15):

$$Vr = \frac{2.81 * 2.72^{\frac{5}{3}}}{4.15} = 3.58 \text{ m/s}$$

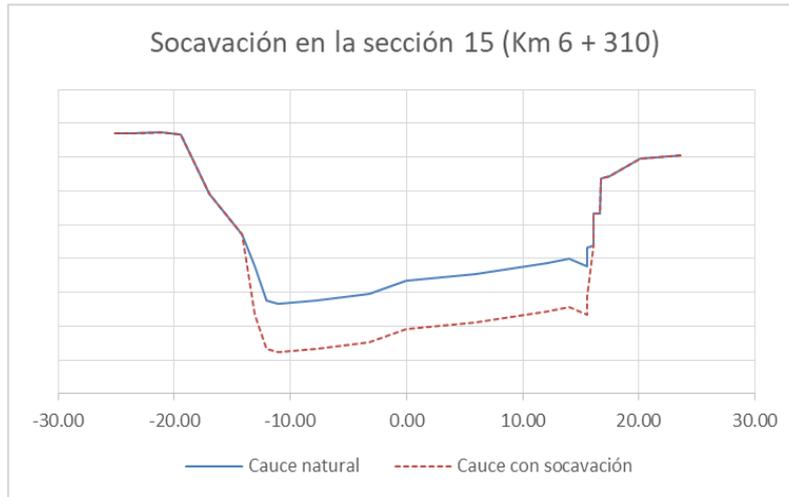
Para la Velocidad erosiva en suelos granulares se utiliza la ecuación (1.16):

$$Ve = 0.68 * 1.056 * 73^{0.28} * 4.15^{0.2856782} = 3.58 \text{ m/s}$$

Las Figuras 33 y 34 muestran la modificación de las dos secciones analizadas por el proceso de socavación durante el proceso de análisis y simulación, cabe destacar que la variación es dignificante para el diseño de las protecciones laterales.



**Figura 33.** Socavación en la sección 07. (Fuente: Imagen propia, 2018)



**Figura 34.** Socavación en la sección 15. (Fuente: Imagen propia, 2018)

De esta manera se realiza los análisis de socavación en las progresivas, la Tabla 35, muestra estos cálculos para cada sección, cabe destacar que las secciones anteriormente calculadas son las que más poseen socavación en los lechos del cauce puesto que ocurren mayores velocidades de flujo además de ser un paso a convertirse a flujos supercríticos

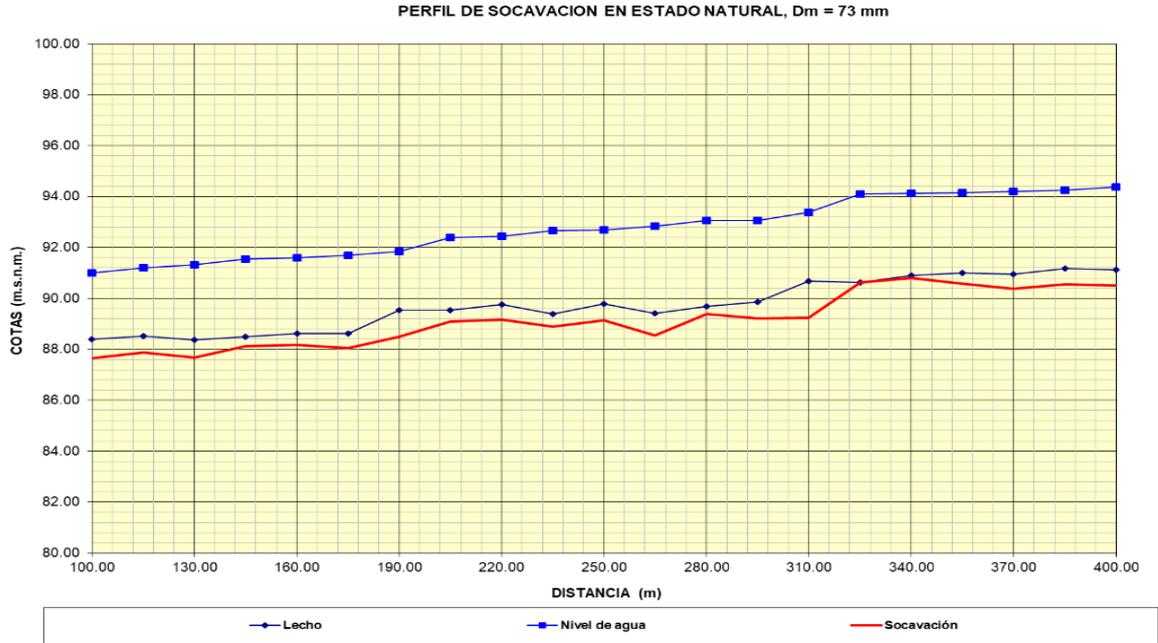
Para establecer la ecuación (1.6), se calcularon las variantes correspondientes de la fórmula teniendo como diámetro medio  $D_m = 73 \text{ mm}$  (Figura 24), según la granulometría del lecho del cauce para el análisis, así como sus otros factores de la fórmula de socavación previamente establecidas.

**Tabla 35.** Socavación general mediante la fórmula de Lischtvan – Levediev

Socavación del río Chillón, para lecho no cohesivo - $T_r = 500$ años															
U=		1.00			Dm=			73 mm			ψ=			1	
b=		1.056			X=			0.2865547							
Estación	Progresiva	Q max	C.Fondo	Elev. Agua	do	V	So	Area	Be	dm	Alfa	ds	S=ds-do	Cota	
Sección	0+000	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	Pendiente	(m2)	(m)	(m)	Coef.	(m)	(m)	Socavado	
21	400.00	266.62	91.12	94.37	3.25	3.61	0.006	76.53	30.86	2.48	1.90	3.86	0.61	90.51	
20	385.00	266.62	91.18	94.26	3.08	3.65	0.007	75.62	31.59	2.39	1.97	3.70	0.62	90.56	
19	370.00	266.62	90.95	94.19	3.24	3.55	0.006	79.04	33.00	2.40	1.88	3.81	0.57	90.38	
18	355.00	266.62	91.00	94.14	3.14	3.35	0.006	82.31	34.46	2.39	1.81	3.55	0.41	90.59	
17	340.00	266.62	90.91	94.13	3.22	3.09	0.005	89.09	34.90	2.55	1.60	3.33	0.11	90.80	
16	325.00	266.62	90.64	94.09	3.45	2.99	0.004	92.64	34.80	2.66	1.50	3.47	0.02	90.62	
15	310.00	266.62	90.67	93.39	2.72	4.43	0.014	61.65	32.37	1.90	2.81	4.15	1.43	89.24	
14	295.00	266.62	89.86	93.07	3.21	3.63	0.007	76.83	32.13	2.39	1.94	3.86	0.65	89.21	
13	280.00	266.62	89.69	93.05	3.36	3.31	0.005	83.14	31.56	2.63	1.68	3.66	0.30	89.39	
12	265.00	266.62	89.42	92.83	3.41	3.65	0.007	74.77	31.76	2.35	2.01	4.29	0.88	88.54	
11	250.00	266.62	89.78	92.69	2.91	3.75	0.008	73.65	31.46	2.34	2.05	3.54	0.63	89.15	
10	235.00	266.62	89.38	92.65	3.27	3.52	0.006	80.19	32.43	2.47	1.82	3.76	0.49	88.89	
9	220.00	266.62	89.75	92.45	2.70	3.73	0.008	73.22	32.02	2.29	2.10	3.28	0.58	89.17	
8	205.00	266.62	89.53	92.40	2.87	3.52	0.006	77.81	32.77	2.37	1.93	3.32	0.45	89.08	
7	190.00	266.62	89.54	91.84	2.30	4.46	0.014	60.94	31.29	1.95	2.81	3.34	1.04	88.50	
6	175.00	266.62	88.61	91.69	3.08	3.61	0.006	76.68	31.93	2.40	1.94	3.65	0.57	88.04	
5	160.00	266.62	88.62	91.60	2.98	3.57	0.006	77.46	31.57	2.45	1.89	3.43	0.45	88.17	
4	145.00	266.62	88.49	91.54	3.05	3.43	0.006	80.77	32.93	2.45	1.81	3.42	0.37	88.12	
3	130.00	266.62	88.37	91.32	2.95	3.76	0.007	73.99	32.51	2.28	2.08	3.65	0.70	87.67	
2	115.00	266.62	88.51	91.19	2.68	3.77	0.008	72.50	32.31	2.24	2.15	3.31	0.63	87.88	
1	100.00	266.62	88.39	90.99	2.60	3.93	0.009	69.63	31.98	2.18	2.28	3.33	0.73	87.66	

Fuente: Elaboración propia, 2018

Socavación promedio	0.58	m
Socavación máxima	1.43	m



**Figura 35.** Perfil longitudinal de las socavaciones de cada sección.

(Fuente: Imagen propia, 2018)

### 3.5. Ancho de encauzamiento

Antes de comenzar con los cálculos para los diseños de protección se opta por calcular el ancho de encauzamiento. Para este análisis se utiliza la fórmula de Gerald Lacey.

$$B = 8 * Q^{1/3} / 3 \dots\dots\dots (1.41)$$

Donde:

$$Q = \text{caudal de diseño en } \text{ft}^3/\text{s} = 266.62 \text{ m}^3/\text{s} = 9415.597 \text{ ft}^3/\text{s}$$

Entonces utilizando la expresión anterior se tiene:

$$B = 8 * \frac{9415.597^{1/3}}{3} = 56.31 \approx 56 \text{ m}$$

### 3.6. Diseño de protección de enrocado

Para el diseño de la protección de enrocado se calcula el diámetro medio  $D_{50}$  del enrocado mediante las siguientes ecuaciones, así como sus demás variantes:

- Fórmula de estabilidad de momentos:

Dónde:

$$D_s = \text{Diámetro medio de las rocas (m)}$$

$$\theta = \arctg(1/2) = 26.56^\circ \text{ (talud 1V:2H)}$$

$$\phi = 42^\circ$$

$$F.S = 1.50; S_s = 2.65 \text{ tn/m}^3$$

$$S_m = Tg \phi / Tg \theta = Tg(42) / Tg(26.56) = 1.8012$$

$$\tau_0 = 243.94 \text{ N/m}^2$$

Aplicando la ecuación (1.20), se tiene:

$$\eta = \frac{1.8012^2 - 1.50^2}{1.5 * 1.8012^2} * \cos 26.56^\circ = 0.1827$$

Reemplazando este resultado a la ecuación (1.19), se obtiene:

$$0.1827 = \frac{21 * 243.94}{(2.65 - 1) * 9800 * D_s} \gg D_s = 1.73 \text{ m}$$

- Fórmula de Isbash:

Dónde:

d = Diámetro mínimo de las rocas (m)

$\rho_r = 2.65 \text{ tn/m}^3$  (densidad de la roca)

$\rho = 1.00 \text{ tn/m}^3$  (densidad del agua)

V = 4.46 m

g = 9.81 m/s<sup>2</sup>

Aplicando la ecuación (1.29), se tiene:

$$\Delta = \frac{2.65 - 1}{1} = 1.65$$

Reemplazando este resultado a la ecuación (1.28), se obtiene:

$$4.46 = 1.7 * \sqrt{1.65 * 9.81 * d} \gg d = 0.43 \text{ m}$$

De estos dos métodos se opta por la fórmula de estabilidad de momentos.

Para elegir el diseño del espesor del enrocado se utiliza la ecuación (1.30):

$$e_r = 1.73 \text{ m}$$

Por motivos constructivos se utilizará un valor redondeado, es decir que el espesor final será:

$$e_r = 1.80 \text{ m}$$

Utilizando la ecuación (1.31), el fondo de uña del enrocado va a ser igual al fondo de socavación mayor de manera que:

$$P_u = 1.43 \approx 1.50 \text{ m}$$

Entonces la altura del enrocado final de acuerdo a la ecuación (1.32), será:

H = Altura de enrocado (m)

$$Y = 3.45 \text{ m}$$

$$BL = \frac{1}{2} * \frac{V^2}{2g} = \frac{1}{2} * \frac{4.46^2}{2*9.81} = 0.51 \text{ m} \approx 0.55 \text{ m}$$

$$H = 3.45 + 0.55 = 4.00 \text{ m}$$

Para los filtros de material granular Simons y Senturk recomiendan que la granulometría debe cumplir con las siguientes ecuaciones:

$$d_{50}(\text{del filtro}) / d_{50}(\text{del terreno drenado}) < 40$$

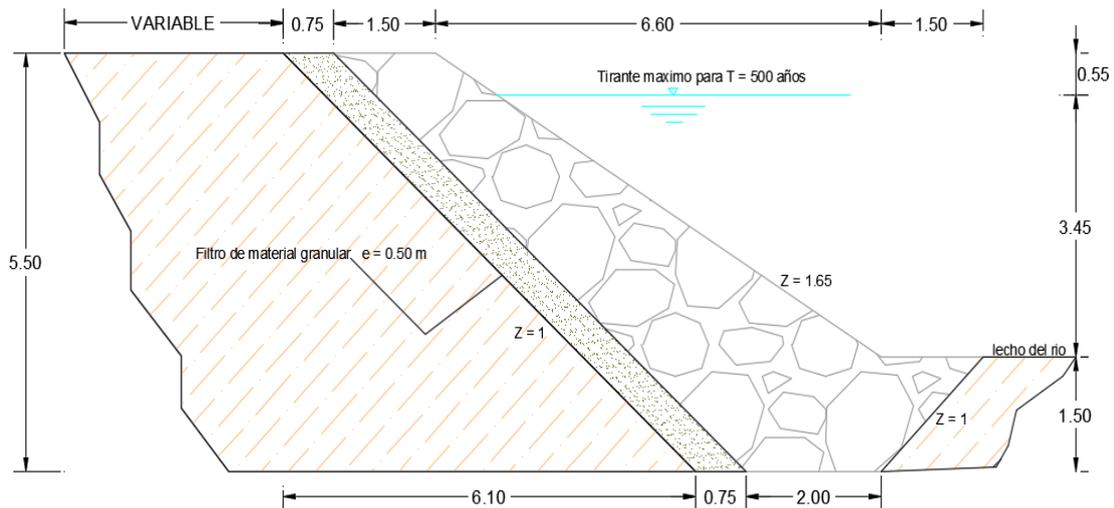
$$5 < d_{15}(\text{del filtro}) / d_{15}(\text{del terreno drenado}) < 40$$

$$d_{15}(\text{del filtro}) / d_{85}(\text{del terreno drenado}) < 5$$

Se sugiere que el espesor mínimo del filtro de grava sea 25% del espesor del enrocado, usando la ecuación (1.33).

$$e_{\text{filtro}} = 0.25 * 1.80 = 0.45 \approx 0.50 \text{ m}$$

Los geotextiles se escogieron en función a las especificaciones y propiedades descritas en la Tabla 7.



**Figura 36.** Diseño final de protección con enrocado. (Fuente: Imagen propia, 2018)

### 3.7. Diseño de protección con gaviones

Para el diseño de los gaviones se opta por las especificaciones técnicas que estas contengan, así como las ecuaciones de cálculo respectivos de predimensionamiento. Para la altura del gavión total se utiliza la ecuación (1.34):

$H_g =$  Altura total del gavión (m)

$Y = 3.45$  m

$BL = 0.55$  m

$\Delta S = 1.50$  m

$$H_g = 0.55 + 3.45 + 1.50 = 5.50 \text{ m}$$

En ancho de la base total del sistema gavión se puede predimensionar de la siguiente manera:

$$B \geq H_g/2 \gg B = 5.50/2 \gg B = 2.75 \text{ m} \approx 3.00 \text{ m}$$

En función a las especificaciones dimensionales de la Tabla 8, se utilizará 6 niveles o camadas.

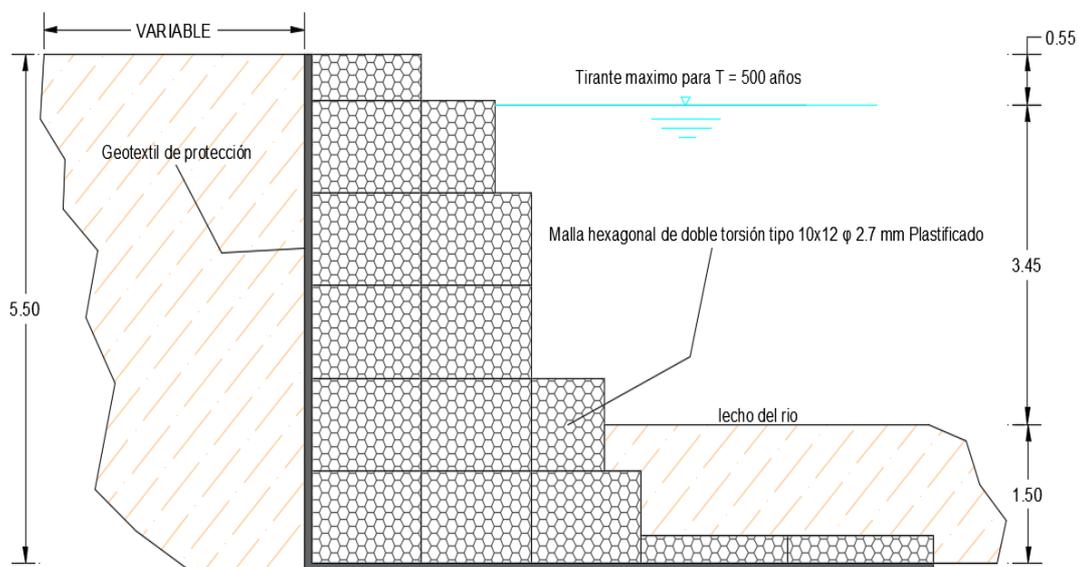
Utilizando la expresión para el cálculo de la longitud de tendido del colchón antisocavante se tiene:

$$L_c = 2.00 * 1.50 = 3.00 \text{ m}$$

Mediante el uso de las especificaciones de la Tabla 9 para el colchón reno se opta por utilizar 2 colchones de 2.00 m de ancho con 0.30 m de altura.

Para el gavión tipo caja (Zn-5AI-MM) y su respectivo colchón reno antisocavante, se utiliza la malla hexagonal de doble torsión tipo 10x12  $\phi$  2.7 mm Plastificado.

De esta manera la Figura 37, muestra el diseño de los gaviones.



**Figura 37.** Diseño final de protección con gaviones. (Fuente: Imagen propia, 2018)

La Figura 38, presenta las especificaciones técnicas, características y tolerancias recomendadas por Maccaferri necesarias para el uso de este sistema.

<p><b>1) ALAMBRE</b></p> <p>Todo el alambre utilizado en la fabricación del gavión caja y en las operaciones de amarre y atirantamiento durante su construcción, debe ser de acero dulce recocido de acuerdo con las especificaciones NBR 8964, ASTM A641M-98 y NB 709-00, esto es, el alambre deberá tener una tensión de ruptura media de 38 a 48 kg/mm<sup>2</sup>.</p> <p><b>REVESTIMIENTO DEL ALAMBRE</b></p> <p>Todo el alambre utilizado en la fabricación del gavión caja y en las operaciones de amarre y atirantamiento durante su construcción, debe ser revestido con aleación Zn 5 Al MM (Galvan) de acuerdo con las especificaciones de la ASTM A856M-98, clase 80, esto es: la cantidad mínima de revestimiento Galvan en la superficie de los alambres es de 244 g/m<sup>2</sup></p> <p>El revestimiento de Zn 5 Al MM debe adherir al alambre de tal forma que después del alambre haber sido enrollado 15 veces por minuto alrededor de un mandril, cuyo diámetro sea igual a 3 veces el del alambre, no pueda ser escamado, quebrado o removido con el pasar del dedo, de acuerdo con la especificación de la ASTM A856M-98.</p> <p>Los ensayos deben ser hechos antes de la fabricación de la red.</p> <p><b>ELONGACIÓN DEL ALAMBRE</b></p> <p>La elongación no deberá ser menor que el 12%.</p> <p>Los ensayos deben ser hechos antes de la fabricación de la red, sobre una muestra de alambre de 30 cm de largo.</p>	<p><b>2) RED</b></p> <p>La red debe ser en malla hexagonal de doble torsión, obtenida entrelazando los alambres por tres veces medias vueltas, de acuerdo con las especificaciones de las normas NBR 10514 y NB 710-00.</p> <p>Las dimensiones de la red serán del tipo 10x12cm.</p> <p>El diámetro del alambre utilizado en la fabricación de la red debe ser de 2.7mm y de 3.4 mm para los bordes.</p> <p><b>BORDES ENROLLADOS MECÁNICAMENTE</b></p> <p>Todos los bordes libres del gavión caja, incluso el lado superior de las laterales y de los diafragmas, deben ser enrollados mecánicamente en vuelta de un alambre de diámetro mayor, en este caso de 3.4 mm, para que la red no se desarme y adquiera mayor resistencia.</p> <p><b>3) CARACTERÍSTICAS DEL GAVIÓN CAJA</b></p> <p>Cada gavión caja con largo mayor que 1.50 m debe ser dividido en celdas por diafragmas colocados a cada metro.</p> <p>El lado inferior de las laterales debe ser fijado al paño de base durante la fabricación a través del entrelazamiento de sus puntas libres alrededor del alambre de borde.</p> <p>El lado inferior de los diafragmas debe ser cosido al paño de base, durante la fabricación, con una espiral de alambre de diámetro de 2.2 mm.</p>	<p>Dimensiones estándar:  Largo 2.00 m 3.00 m 4.00 m 5.00 m  Ancho 1.00 m 1.50 m  Altura 0.50 m 1.00 m</p> <p><b>4) AMARRE Y ATIRANTAMIENTO</b></p> <p>Con los gaviones caja debe ser provista una cantidad suficiente de alambre para amarre y atirantamiento.</p> <p>Este alambre debe tener diámetro 2.2 mm y su cantidad en relación al peso de los gaviones caja provistos es de 9% para los de 1.00 m de altura y de 7% para los de 0.50 m.</p> <p><b>5) TOLERANCIAS</b></p> <p>Se admite una tolerancia en el diámetro del alambre de <math>\pm 2.5\%</math>.</p> <p>Se admite una tolerancia en el largo del gavión caja de <math>\pm 3\%</math> en la altura y en el ancho de <math>\pm 5\%</math>.</p> <p><b>6) RECUBRIMIENTO PLÁSTICO</b></p> <p>El alambre con revestimiento de Zn 5 Al MM deberá ser recubierto con una camada de compuesto termoplástico a base de PVC, con características iniciales de acuerdo con las especificaciones de la norma NBR 10514, esto es:</p> <p>Espesor mínimo: 0.40 mm;  Espesor nominal: 0.50mm  Masa específica: 1.30 a 1.35 kg/dm<sup>3</sup>;  Dureza: 50 a 60 Shore D;  Resistencia a tracción: mayor que 210 kg/cm<sup>2</sup>;  Elongación de ruptura: mayor que 250%;</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Figura 38.** Especificaciones técnicas del gavión caja. (Fuente: Maccaferri, 2006)

### 3.8. Modelamiento de estabilidad

El fin de realizar el modelamiento y simulación de estabilidad de la ribera del río es verificar su factor de seguridad ante fenómenos adversos (socavación y sismo), esto es posible por medio del programa Slide v 6.0; el cual muestra un análisis más real. Se sustrajo el corte transversal de mayor gravedad al software además de definir la propiedad de sus elementos después se calcula los factores de seguridad por medio de las metodologías de Bishop Simplificado, Spencer y Morgenstern – Price antes explicadas de forma teórica.

Además de verificar estos rango de seguridad con la tabla 1.5 según las normativas nacionales e internacionales para tener verificaciones y tomar criterios del caso. Para este análisis se está asumiendo toda la superficie como una sola capa, se realiza el análisis de estabilidad estática y pseudoestática para distintas situaciones con restricciones antes calculadas; es decir se opta por realizar la simulación para los siguientes casos:

- Cauce natural sin socavación
- Cauce natural con socavación
- Cauce natural con protecciones

Como todo programa se tiene los datos de entrada, en este caso por medio de los ensayos realizados en laboratorio y datos encontrados en investigaciones de tesis, se tienen los siguientes datos de entrada.

**Datos del suelo:**

- Peso específico del suelo ( $Y_s$ ) =  $2.71 \text{ Tn/m}^3 \approx 26.57 \text{ Kn/m}^3$
- Ángulo de fricción interna del suelo ( $\phi$ ) =  $31.39^\circ$
- Cohesión aparente del suelo ( $C$ ) =  $0.020 \text{ Kg/cm}^2 \approx 1.96 \text{ KN/m}^2$

**Datos del enrocado:**

- Peso específico del enrocado ( $Y_r$ ) =  $2.65 \text{ Tn/m}^3 \approx 25.98 \text{ Kn/m}^3$
- Ángulo de fricción del enrocado ( $\phi$ ) =  $42^\circ$
- Cohesión del enrocado ( $C$ ) =  $0 \text{ KN/m}^2$

**Datos del gavión:**

- Peso específico del gavión ( $Y_g$ ) =  $24.20 \text{ Kn/m}^3$
- Ángulo de fricción del gavión ( $\phi$ ) =  $30^\circ$
- Cohesión del gavión ( $C$ ) =  $0 \text{ KN/m}^2$

**3.8.1. Análisis de estabilidad global estático**

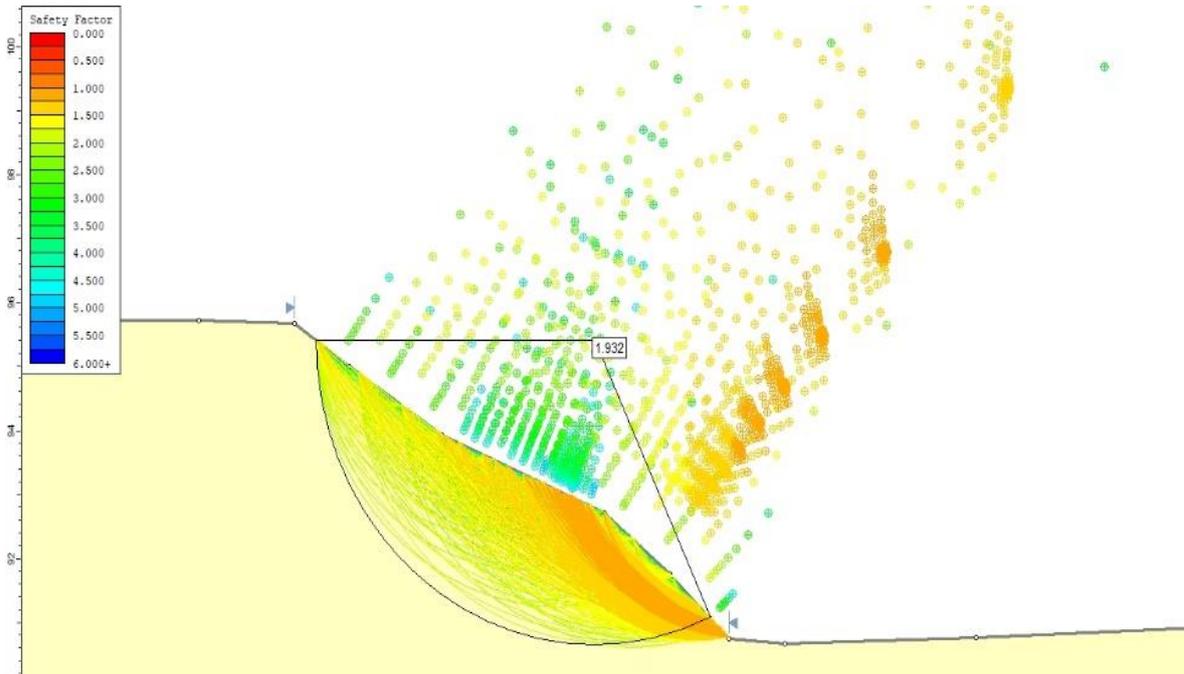
Los resultados de la modelación y simulación de estabilidad global estático de la ribera se presentan en este ítem basado en los tres métodos antes explicados y datos ingresados.

- **Estabilidad global estático para el cauce sin socavación**

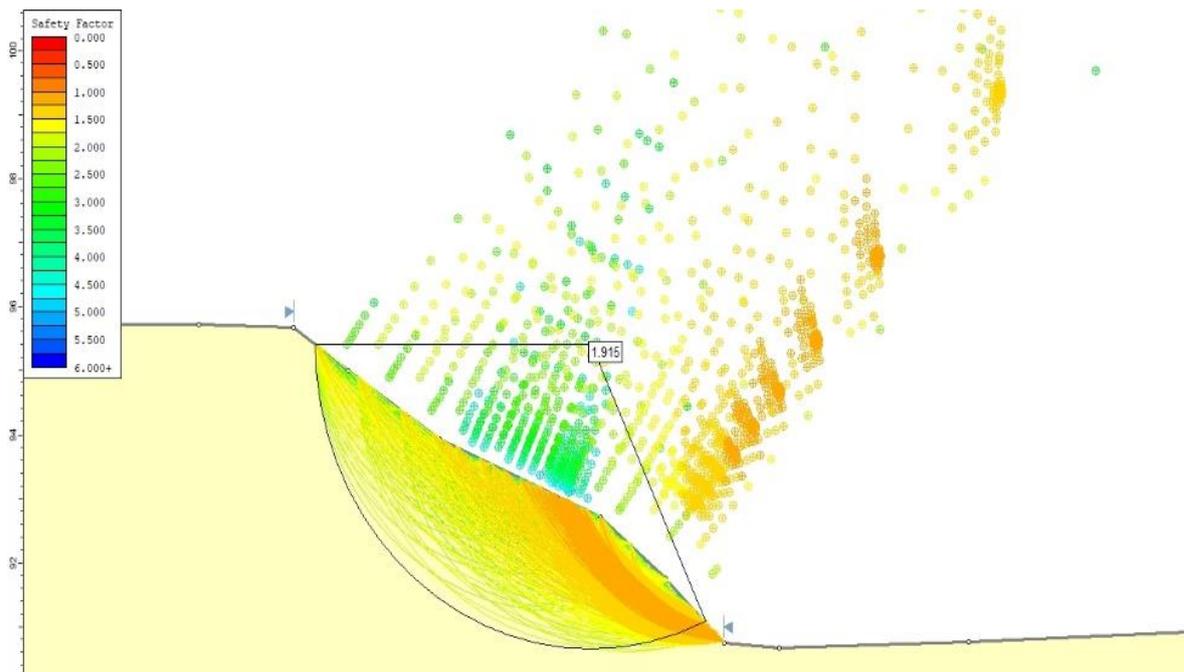
**Tabla 36. Resultados de FS estático para el cauce sin socavación**

Análisis estático		
Método	Factor de seguridad	Radio (m)
Bishop simplificado	1.932	4.771
Spencer	1.915	4.771
Morgenstern - Price	1.914	4.771

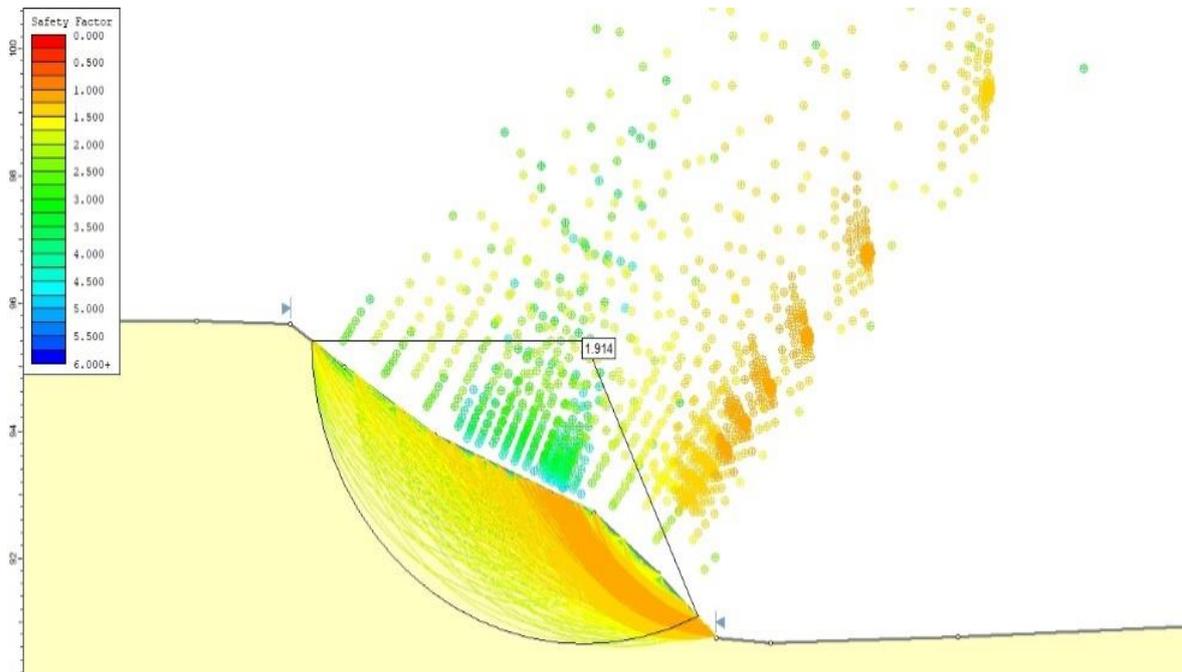
Fuente: Elaboración propia, 2018



**Figura 39.** FS estático por el método de Bishop simplificado para el cauce sin socavación.  
 (Fuente: Imagen propia, 2018)



**Figura 40.** FS estático por el método de Spencer para el cauce sin socavación.  
 (Fuente: Imagen propia, 2018)



**Figura 41.** FS estático por el método de Morgenstern-Price para el cauce sin socavación.

(Fuente: Imagen propia, 2018)

La Tabla 36, respecto a las Figuras 39, 40 y 41 muestran factores de seguridad aceptables en estado estático; puesto que no presentan proceso de socavación aun. Los tres métodos utilizados que son Bishop simplificado, Spencer y Morgenstern – Price brindan factores de seguridad mayores a 1.50 con un radio de análisis de 4.771 m.

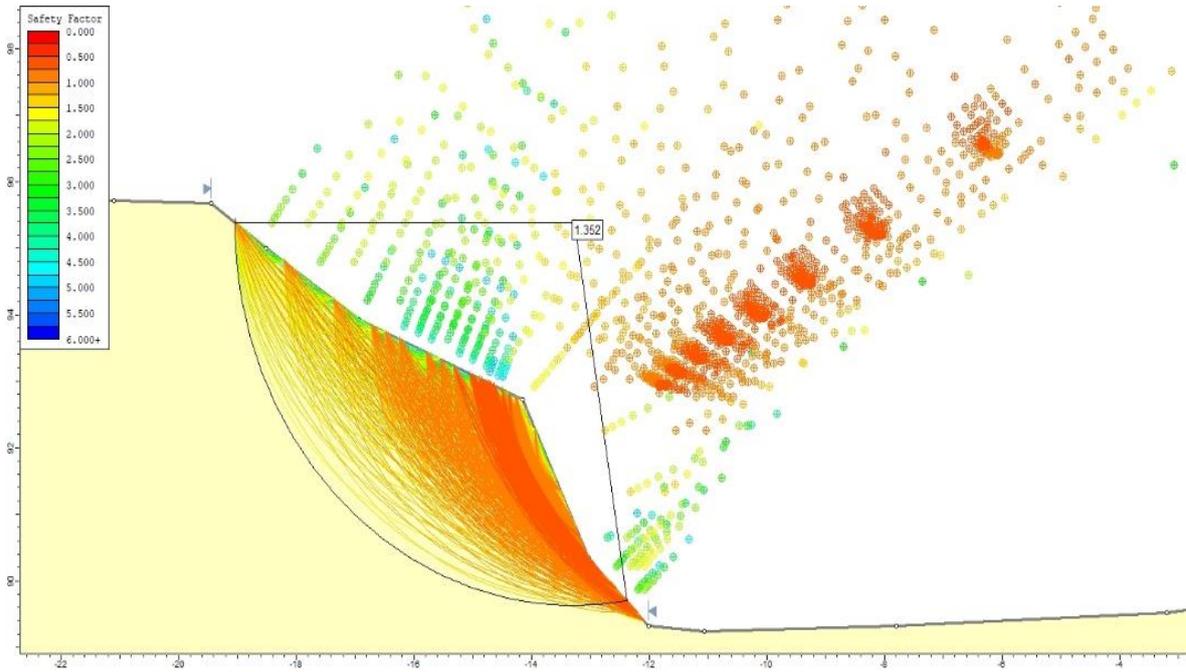
La diferencia de resultados está entre rangos de 0.001 a 0.018. Nótese el color medio amarillento, lo cual indica también una zona circular estable.

- **Estabilidad global estático para el cauce con socavación**

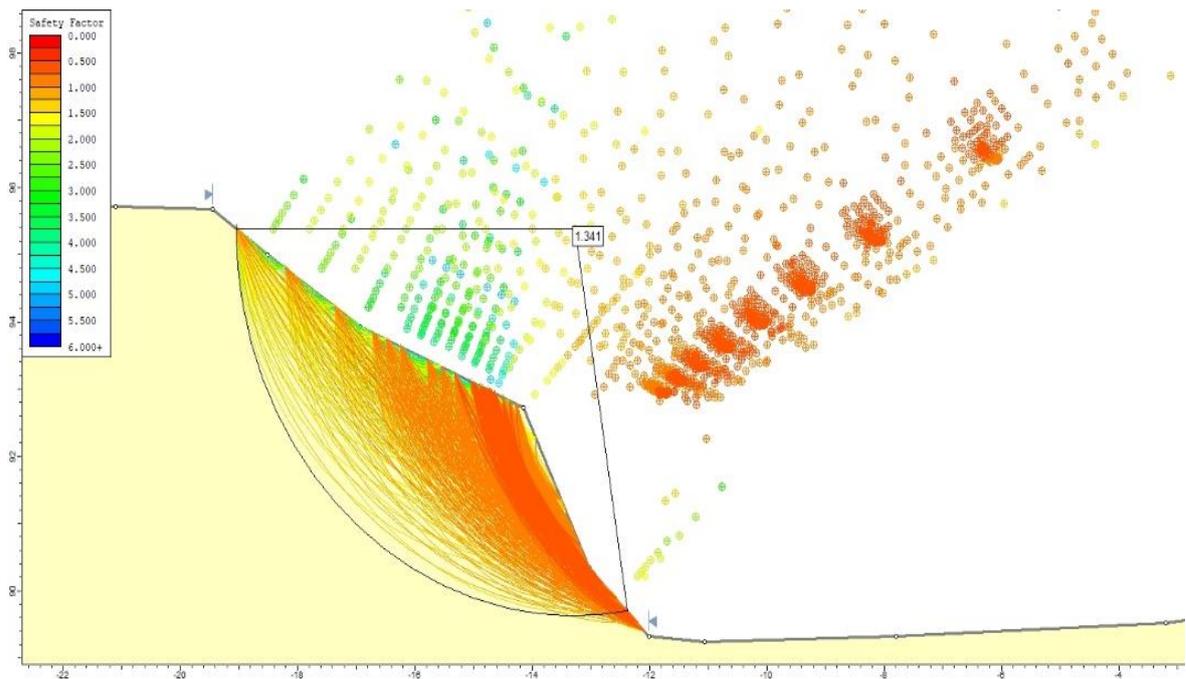
**Tabla 37.** Resultados de FS estático para el cauce con socavación

Análisis estático		
Método	Factor de seguridad	Radio (m)
Bishop simplificado	1.352	5.766
Spencer	1.341	5.766
Morgenstern - Price	1.345	5.766

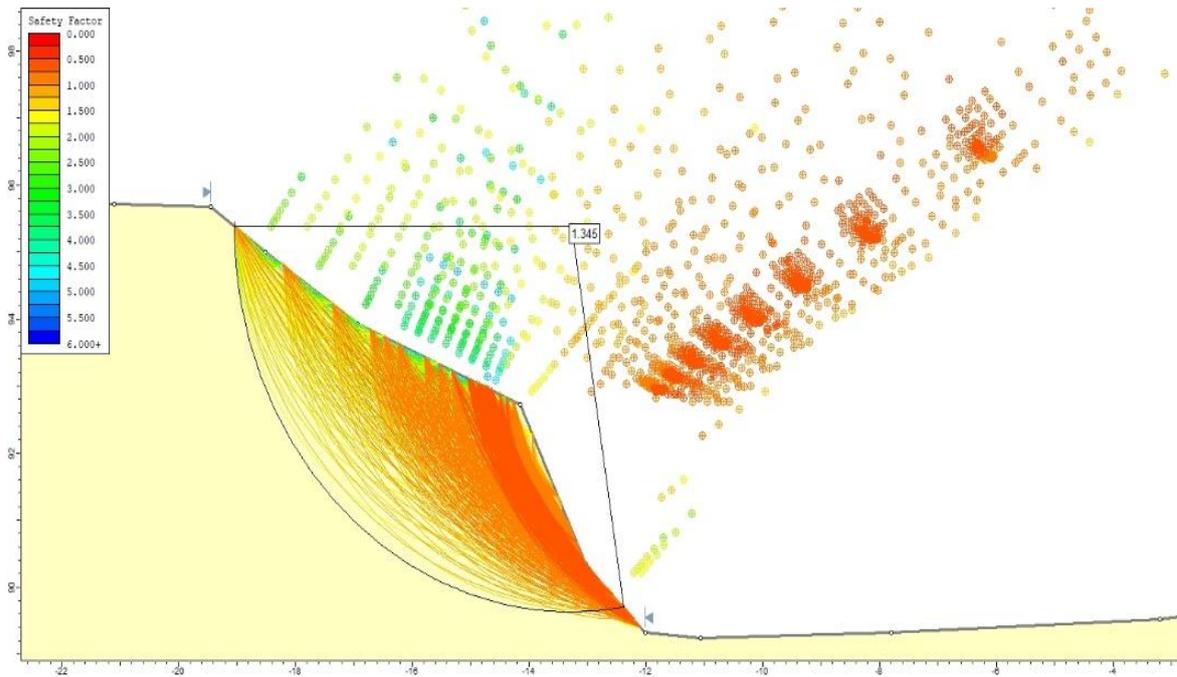
Fuente: Elaboración propia, 2018



**Figura 42.** FS estático por el método de Bishop simplificado para el cauce con socavación.  
(Fuente: Imagen propia, 2018)



**Figura 43.** FS estático por el método de Spencer para el cauce con socavación.  
(Fuente: Imagen propia, 2018)



**Figura 44.** FS estático por el método de Morgenstern-Price para el cauce con socavación.  
(Fuente: Imagen propia, 2018)

La Tabla 37, respecto a las Figuras 42, 43 y 44 muestran factores de seguridad poco aceptables en estado estático; puesto que presentan proceso de socavación calculados anteriormente con un resultado de 1.43 m. Los tres métodos utilizados que son Bishop simplificado, Spencer y Morgenstern – Price brindan factores de seguridad menores a 1.50 con un radio de análisis de 5.766 m.

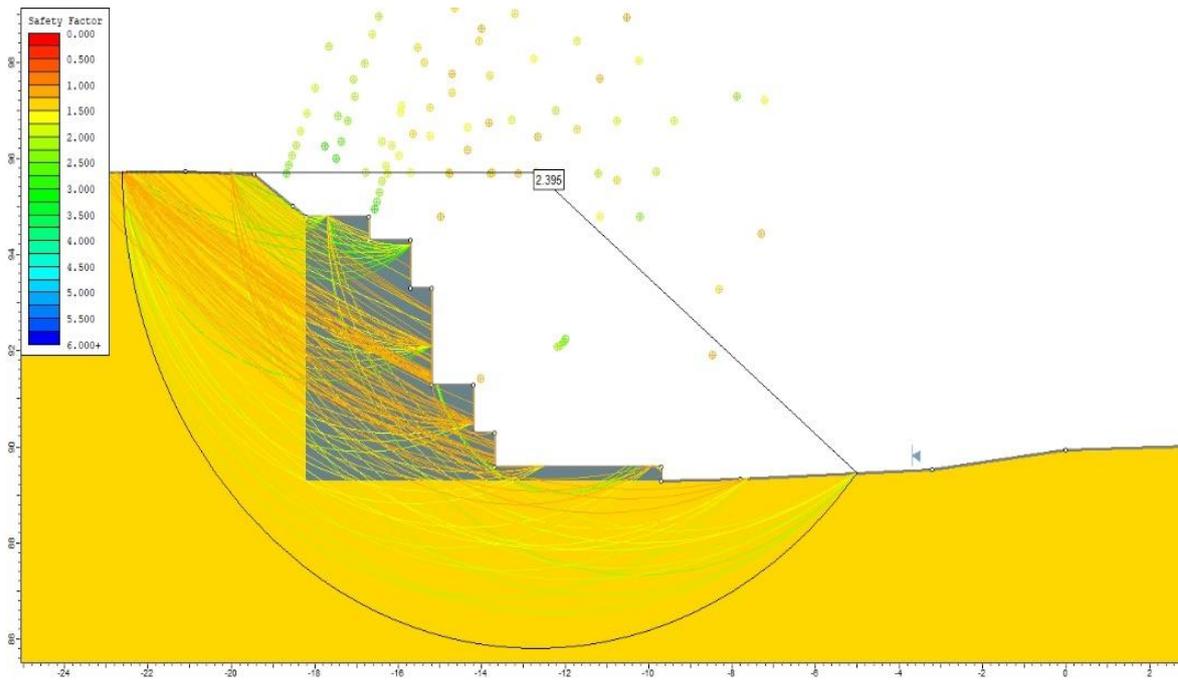
La diferencia de resultados está entre rangos de 0.004 a 0.011. Nótese el color rojizo claro, lo cual indica una zona circular semiestable.

- **Estabilidad global estático para el cauce con protección**

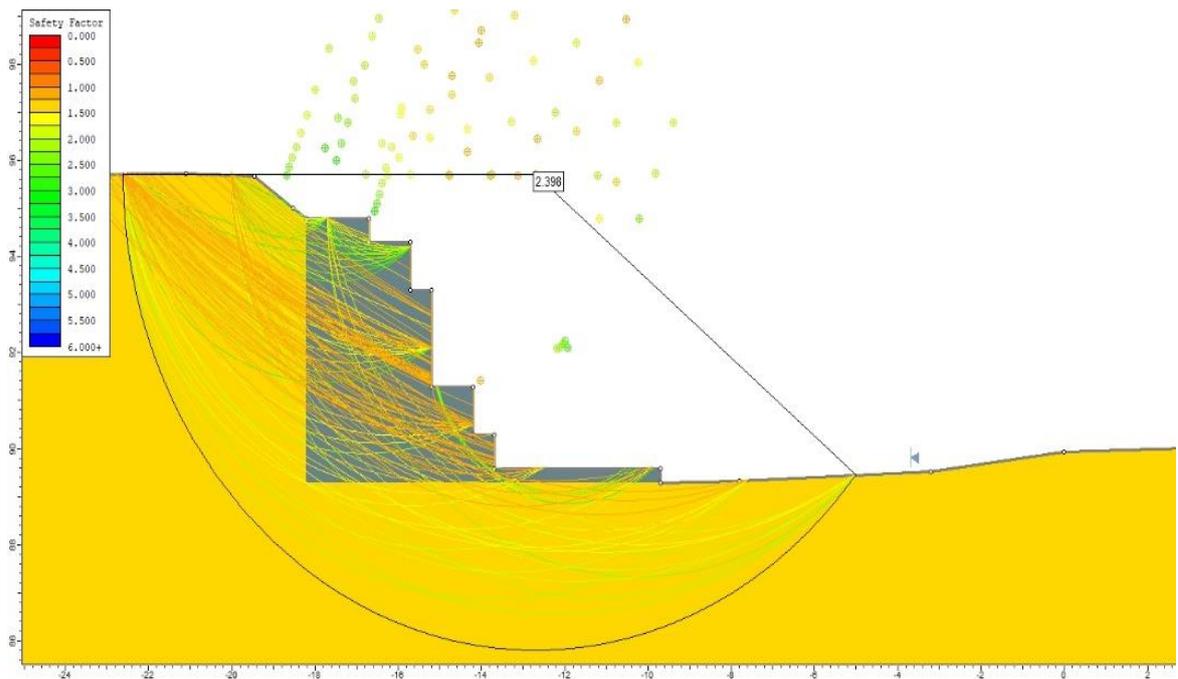
**Tabla 38.** Resultados de FS estático para el cauce con gaviones

Análisis estático		
Método	Factor de seguridad	Radio (m)
<b>Bishop simplificado</b>	2.395	9.927
<b>Spencer</b>	2.398	9.927
<b>Morgenstern - Price</b>	2.403	9.927

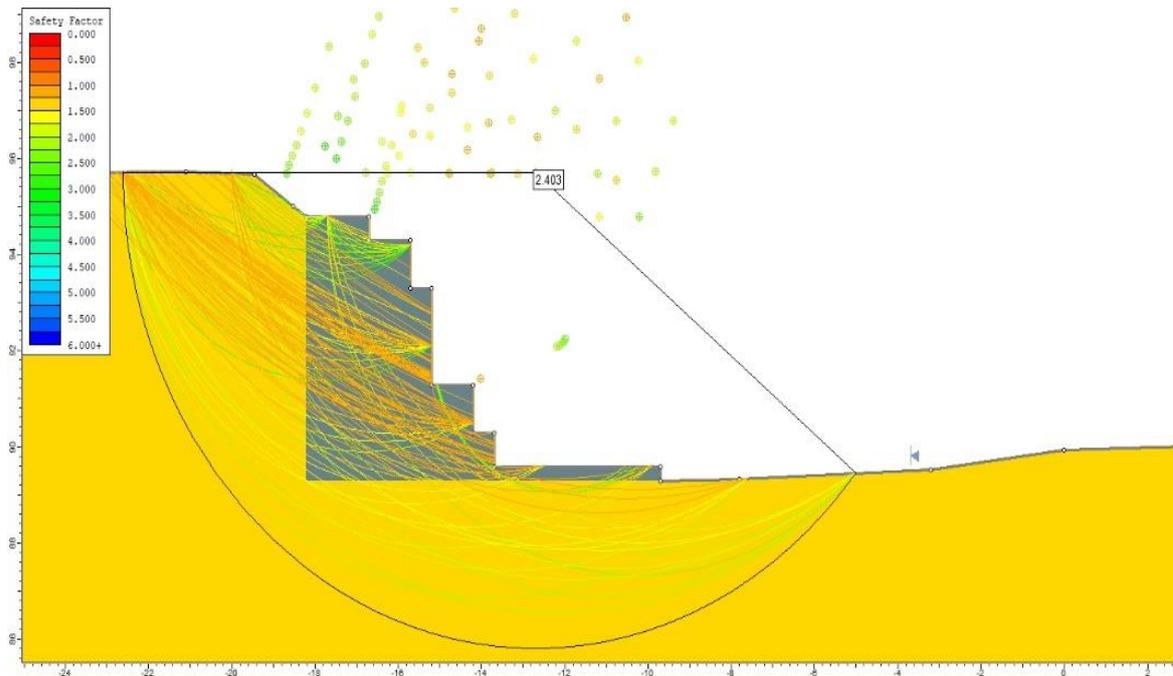
Fuente: Elaboración propia, 2018



**Figura 45.** FS estático por el método de Bishop simplificado para el cauce con gaviones.  
(Fuente: Imagen propia, 2018)



**Figura 46.** FS estático por el método de Spencer para el cauce con gaviones.  
(Fuente: Imagen propia, 2018)



**Figura 47.** FS estático por el método de Morgenstern-Price para el cauce con gaviones.

(Fuente: Imagen propia, 2018)

La Tabla 38, respecto a las Figuras 45, 46 y 47 muestran factores de seguridad aceptables en estado estático; puesto que se introducen sistemas de protección tipo gavión reduciendo el proceso de socavación. Los tres métodos utilizados que son Bishop simplificado, Spencer y Morgenstern – Price brindan factores de seguridad mayores a 1.50 con un radio de análisis de 9.927 m.

La diferencia de resultados está entre rangos de 0.003 a 0.008. Nótese el color medio amarillento, lo cual indica también una zona circular estable.

### 3.8.2. Análisis de estabilidad global pseudoestático

Para el inicio de la modelación de estabilidad de la ribera, se debe hallar la isoaceleración sísmica de diseño guiado por medio de la Norma E.030 de Diseño Sismorresistente del RNE y criterios de aplicación aprendidos.

Por lo cual se acude a la ecuación (1.24), tomando como información inicial las Figuras 1.12 y 1.13; y la ayuda de la Tabla 6 de esta manera se tiene.

$$PGA = 0.45 \text{ g}$$

$$S = 1.00$$

Dando de esta manera:

$$A_{\max-d} = 0.45 * 1.00 = 0.45 \text{ g}$$

El cálculo de la aceleración de diseño, dato de ingreso importante en el programa Slide se obtiene mediante la ecuación (1.25), basado en criterios internacionales de la AASHTO y la FHWA multiplicando por 1/2 o 1/3 del resultado anterior. A criterio se opta por utilizar 1/2 de esta forma se obtiene:

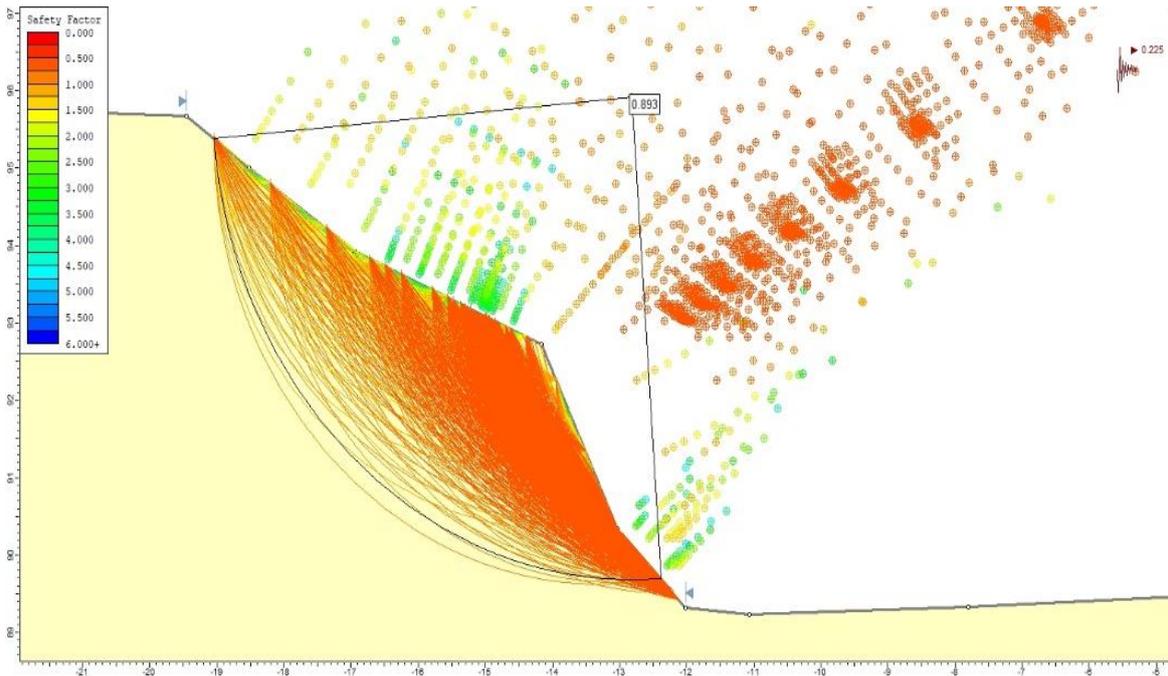
$$A_d = 1/2 * 0.45 = 0.225 \text{ g}$$

- **Estabilidad global pseudoestático para el cauce con socavación**

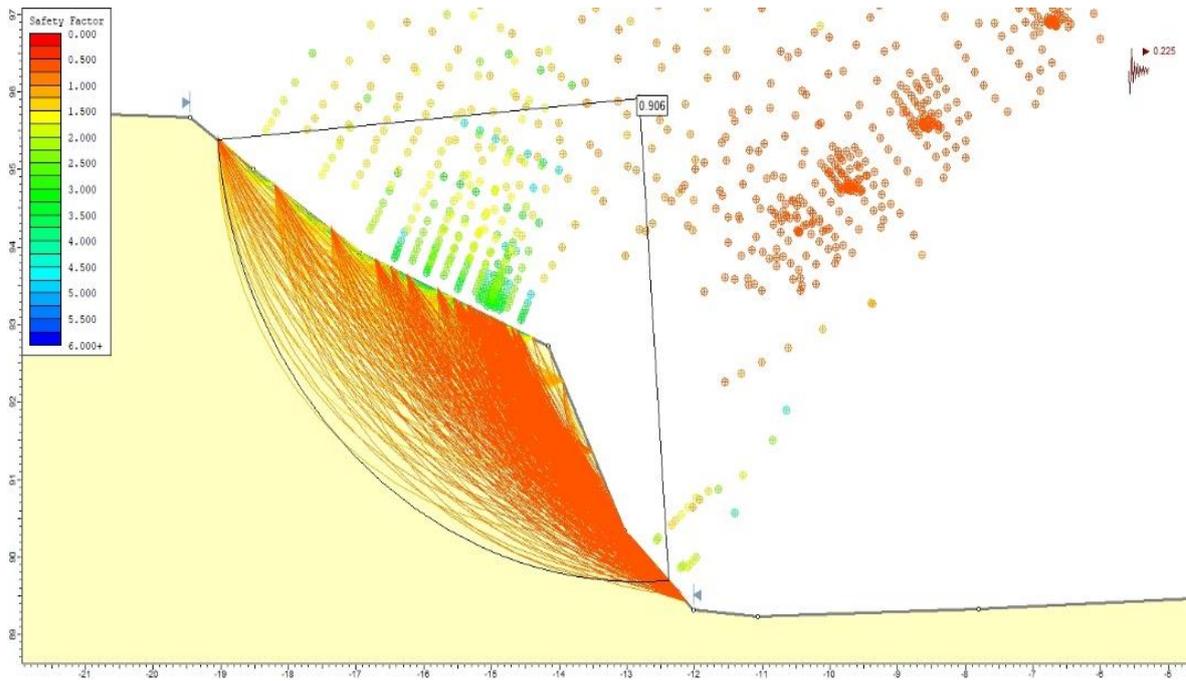
**Tabla 39.** Resultados de FS pseudoestático para el cauce con socavación

Análisis pseudoestático		
Método	Factor de seguridad	Radio (m)
Bishop simplificado	0.893	6.249
Spencer	0.906	6.249
Morgenstern - Price	0.905	6.249

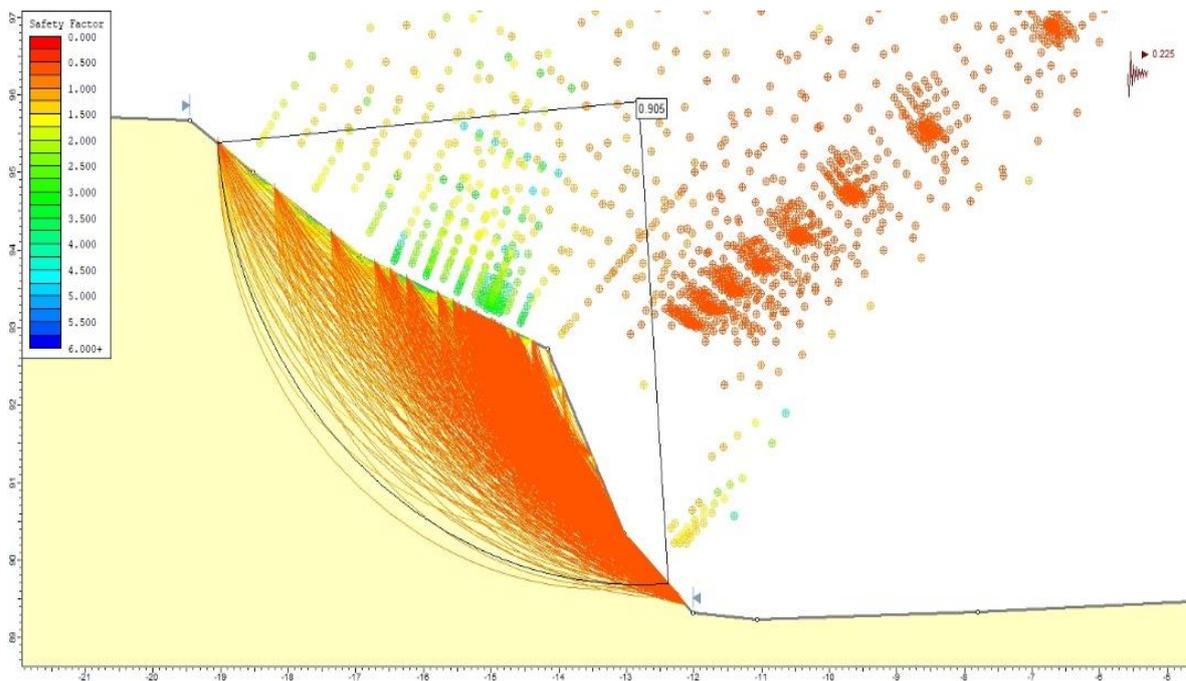
Fuente: Elaboración propia, 2018



**Figura 48.** FS pseudoestático por el método de Bishop simplificado para el cauce con socavación. (Fuente: Imagen propia, 2018)



**Figura 49.** FS pseudoestático por el método de Spencer para el cauce con socavación.  
(Fuente: Imagen propia, 2018)



**Figura 50.** FS pseudoestático por el método de Morgenstern-Price para el cauce con socavación. (Fuente: Imagen propia, 2018)

La Tabla 39, respecto a las Figuras 48, 49 y 50 muestran factores de seguridad no aceptables en estado pseudoestático; puesto que presentan proceso de socavación calculados anteriormente con un resultado de 1.43 m. Los tres métodos utilizados que son Bishop simplificado, Spencer y Morgenstern – Price brindan factores de seguridad menores a 1.50 con un radio de análisis de 6.249 m.

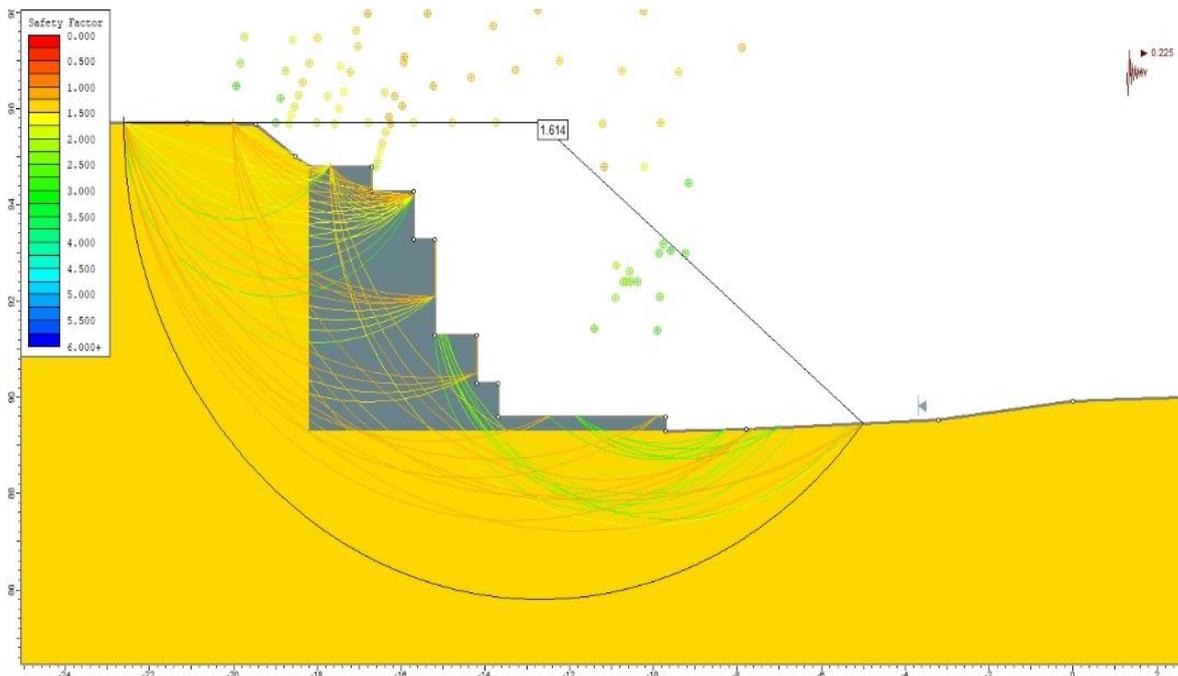
La diferencia de resultados está entre rangos de 0.001 a 0.013. Nótese el color rojizo oscuro, lo cual indica una zona circular inestable.

- **Estabilidad global pseudoestático para el cauce con protección**

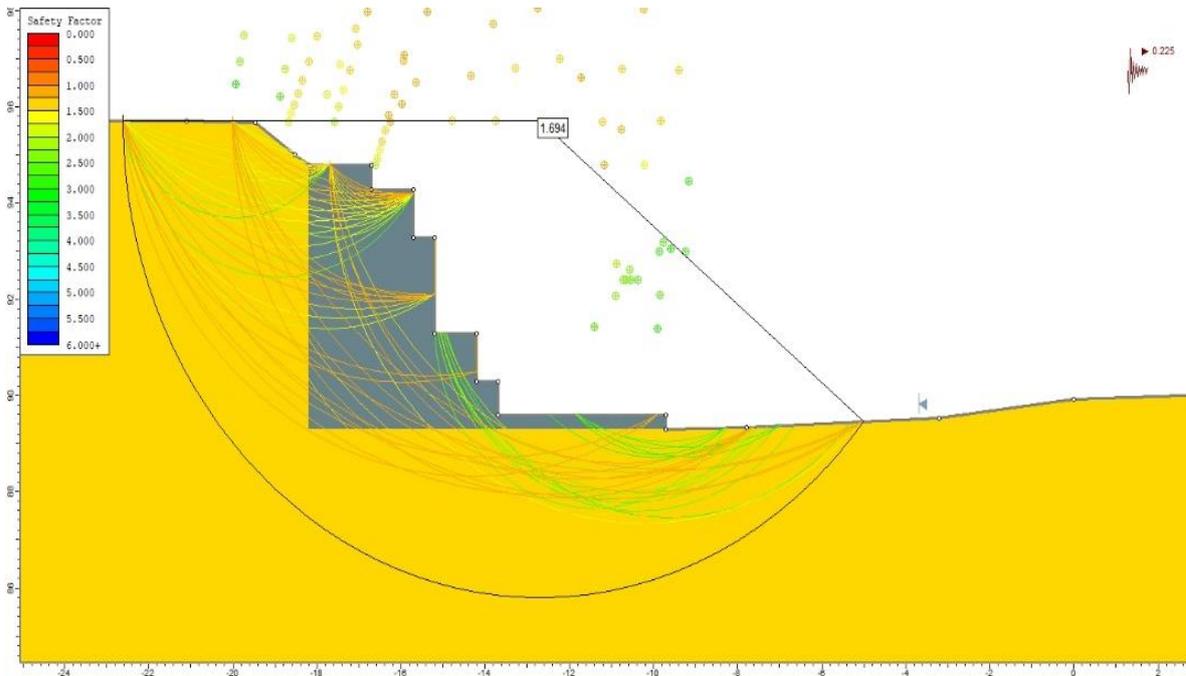
**Tabla 40.** Resultados de FS pseudoestático para el cauce con gaviones

Análisis pseudoestático		
Método	Factor de seguridad	Radio (m)
Bishop simplificado	1.614	9.927
Spencer	1.694	9.927
Morgenstern - Price	1.670	9.927

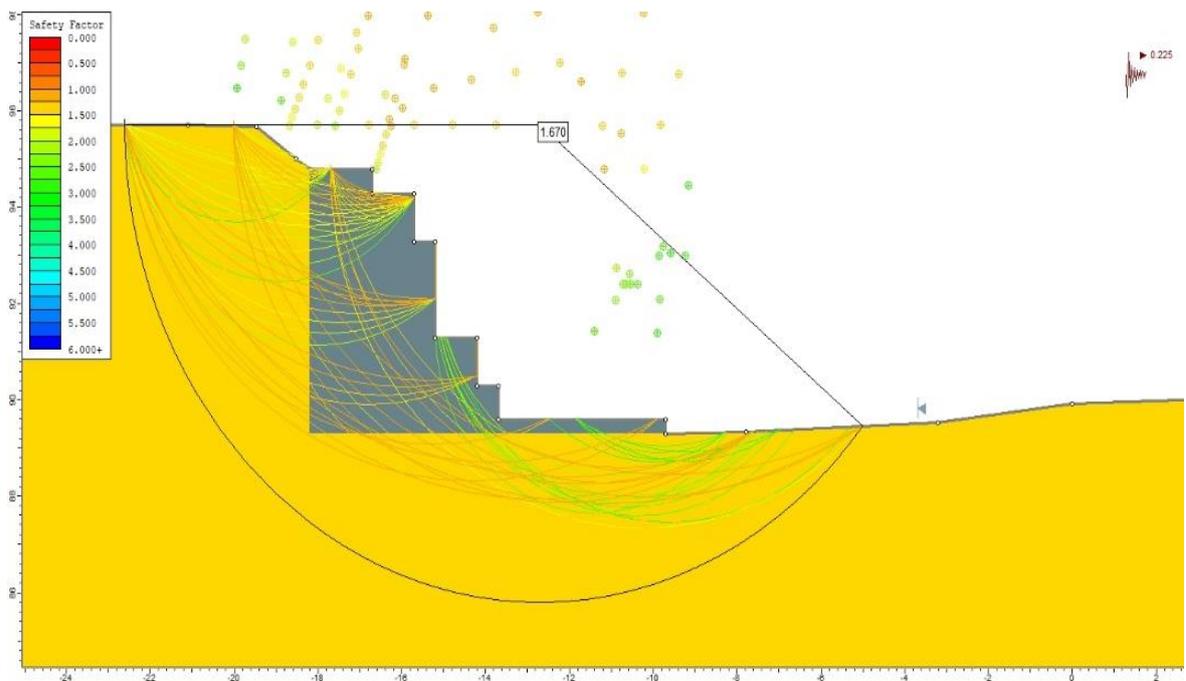
Fuente: Elaboración propia, 2018



**Figura 51.** FS pseudoestático por el método de Bishop simplificado para el cauce con gaviones. (Fuente: Imagen propia, 2018)



**Figura 52.** FS pseudoestático por el método de Spencer para el cauce con gaviones.  
(Fuente: Imagen propia, 2018)



**Figura 53.** FS pseudoestático por el método de Morgenstern-Price para el cauce con gaviones. (Fuente: Imagen propia, 2018)

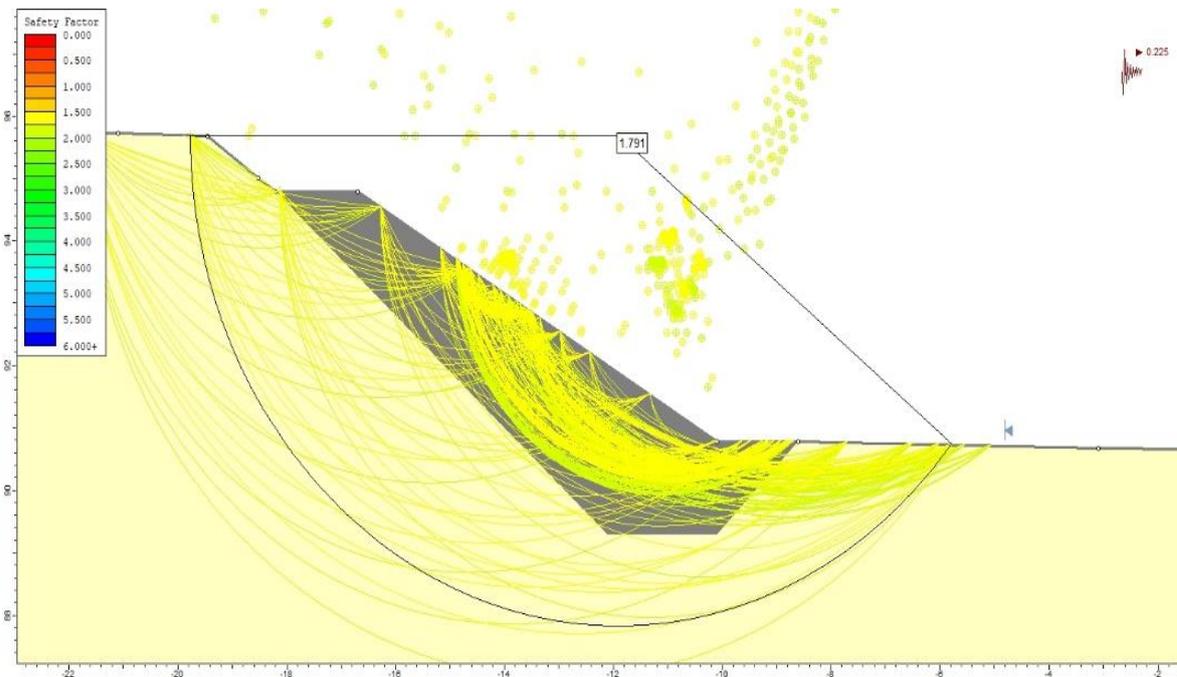
La Tabla 40, respecto a las Figuras 51, 52 y 53 muestran factores de seguridad aceptables en estado pseudoestático; puesto que se introducen sistemas de protección tipo gavión reduciendo el proceso de socavación. Los tres métodos utilizados que son Bishop simplificado, Spencer y Morgenstern – Price brindan factores de seguridad mayores a 1.50 con un radio de análisis de 9.927 m.

La diferencia de resultados está entre rangos de 0.024 a 0.080. Nótese el color medio amarillento, lo cual indica también una zona circular estable.

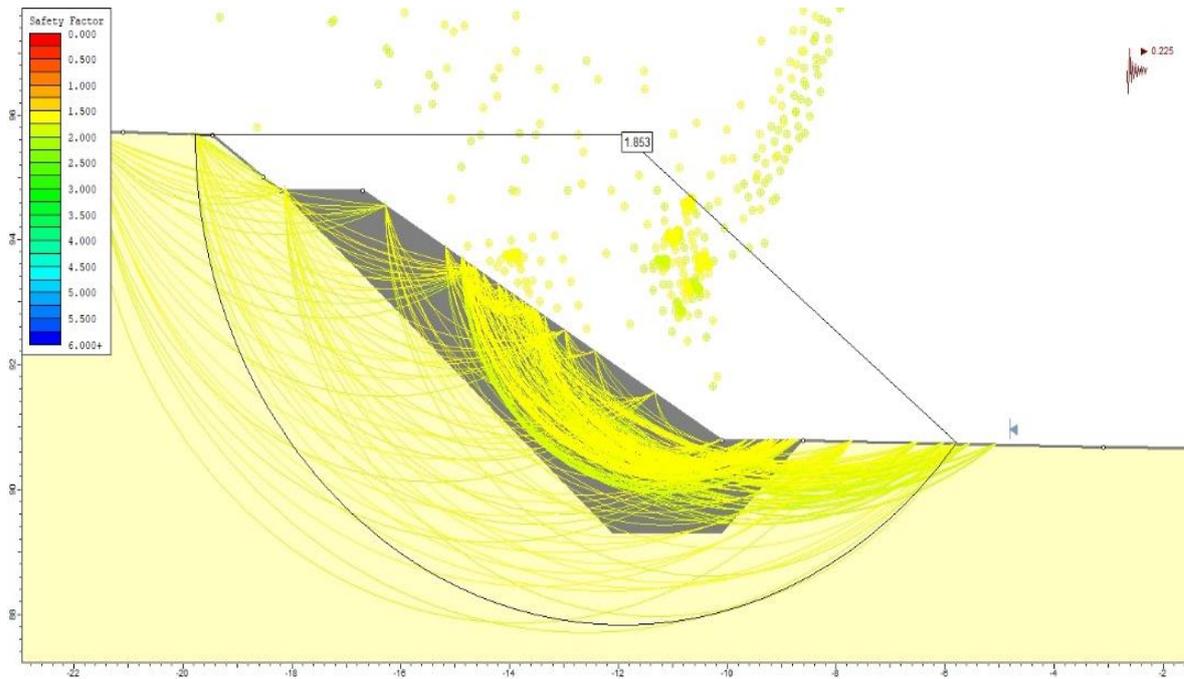
**Tabla 41.** Resultados de FS pseudoestático para el cauce con enrocado

Análisis pseudoestático		
Método	Factor de seguridad	Radio (m)
Bishop simplificado	1.791	7.876
Spencer	1.853	7.876
Morgenstern - Price	1.841	7.876

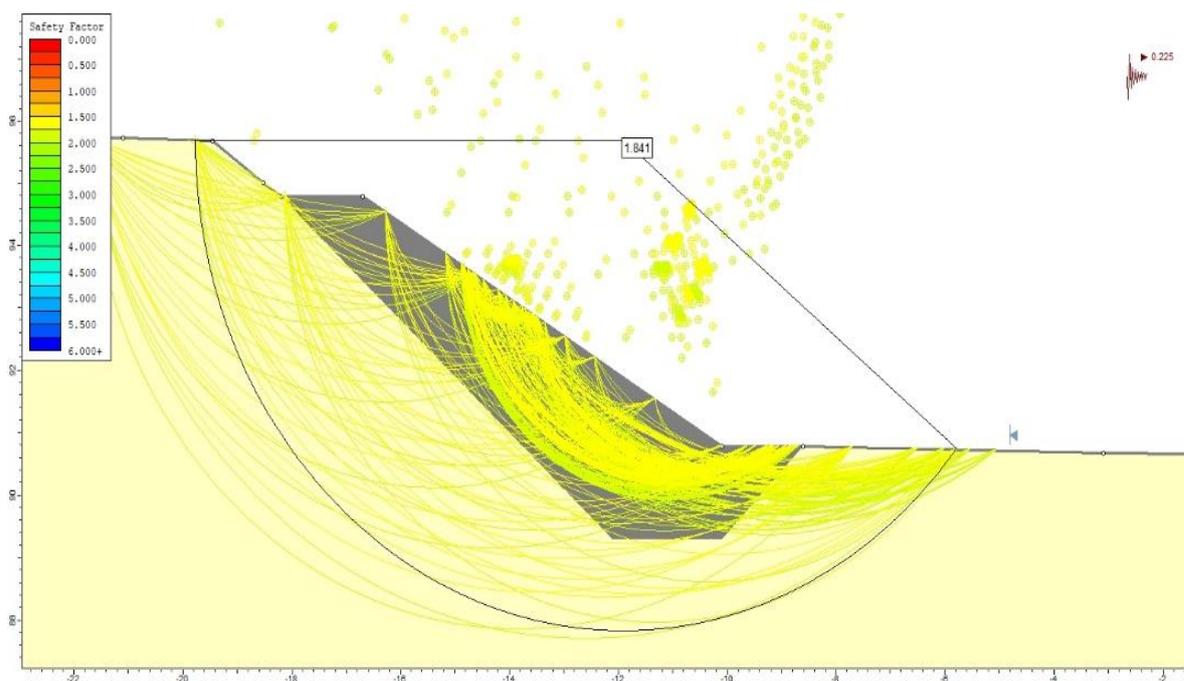
Fuente: Elaboración propia, 2018



**Figura 54.** FS pseudoestático por el método de Bishop simplificado para el cauce con enrocado. (Fuente: Imagen propia, 2018)



**Figura 55.** FS pseudoestático por el método de Spencer para el cauce con enrocado.  
(Fuente: Imagen propia, 2018)



**Figura 56.** FS pseudoestático por el método de Morgenstern-Price para el cauce con enrocado. (Fuente: Imagen propia, 2018)

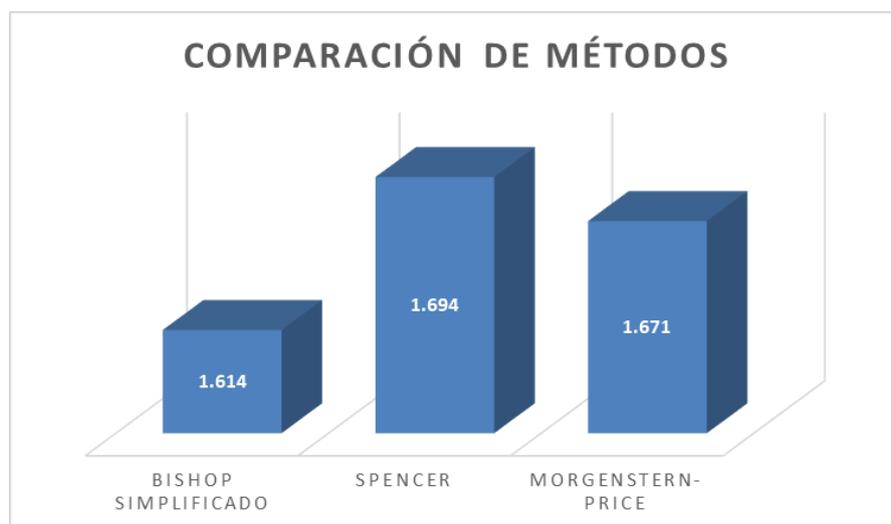
La Tabla 41, respecto a las Figuras 54, 55 y 56 muestran factores de seguridad aceptables en estado pseudoestático; puesto que se introducen sistemas de protección tipo enrocado reduciendo el proceso de socavación. Los tres métodos utilizados que son Bishop simplificado, Spencer y Morgenstern – Price brindan factores de seguridad mayores a 1.50 con un radio de análisis de 7.876 m.

La diferencia de resultados está entre rangos de 0.012 a 0.062. Nótese el color amarillento claro, lo cual indica también una zona circular estable.

### 3.9. Comparativa de métodos en función al tipo de protección

A continuación se presenta una comparativa de los métodos de estabilidad de taludes aplicados anteriormente a los dos tipos de protección de forma pseudoestática. Cabe destacar que cada método da un resultado en función a sus parámetros y criterios de análisis, el programa Slide v 6.0 realiza estas funciones dentro los cálculos computacionales. Los dos tipos de protecciones a comparar son el sistema gavión y el enrocado en base su factor de seguridad pseudoestático estable.

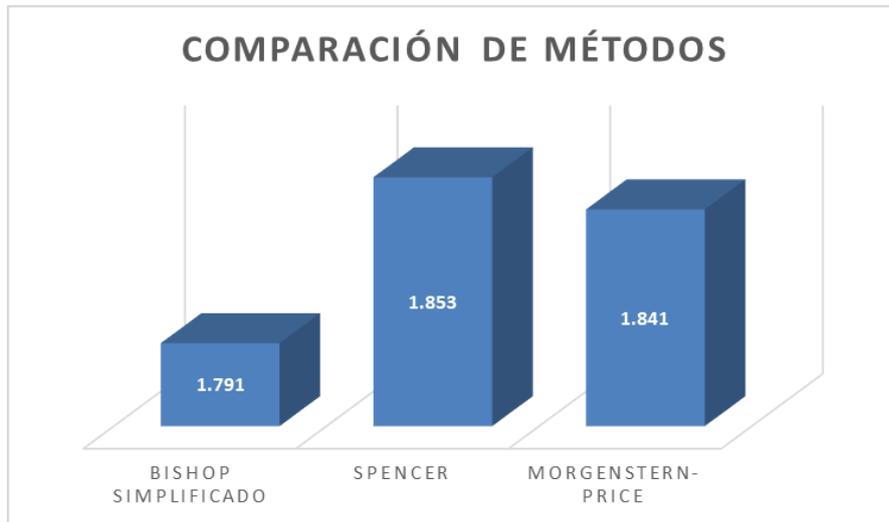
El método de Bishop simplificado es un método aproximado de análisis sobre todo para iniciar los cálculos de factor de seguridad la experiencia con este método ha dado buenos resultados. Los métodos de Spencer y Morgenstern - Price son métodos más rigurosos y complejos ya que se utilizan parámetros y condiciones más reales al tomar la forma de la ribera y el factor sismo.



**Figura 57.** Resultados de la comparación de métodos para el gavión.

(Fuente: Imagen propia, 2018)

En la Figura 57, se observa la comparativa de los métodos de estabilidad teniendo diferencias que varían entre 0.023 - 0.08 puesto que cada método posee criterios y parámetros de cálculo diferente, teniendo un resultado conservador de 1.694 por el método de Spencer.



**Figura 58.** Resultados de la comparación de métodos para el enrocado.

(Fuente: Imagen propia, 2018)

En la Figura 58, se observa la comparativa de los métodos de estabilidad teniendo diferencias que varían entre 0.012 - 0.062 puesto que cada método posee criterios y parámetros de cálculo diferente, teniendo un resultado conservador de 1.853 por el método de Spencer.

Cabe destacar que el sistema gavión aumenta el factor de seguridad a la ribera con socavación, ya que su factor de seguridad estático con protección de gaviones es de 2.403 siendo este un resultado conservador al aumentar el factor de seguridad en un 77.74 %.

De los dos tipos de protección se opta por el enrocado por tener mayor factor de seguridad en análisis pseudoestático con un factor de seguridad relevante de 1.853 por el método de Spencer.

#### **IV. DISCUSIONES**

## **PRIMERA DISCUSIÓN:**

Para el cálculo de estabilidad de la ribera se utilizó los métodos de Bishop Simplificado, Spencer y Morgenstern- Price teniendo un factor conservador de 1.932 para estado estático de la ribera sin socavación, pero con socavación se redujo a 1.352 y en estado pseudoestático llego hasta 0.906, al estabilizar con protecciones este valor aumenta a 1.853 siendo este un resultado conservador en cuanto a análisis global pseudoestático estando dentro de los rangos establecidos por la norma CE.020 vigente. De esta manera (Mendoza, 2016, pp. 66-67), menciona que los métodos empleados para sus análisis de estabilidad fueron el de Bishop simplificado, Spencer y Morgenstern- Price analizándolos de forma estática y pseudoestática tomando como criterios de aceptabilidad factores de al menos 1.3 para estado estático y 1.00 para pseudoestático. Concluye que los métodos utilizados poseen resultados diferentes pero no tan lejanos con algunas variaciones no mayores al 5% entre el mayor y menor y algunos casos de 7%. Cabe destacar que los criterios tomadas por el autor en cuanto al factor de seguridad tienen diferencias por las condiciones del terreno; ya que según la norma CE.020 de estabilización de suelos y taludes los rangos máximos son de 1.50 en estado estático y 1.25 en pseudoestático descritas en la Tabla 5.

## **SEGUNDA DISCUSIÓN:**

Para realizar el respectivo análisis de estabilidad se opta por tener parámetros o características necesarios del terreno en este caso se obtienen estos datos de laboratorio mediante ensayos teniendo un peso específico de  $2.71 \text{ Tn/m}^3$ , un ángulo de fricción de  $31.39^\circ$  y una cohesión de  $0.020 \text{ Kg/cm}^2$  en la zona de estudio, estos datos son esenciales para realizar los métodos antes explicados de estabilidad. Recordemos que nos encontramos en una zona sísmica teniendo el sismo como parámetro muy relevante es por esto que se optó por usar un sistema de protección de enrocado al ser flexible y acomodarse al terreno ante un comportamiento sísmico esto se corrobora por el factor de seguridad pseudoestático de 1.853 antes calculado. Por esta razón (Betún y Quishpe, 2016, pp. 126-127), explican que al tomar un modelo de falla se opta por tener parámetros o características relevantes como la cohesión, peso específico y ángulo interno de fricción, entre otros para comenzar con el análisis de estabilidad; ya que su país al igual que el nuestro es sísmico utilizo sistemas de protección flexibles para cunetas de coronación y muros para que resisten estas sollicitaciones (concreto y enrocado).

### **TERCERA DISCUSIÓN:**

De acuerdo con los resultados del presente estudio el tipo de material recomendable es el enrocado, puesto que posee un factor de seguridad estable, además de ser un sistema que soporta deformaciones y se acomoda de acuerdo al terreno por el proceso de socavación y erosión. El enrocado proyectado posee 1.73 m de espesor y 1.50 de profundidad de uña (profundidad de socavación). Cabe destacar que se pueden utilizar diferentes sistemas de protección como muros de concreto, geosintéticos u otros pero este brinda buenos resultados; además de poseer el material de la zona. (Bardales y Concepción, 2014, p. 185) de igual forma recomiendan de acuerdo a sus resultados de estudio utilizar un material de protección como el enrocado puesto que protege los estribos del puente de la socavación, este comprende todo lo ancho de la luz libre teniendo un espesor de 1.20 m y profundidad de uña de 1.50 m. cabe destacar que un enrocado en si es un sistema flexible y económico al utilizar material de la zona.

## **V. CONCLUSIONES**

1. Respecto a los resultados del estudio se puede resaltar que el análisis de estabilidad de taludes influye significativamente en la propuesta de protección contra inundaciones, puesto que de forma directa se logra establecer la cualidad de la ribera en este caso ante el proceso de socavación, es decir que para proyectar algún tipo de protección es necesario realizar un previo análisis de estabilidad viendo sus factores de seguridad si son aceptables o críticos respecto a las normas nacionales e internaciones referentes.
2. Para el método de equilibrio límite este consta de diferentes metodologías según investigadores diferentes y condiciones. Se puede identificar que las metodologías que son aplicables en este análisis de forma estática y pseudoestática son Bishop Simplificado, Spencer y Morgenstern – Price respecto a sus factores de seguridad calculados, se consideran metodologías modernas al ser aplicadas de forma más real además de tener el concepto del sismo como factor fundamental en los casos de estabilidad. Además siendo la metodología de Spencer el de mayor conservación respecto al análisis pseudoestático con protección y Bishop Simplificado en análisis estático sin protección.
3. Las características básicas o por decir necesarias inicialmente para este estudio fueron el peso específico, el ángulo de fricción interna y la cohesión aparente del suelo de la ribera y que de forma directa está asociada a la estabilidad que posee la ribera. Cabe destacar que estas características brindan un enfoque inicial y ayuda a entender más la estabilidad del mismo, el programa Slide v 6.0 necesita como datos introductorios estos mismos. El material del terreno de fundación es una combinación de relleno de desmontes y material aluvial con un peso específico de  $2.71 \text{ Tn/m}^3$ , un ángulo de fricción de  $31.39^\circ$  y una cohesión de  $0.020 \text{ Kg/cm}^2$ , basados en las pruebas de laboratorio de suelos.
4. De los tipos de material para protección evaluados como el gavión y enrocado, el que mejor brinda seguridad es el enrocado. Además desde un punto de vista de estabilidad esta se acomodaría de forma adaptable al ser un sistema flexible de forma consecutiva en todo el tramo. En los casos de análisis pseudoestático con protección en la ribera con socavación el sistema gavión presenta un factor de seguridad conservador de 1.694 por el método de Spencer y el enrocado con 1.853 por el mismo método. De esta forma se opta por usar el sistema enrocado por tener un mayor factor de seguridad y ser un tipo de estructura que se acomoda al terreno y un material muy común.

5. El sistema gavión aumenta el factor de seguridad a la ribera con socavación, ya que su factor de seguridad estático con protección de gaviones es de 2.403 siendo este un resultado conservador al aumentar el factor de seguridad en un 77.74 %. Cabe destacar que el análisis de estabilidad de taludes influye significativamente al elegir el tipo de protección que mayor factor de seguridad brinde.
6. Para el diseño de protección de enrocado se opta por usar los resultados de la fórmula de estabilidad de momentos al dar un diámetro medio de la roca de 1.73 m. Ambos sistemas de protección enrocados y gaviones poseen una cota de diseño de 5.50 m, además un borde libre 0.55 m, tirante máximo de 3.45 m y una fondo de anclaje de 1.50 m calculado por medio de la socavación mayor.
7. La ribera del cauce posee un factor de seguridad estático de 1.932 en estado natural es decir sin socavación, al agregarle la profundidad de socavación el factor de seguridad estático se reduce a 1.352 y al analizarlo de forma pseudoestática el factor se reduce a un 0.906, por lo cual se explica que la inestabilidad de la ribera está directamente asociada a la profundidad de socavación y al factor sismo. Además de interpretar que el tipo de suelo del terreno no soporta el parámetro de isoaceleración.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Se debe de tener en cuenta que antes de proyectar un sistema de protección o defensa ribereña que salvaguarde las vidas de personas aledañas a una determinada zona cercana a un río o ribera, se analice la estabilidad de la ribera de forma estática y pseudoestática teniendo en cuenta si hay o no socavación. También realizar el mismo análisis de estabilidad cuando se pongan las protecciones verificando el incremento del factor de seguridad, ya que mediante el estudio se resalta la relación directa de ambos.
- Aunque existe un sinnúmero de metodologías referidas al análisis de estabilidad de taludes, riberas o laderas. El fin es buscar el factor de seguridad aceptable o crítico sea el caso, por medio de esta investigación se puede referir utilizar el método de Bishop Simplificado, Spencer y Morgenstern – Price como verificación inicial o final de algún proyecto al dar buenos resultados de forma más real y aproximada.
- Como información inicial del terreno o muestras de suelo para analizar la estabilidad de taludes, riberas o laderas se puede considerar usar el peso específico, el ángulo de fricción interna y la cohesión aparente del suelo puesto que son características o propiedades que de alguna manera ayudan a entender la estabilidad del lugar y tener una idea de cómo se encuentra el lugar. Además se recomienda realizar un mayor número de calicatas en la zona para poder establecer con mayor seguridad y certeza el tipo de estratos que se encuentran localizados en la zona de estudio ante la posible construcción de defensas ribereñas.
- Es recomendable utilizar el sistema enrocado por brindar mejor estabilidad a la ribera con socavación, además de ser un sistema flexible y de proceso constructivo convencional pudiendo tener materiales de la zona, además de acomodarse y ajustarse convenientemente al terreno. Los geosintéticos como material de filtro son importantes en ambas estructuras antes mencionadas y calculadas, por esto se recomienda seguir las especificaciones técnicas de los materiales según resistencia, tolerancias y condiciones de uso; en el caso del enrocado el filtro de material granular genera mayor seguridad con la combinación del geosintético.
- Se recomienda tener en cuenta los métodos, fundamentos y conceptos teóricos existentes para el diseño y cálculo de sistemas de protección y de su estabilidad global, teniendo como base las normativas vigentes nacionales.

## **VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AGUILAR GOENAGA, Oscar Alejandro y ZUÑIGA ROMERO, Camilo Ernesto. Análisis comparativo de estabilidad de taludes mediante los métodos de equilibrio límite aplicado a taludes o laderas aledañas al cerro de la Popa, casco urbano de Cartagena. Tesis (Ingeniero Civil). Bolívar, Colombia: Universidad de Cartagena, 2015. Disponible en: <http://190.242.62.234:8080/jspui/handle/11227/2089>

ALVARO AGUILAR, Luther Marcelo Kerimbey y HENRIQUEZ FASANANDO, Luis Anselmo. Diseño hidráulico y estructural de defensa ribereña del río Chicama tramo puente Punta Moreno – Pampas de Jaguey aplicando el programa River. Tesis (Ingeniero Civil). Trujillo, Perú: Universidad Privada Antenor Orrego, 2014.

ANA. Resumen ejecutivo: Delimitación de la faja marginal del río Chillón. [En línea]. Lima, 1999. Disponible en: <http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/4016>

APARICIO MIJARES, Francisco J. Fundamentos de hidrología de superficie. 10a ed. México: Editorial Limusa - Noriega, 2001. 303 pp. ISBN: 9789681830144

ARBELÁEZ, A. C. Geomorfología Fluvial. Cauca: Universidad de Cauca. Facultad de Ingeniería Civil, 2003.

ARIAS, Fidias G. El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica. 6a ed. Caracas: Editorial Episteme, 2012. 144 pp. ISBN: 980-07-8529-9

ARRIETA AGUILAR, Rene Vides. Estimación de caudales máximos de avenida para la protección de una bocatoma ubicada en la cuenca del río Chillón utilizando el método probabilístico. Monografía (Ingeniero Mecánico de Fluidos). Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2014.

BARDALES GUANILO, Yeily Carinés y CONCEPCIÓN BUSTOS, Liz Maritza. Modelamiento hidrológico e hidráulico aplicado al cálculo de socavación en puentes Potrero (Km 165 + 527.00) y Maygasbamba (Km 197 + 688.15), ubicados en carretera Chota - Bambamarca - Hualgayoc. Tesis (Ingeniero Civil). Trujillo, Perú: Universidad Privada Antenor Orrego, 2014.

BETÚN CHULCA, Luis Jaime y QUISHPE CUSHICONDOR, Gabriela Nataly. Análisis de alternativas para la estabilidad del talud con el programa Geo-slope en el sector el Prado Cantón Piñas, provincia de el Oro. Trabajo de graduación (Ingeniero Civil). Ecuador, Quito: Universidad Central del Ecuador, 2016. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/8006>

BORJA SUÁREZ, Manuel. Metodología de la investigación científica para ingenieros [En línea]. Perú, 2016. Disponible en: <https://unprg.academia.edu/ManuelBorjaSu%C3%A1rez>

CISMID. Informe Técnico: Bases técnicas para la estimación de pérdidas con fines de seguros de terremoto. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, 2005.

CISMID. Informe Técnico: Microzonificación sísmica del distrito de Puente Piedra. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, 2011.

DAS, Braja M. Fundamentos de ingeniería geotécnica. 4a ed. México: Cengage Learning, 2015. 656 pp. ISBN: 978-607-519-373-1

DE ALMEIDA BARROS, Pécio Leister. Obras de contención - Manual Técnico. Brasil: Maccaferri, 2005. 222 pp.

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

FERNÁNDEZ ESPINOZA, Jose Manuel. Propuesta de restauración del tramo urbano del río Rímac mediante la aplicación de bioingeniería. Tesis (Ingeniero Civil). Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2015.

GOOGLE EARTH. Software de cartografía y fotografía satelital. [En línea] [Citado el: 12 de Mayo de 2018.]. Disponible en: <https://earth.google.com/web>

GUERRA FERNÁNDEZ, Liver Gilmer. Análisis técnico y económico en el control de erosión de riberas empleando geotubos, proyecto La Jolla, Asia, Cañete, Lima. Informe de suficiencia (Ingeniero Civil). Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, 2013.

HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto; FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos y BAPTISTA LUCIO, María del Pilar. Metodología de la investigación. 6a ed. México D.F: McGraw-Hill, 2014. 630 pp. ISBN: 978-1-4562-2396-0

HUACOTO DIAZ, Eduardo Cesar. Defensas ribereñas en el río Chillón, Tramo: Puente Panamericana - Puente Inca. Informe de suficiencia (Ingeniero Civil). Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, 1997.

HUARCAYA SEGOVIA, Jose Manuel. Diseño de defensa ribereña de las márgenes del río Pativilca a la altura del puente Simón Bolívar en la Panamericana Norte. Informe de suficiencia (Ingeniero Civil). Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, 2005.

MACCAFERRI. Especificaciones técnicas del gavión caja y colchón reno. Perú, Lima: Maccaferri de Perú S.A.C., 2009.

MENDOZA LOAYZA, Joel Arturo. Análisis de estabilidad de taludes de suelos de gran altura en la mina Antapaccay. Tesis (Ingeniero Civil). Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2016.

MEZA LAVISTA, Milena y GUADA FERNÁNDEZ, Patricia María. Métodos empírico-mecanicista empleados para el cálculo del factor de seguridad para la estabilidad de taludes. Monografía. La Habana, Cuba: Universidad Tecnológica de la Habana, 2013. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/303247199\\_Metodos\\_empirico\\_-\\_mecanicista\\_empleados\\_para\\_el\\_calculo\\_del\\_factor\\_de\\_seguridad\\_para\\_la\\_estabilidad\\_de\\_taludes](https://www.researchgate.net/publication/303247199_Metodos_empirico_-_mecanicista_empleados_para_el_calculo_del_factor_de_seguridad_para_la_estabilidad_de_taludes)

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. Manual de Hidrología, Hidráulica y drenaje. Lima, 2012. 250 pp.  
Disponible en: <http://spij.minjus.gob.pe/Graficos/Peru/2011/octubre/10/RD-20-2011-MTC-14.pdf>

MISAICO REVATE, Guillermo Nilo. Modelamiento hidráulico del río Lircay en el tramo de la ciudad de Ocopa. Tesis (Ingeniero Civil). Huancavelica, Perú: Universidad Nacional de Huancavelica, 2014.

MORALES ALVARADO, Diego Bernabé. Procedimientos de investigación y comparación de los métodos de Bishop Modificado, Janbú y Fellenius para el cálculo de estabilidad de taludes. Trabajo de graduación (Ingeniero Civil). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009. Disponible en: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3057\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3057_C.pdf)

MORALES MORALES, Roberto. Diseño en concreto armado. 3a ed. Lima, Perú: Fondo editorial ICG, 2006. 334 pp.

OROSCO BENITES, Juan Carlos Felipe. Protección contra inundaciones en zonas urbanas – Caso de la Urbanización San Diego distrito de San Martín de Porres - Lima. Tesis (Ingeniero Civil). Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, 2004.

PALELLA STRACUZZI, Santa y MARTINS PESTANA, Feliberto. Metodología de la investigación. 3era ed. Caracas: Editorial Fedupel, 2012. 285 pp. ISBN: 980-273-445-4

REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES (Perú). Norma E.030: Diseño Sismorresistente. Lima: RNE, 2016. 30 pp.

REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES (Perú). Norma E.050: Suelos y Cimentaciones. Lima: RNE, 2006. 18 pp.

REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES (Perú). Norma CE.020: Estabilización de suelos y taludes. Lima: RNE, 2012. 18 pp.

RAMIREZ CHUMACERO, Alejandro. Procedimiento constructivo utilizando la tecnología de geotextiles para protección costera en Colán - Piura. Tesis (Ingeniero Civil). Piura, Perú: Universidad de Piura, 2017.

REYES CUBAS, Carmen Martha. Estudio de la contaminación de las aguas del río Chillón. Tesis (Maestro en ciencias con mención en minería y medio ambiente). Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, 2012.

ROCHA FELICES, Arturo. Hidráulica de tuberías y canales. 1a ed. Lima, Perú: Facultad de Ingeniería Civil - Universidad Nacional de Ingeniería, 2007. 538 pp.

RODRÍGUEZ VÁSQUEZ, Héctor Giovanni. Inundaciones en zonas urbanas. Medidas preventivas y correctivas, acciones estructurales y no estructurales. Tesis (Maestro en Ingeniería). México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2012. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/5281>

ROSGEN, David L. A classification of natural rivers. Editorial: Elsevier Science. Catena: 169 - 199, 1994.

RUIZ BOLÍVAR, Carlos. Confiabilidad: Programa Interinstitucional Doctorado en Educación. Artículo digital [en línea]. Octubre 2016, s/n. [Fecha de consulta: 12 de octubre de 2018]. Disponible en: <http://200.11.208.195/blogRedDocente/alexisduran/wpcontent/uploads/2015/11/CONFIABILIDAD.pdf>

SALAZAR ACUÑA, Christian Rubén. Metodología de optimización del diseño geotécnico para la estabilización de taludes de un proyecto en la Costa Verde. Tesis (Ingeniero Civil). Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, 2015.

SANHUEZA PLAZA, C. y RODRÍGUEZ CIFUENTES, L. Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales. Revista de la Construcción [en línea]. Abril - Sin mes 2013, vol. 12, n°1. [Fecha de consulta: 25 de Abril de 2018]. Disponible en: <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/11514>  
ISSN: 0717-7925

SENAMHI. Servicio Nacional de Meteorología e Hidráulica del Perú. [En línea] [Citado el: 15 de Mayo de 2018.]. Disponible en: <http://www.senamhi.gob.pe/>.

SUÁREZ DÍAZ, Jaime. Control de erosión en zonas tropicales [En línea]. 1a ed. Bucaramanga, Colombia: División editorial y de publicaciones Universidad Industrial de Santander, 2001. [Fecha de consulta: 20 de Mayo de 2018]. Disponible en: <http://www.erosion.com.co/control-de-erosion-en-zonas-tropicales.html>  
ISBN: 958-33-2734-4

SUÁREZ DÍAZ, Jaime. Deslizamientos: Análisis Geotécnico [En línea]. Vol.1. Bucaramanga, Colombia: División editorial y de publicaciones Universidad Industrial de

Santander, 2009. [Fecha de consulta: 20 de Mayo de 2018]. Disponible en:  
<http://www.erosion.com.co/libros/36-libros-ing-jaime-su%C3%A1rez/70-nuevo-libro-deslizamientos-tomo-i-an%C3%A1lisis-geot%C3%A9cnico.html>  
ISBN: 9789588504032

VALIENTE SANZ, Ricardo; SOBRECASES MARTÍ, Salvador y DÍAZ ORREGO, Aníbal. Estabilidad de taludes: conceptos básicos, parámetros de diseño y métodos de cálculo. Revista Civilizate [en línea]. Sin mes 2015, n°7. [Fecha de consulta: 30 de Abril de 2018]. Disponible en: <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/civilizate/article/view/16157/16579>  
ISSN: 2411-944X

VERGEL MONCADA, Maira Alejandra y TRILLOS QUINTERO, Viviana Marcela. Análisis de estabilidad de un talud ubicado en el barrio Olaya Herrera del municipio de Ocaña, Norte de Santander. Tesis (Ingeniero Civil). Ocaña, Colombia: Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, 2016. Disponible en: <http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/handle/123456789/1233>

VILLÓN BÉJAR, Máximo. Hidrología. 2a ed. Lima, Perú: Editorial Villón, 2002. 474 pp. ISBN 9977-66-159-6.

WILLIS SAMAMÉ, Eduardo Daniel. Optimización del diseño hidráulico del proyecto Miraflores utilizando el modelo numérico Telemac - 2D. Tesis (Ingeniero Civil). Piura, Perú: Universidad de Piura, 2015.

## **VIII. ANEXOS**

## **Anexo 1: Matriz de consistencia**

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

**TÍTULO:** ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES PARA LA PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES EN EL SECTOR DE LA AV. MALECON CHILLON – PUENTE PIEDRA, 2017  
**AUTOR:** ORVIK ERIK MACHCO PEREZ

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES INDICADORES		METODOLOGIA
<b>Problema General</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Hipótesis General</b>	<b>Variable 1: Análisis de Estabilidad de Taludes</b>		<b>Método: Científico</b> Se utilizará el método científico; ya que se menciona un problema de interés, el cual se pone a prueba con la hipótesis formulada. <b>Tipo: Aplicada</b> Es de tipo aplicada, porque se utiliza los conceptos y conocimientos básicos aprendidos para aplicarlos de forma práctica a un problema y dar posibles soluciones con la finalidad de beneficiar a la sociedad. <b>Nivel: Descriptivo</b> (Hernández, 2014, P.g.92), el estudio descriptivo tiene por fin “especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis”. <b>Diseño: No experimental de visión transversal</b> Se basa en un diseño no experimental porque no habrá manipulación en los valores de las variables y es un diseño transversal, ya que tenemos uno o más recopilaciones de datos del presente para indagar una solución en el futuro.
¿De qué manera el análisis de estabilidad de taludes influye en la propuesta de protección contra inundaciones en el Sector de la Av. Malecón Chillón - Puente Piedra, 2017?	Determinar de qué manera el análisis de estabilidad de taludes influye en la propuesta de protección contra inundaciones en el Sector de la Av. Malecón Chillón - Puente Piedra, 2017.	El análisis de estabilidad de taludes influye significativamente en la propuesta de protección contra inundaciones en el Sector de la Av. Malecón Chillón - Puente Piedra, 2017.	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	
<b>Problema Específico</b>	<b>Objetivo Específico</b>	<b>Hipótesis Específica</b>	<b>Variable 2: Protección Contra Inundaciones</b>		<b>METODO DE INVESTIGACIÓN</b> <b>POBLACIÓN:</b> Todos los tramos de ribera de río de la cuenca baja del río Chillón, siendo estos de diferentes características como longitud y condiciones actuales. <b>MUESTRA:</b> Un tramo de río de 300 m de longitud de la cuenca baja del río Chillón, localizado en la progresiva Km 6+100 a Km 6+400 del río Chillón, en el sector de la Av. Malecón Chillón – Puente Piedra. <b>TECNICA:</b> el trabajo de investigación utilizará una técnica de observación directa a los hechos más relevantes. <b>INSTRUMENTO:</b> Se utilizará como instrumento o fichas de recolección de datos propuesto por el investigador.
¿Qué metodologías modernas son aplicables en el análisis de estabilidad de taludes para la propuesta de protección contra inundaciones en el Sector de la Av. Malecón Chillón - Puente Piedra, 2017?	Identificar qué metodologías modernas son aplicables en el análisis de estabilidad de taludes para la propuesta de protección contra inundaciones en el Sector de la Av. Malecón Chillón - Puente Piedra, 2017.	Las metodologías modernas son aplicables en el análisis de estabilidad de taludes para la propuesta de protección contra inundaciones en el Sector de la Av. Malecón Chillón - Puente Piedra, 2017.	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	
¿Qué características básicas ayudan a entender la estabilidad de la ribera del río en el Sector de la Av. Malecón Chillón – Puente Piedra, 2017?	Indicar qué características básicas ayudan a entender la estabilidad de la ribera del río en el Sector de la Av. Malecón Chillón – Puente Piedra, 2017.	Las características básicas del suelo ayudan a entender la estabilidad de la ribera del río en el sector de la Av. Malecón Chillón – Puente Piedra, 2017.	Sistemas de protección	Flexibles Rígidos Muro reforzado	
¿Qué tipo de material es recomendable utilizar en la propuesta de protección contra inundaciones en el sector de la Av. Malecón Chillón - Puente Piedra, 2017?	Evaluar qué tipo de material es recomendable utilizar en la propuesta de protección contra inundaciones en el sector de la Av. Malecón Chillón - Puente Piedra, 2017.	El tipo de material recomendado puede ser utilizado en la propuesta de protección contra inundaciones en el sector de la Av. Malecón Chillón – Puente Piedra, 2017.	Tipo de material para protección	Enrocados Gavión caja con colchon tipo reno	
			Modelos	Hidráulico Hidro lógico Estabilidad	

Fuente: Elaboración propia, 2018

## **Anexo 2: Fichas de recolección de datos**

FICHA DE RECOLECCION DE DATOS			
PROYECTO:			
AUTOR:			
FECHA:			EXPERTO
I. INFORMACION GENERAL			
UBICACIÓN:		LONGITUD:	
DISTRITO:		LATITUD:	
PROVINCIA:		ALTITUD:	
II. INFORMACION CLIMATOLOGICA DE LA ZONA:			
TEMPERATURA:		NUBOSIDAD:	
CLIMA:		VIENTOS:	
HUMEDAD:			
III. INFORMACION TOPOGRAFICA DE LA ZONA:			
PENDIENTE:		DESNIVELES:	
LONGITUD DE TRAMO:		COORDENADAS:	
IV. ESTUDIOS HIDROLOGICOS:			
CAUDAL MAXIMO:		CARACTERISTICAS DE LA CUENCA:	
PRECIPITACION :		NAPA FREATICA:	
V. METODOLOGIAS DE CALCULOS PARA ESTABILIZAR EL TALUD:			
METODO DE FELLENIUS		METODO DE SPENCER	
METODO DE BISHOP SIMPLIFICADO		METODO DE SARMA	
METODO DE JANBU		METODO DE MORGENSTERN Y PRICE	
VI. ESTUDIOS GEOTECNICOS			
GRANULOMETRIA		CLASIFICACION DE SUELOS	
LIMITES DE CONSISTENCIA		CALICATAS	
CORTE DIRECTO		OTROS	
VII. SISTEMA DE PROTECCION ACTUAL			
GAVIONES		ENROCADOS	
MUROS DE CONTENCION		OTROS TIPOS	
MUROS ANCLADOS			
VIII. MATERIALES PARA USO DE PROTECCION			
GEOTUBOS		MUROS DE CONCRETO	
GEOELDAS		GAVIONES CON MALLAS Y PIEDRA	
GEOBOLSAS		ENROCADOS U OTROS	
IX. DISEÑOS DE PROTECCION			
HIDRAULICO		ESTRUCTURAL	
X. FORMAS DE FALLA OBSERVADA			
EROSION		SOCAVACION	
DESIZAMIENTOS		LICUEFACCION	
Apellidos y nombres	PONCE FILIOS, JOSE LUIS		
Registro CIP N°	107402		
Profesion	ING. CIVIL		
Correo	jponcefeuev.edu.pe		
celular	999 201665		

OBSERVACIONES:

Estudio Geotecnico → HOMENAJE NATURAL  
MATERIALES PARA USO DE PROTECCION: GEOTEXTIL

Firma del experto



JOSE LUIS  
PONCE FILIOS  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 107402

FICHA DE RECOLECCION DE DATOS

PROYECTO:					
AUTOR:					
FECHA:					EXPERTO
I. INFORMACION GENERAL					1
UBICACIÓN:	LONGITUD:				
DISTRITO:	LATITUD:				
PROVINCIA:	ALTITUD:				
II. INFORMACION CLIMATOLOGICA DE LA ZONA:					1
TEMPERATURA:	NUBOSIDAD:				
CLIMA:	VIENTOS:				
HUMEDAD:					
III. INFORMACION TOPOGRAFICA DE LA ZONA:					7
PENDIENTE:	DESNIVELES:				
LONGITUD DE TRAMO:	COORDENADAS:				
IV. ESTUDIOS HIDROLOGICOS:					1
CAUDAL MAXIMO:	CARACTERISTICAS DE LA CUENCA:				
PRECIPITACION :	NAPA FREATICA:				
V. METODOLOGIAS DE CALCULOS PARA ESTABILIZAR EL TALUD:					1
METODO DE FELLENIOUS		METODO DE SPENCER			
METODO DE BISHOP SIMPLIFICADO		METODO DE SARMA			
METODO DE JANBU		METODO DE MORGENSTERN Y PRICE			
VI. ESTUDIOS GEOTECNICOS					7
GRANULOMETRIA		CLASIFICACION DE SUELOS			
LIMITES DE CONSISTENCIA		CALICATAS			
CORTE DIRECTO		OTROS			
VII. SISTEMA DE PROTECCION ACTUAL					7
GAVIONES		ENROCADOS			
MUROS DE CONTENCION		OTROS TIPOS			
MUROS ANCLADOS					
VIII. MATERIALES PARA USO DE PROTECCION					1
GEOTUBOS		MUROS DE CONCRETO			
GEOCELDAS		GAVIONES CON MALLAS Y PIEDRA			
GEOBOLSAS		ENROCADOS U OTROS			
IX. DISEÑOS DE PROTECCION					1
HIDRAULICO		ESTRUCTURAL			
X. FORMAS DE FALLA OBSERVADA					1
EROSION		SOCAVACION			
DESIZAMIENTOS		LICUEFACCION			
Apellidos y nombres	Castillo Velasco, Roberto Carlos				10
Registro CIP N°	67640				4
Profesion	Ingeniero Civil				
Correo	befus300@gmail.com				
celular	943918734				

OBSERVACIONES: Ninguno

Firma del experto



FICHA DE RECOLECCION DE DATOS			
PROYECTO:			
AUTOR:			
FECHA:			EXPERTO
I. INFORMACION GENERAL			
UBICACIÓN:		LONGITUD:	
DISTRITO:		LATITUD:	
PROVINCIA:		ALTITUD:	
II. INFORMACION CLIMATOLOGICA DE LA ZONA:			
TEMPERATURA:		NUBOSIDAD:	
CLIMA:		VIENTOS:	
HUMEDAD:			
III. INFORMACION TOPOGRAFICA DE LA ZONA:			
PENDIENTE:		DESNIVELES:	
LONGITUD DE TRAMO:		COORDENADAS:	
IV. ESTUDIOS HIDROLOGICOS:			
CAUDAL MAXIMO:		CARACTERISTICAS DE LA CUENCA:	
PRECIPITACION :		NAPA FREATICA:	
V. METODOLOGIAS DE CALCULOS PARA ESTABILIZAR EL TALUD:			
METODO DE FELLENIUS		METODO DE SPENCER	
METODO DE BISHOP SIMPLIFICADO		METODO DE SARMA	
METODO DE JANBU		METODO DE MORGENSTERN Y PRICE	
VI. ESTUDIOS GEOTECNICOS			
GRANULOMETRIA		CLASIFICACION DE SUELOS	
LIMITES DE CONSISTENCIA		CALICATAS	
CORTE DIRECTO		OTROS	
VII. SISTEMA DE PROTECCION ACTUAL			
GAVIONES		ENROCADOS	
MUROS DE CONTENCION		OTROS TIPOS	
MUROS ANCLADOS			
VIII. MATERIALES PARA USO DE PROTECCION			
GEOTUBOS		MUROS DE CONCRETO	
GEOELDAS		GAVIONES CON MALLAS Y PIEDRA	
GEOBOLSAS		ENROCADOS U OTROS	
IX. DISEÑOS DE PROTECCION			
HIDRAULICO		ESTRUCTURAL	
X. FORMAS DE FALLA OBSERVADA			
EROSION		SOCAVACION	
DESUZAMIENTOS		LICUEFACCION	
Apellidos y nombres	Carbanel Reyes Gabriel		
Registro CIP N°	48494		
Profesion	Eng Civil		
Correo	carbanel.gabriel@gmail.com		
celular	993453894		

Firma del experto

OBSERVACIONES:

Inc. Corres de nivel y Perfil Longitudinal  
 Estadística de los últimos 20 años  
 Evaluar alternativa Shotcrete

### **Anexo 3: Resultados de ensayos de suelos**

a) Contenido de humedad

Laboratorio de Mecánica de suelos y materiales



Solicitante: Alumno Orvik Erik Machco Perez  
 Proyecto: Analisis de Estabilidad de Taludes para la Proteccion contra Inundaciones en el Sector de la Av. Malecon Chillon - Puente Piedra - Lima  
 Ubicación: Distrito Puente Piedra - Lima  
 Fecha: Lima 17 de Abril de 2018

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D 2216					
Nº	PUENTE PIEDRA - LIMA	C - 1	C - 2	C - 2	C - 3
	MUESTRA	0,40-2,00	0,90-1,90	1,90-2,30	0,80-1,20
1	Peso recipiente + suelo humedo	1530,00	1331,00	1199,00	1136,00
2	Peso recipiente + suelo seco	1503,00	1308,00	1188,00	1065,00
3	Peso recipiente	433,00	445,00	444,00	440,00
4	Peso agua (1-2)	27,00	23,00	11,00	71,00
5	Peso Suelos seco (2-3)	1070,00	863,00	744,00	625,00
6	Humedad (4/5) * 100 (%)	2,52	2,67	1,48	11,36

  
 JULIO DIAZ GUTIERREZ

  
 UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL  
 Margarita Boza Olaechea  
 INGENIERA CIVIL  
 CIP. 80500

b) Análisis granulométrico por tamizado



Solicitante	ALUMNO ORVIK ERIK MACHCO PEREZ				Elaboró	J.E.D.G.
Obra	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES PARA LA PROTECCION CONTRA INUNDACIONES EN EL SECTOR DE LA AV. MALECON CHILLON				Revisó	J.E.D.G.
Ubicación	DISTRITO DE PUENTE PIEDRA - LIMA				Técnico	J.E.D.G.
Calicata	C-1	C-2	C-2	C-3	Fecha	ma. 17-04-18
Muestra	M-1	M-1	M-2	M-1		
Profundidad (m)	0,55	1,7	2,10	1,00		

Análisis Granulométrico por Tamizado - ASTM D 422

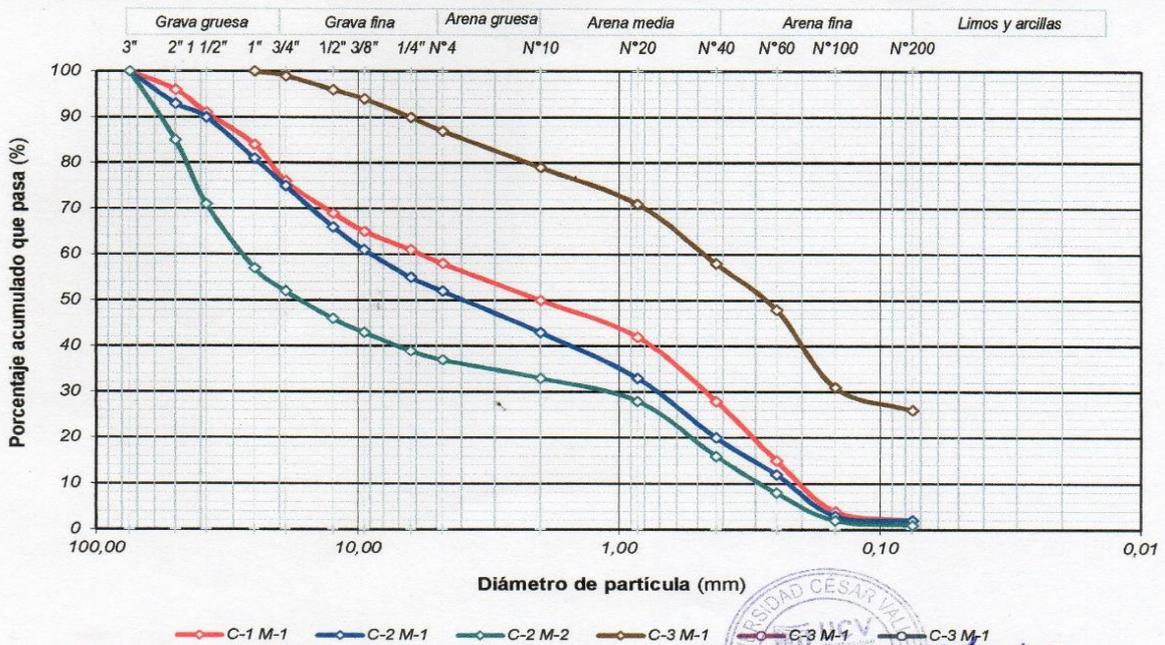
Tamiz (mm)	% Acumulado que pasa				
3"	75,00	100	100	100	
2"	50,00	96	93	85	
1 1/2"	38,10	91	90	71	
1"	25,00	84	81	57	100
3/4"	19,00	76	75	52	99
1/2"	12,50	69	66	46	96
3/8"	9,50	65	61	43	94
1/4"	6,30	61	55	39	90
N° 4	4,75	58	52	37	87
N° 10	2,00	50	43	33	79
N° 20	0,85	42	33	28	71
N° 40	0,425	28	20	16	58
N° 60	0,25	15	12	8	48
N° 100	0,15	4	3	2	31
N° 200	0,075	2	2	1	26

Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad - ASTM D 4318 (95)

Límite Líquido	NT	NT	NT	NT
Límite Plástico	NT	NT	NT	NT
Índice de Plasticidad	NP	NP	NP	NP

Clasificación de Suelos SUCS - ASTM D 2487 (93)

Clasificación	SP con grava	SP con grava	GP con arena	SM
---------------	--------------	--------------	--------------	----



Formato S04-04/18

*Julio Diaz*



*Margarita Boza Olaechea*  
INGENIERA CIVIL  
CIP. 80500

c) Ensayo de corte directo



Solicitante	ALUMNO ORVIK ERIK MACHCO PEREZ	Elaboró	J.E.D.G.
Proyecto	ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES PARA LA PROTECCION CONTRA INUNDACIONES EN EL SECTOR DE LA AV. MALECON CHILLON	Revisó	J.E.D.G.
		Técnico	J.E.D.G.
Ubicación	DISTRITO DE PUENTE PIEDRA - LIMA	Fecha	mi. 18-04-18
Calicata	C - 2		
Muestra	M - 1		
Profundidad (m)	0,90-1,90		

ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D - 3080			
Especimen :	A	B	C
Lado : (cm)	6,30	6,30	6,30
Altura : (cm)	2,20	2,20	2,20
Densidad Seca : (g/cm³)	1,79	1,79	1,79
Humedad Inicial : (%)	2,67	2,67	2,67
Humedad Saturado : (%)	11,11	10,97	11,21
Esfuerzo Normal : (kg/cm²)	0,50	1,00	1,50

Deformación Unitaria (ε-%)	Esfuerzo Cortante (kg/cm²)		
0,0	0,00	0,00	0,00
0,5	0,06	0,12	0,16
1,0	0,10	0,19	0,25
2,0	0,17	0,32	0,41
3,0	0,26	0,42	0,55
4,0	0,29	0,49	0,67
5,0	0,30	0,55	0,74
7,0	0,30	0,61	0,83
9,0	0,24	0,63	0,93
11,0	0,23	0,59	0,94
13,0	0,22	0,52	0,89
15,0	0,22	0,49	0,84

Angulo de Fricción Interna del Suelo  
Cohesion Aparente del Suelo

31,39 (°)  
0,020 (kg/cm²)

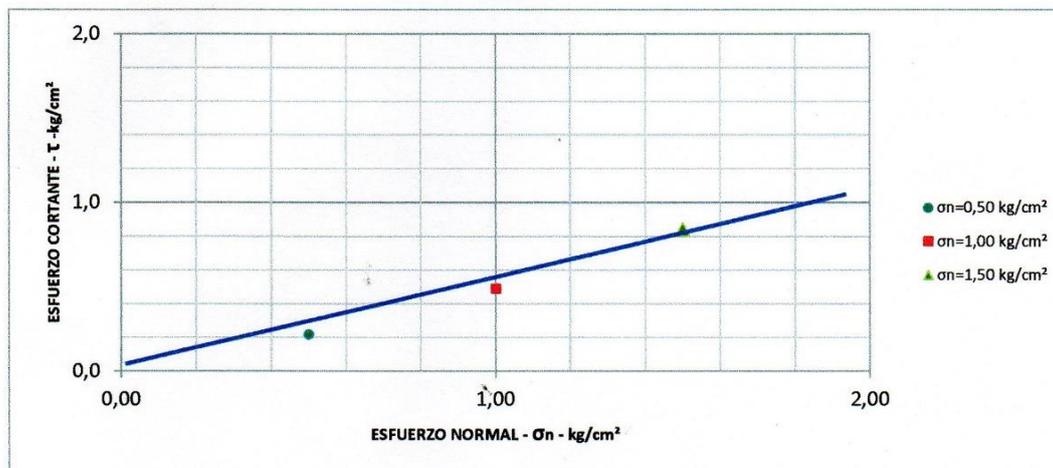
*Julio E. DRAZE*  
JULIO E. DRAZE

*Margarita Boza Olaechea*  
Margarita Boza Olaechea  
INGENIERA CIVIL  
CIP. 80500

Solicitante	ALUMNO ORVIK ERIK MACHCO PEREZ	Elaboró	J.E.D.G.
Proyecto	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES PARA LA PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES EN EL SECTOR DE LA AV. MALECON CHILLON	Revisó	J.E.D.G.
		Técnico	J.E.D.G.
Ubicación	DISTRITO DE PUENTE PIEDRA - LIMA	Fecha	mi. 18-04-18

ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D - 3080

Angulo de Friccion Interna del Suelo	31,39 (°)
Cohesion Aparente del Suelo	0,020 (kg/cm <sup>2</sup> )
Densidad Seca	1,79 (g/cm <sup>3</sup> )
Humedad Natural	2,67 (%)



Formato 05-10-17

*Jules Diaz C.*

*Margarita Boza*  
 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 INGENIERA CIVIL  
 CIP. 80500

## **Anexo 5: Documentos topográficos**

a) Certificado de calibración del quipo topográfico

**Survey Rental & Sales S.A.C.**

Dirección: Dos de Mayo #1664 - San Isidro  
 Teléfono: (511) 204-6430 / ENTEL: 093-526-869  
 Servicio Técnico: (511) 204-6440  
 Movistar RPM: #952 534 114  
 Sitio Web: www.surveymental.net

San Isidro - 10 Febrero 2016

N° 15762-16

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

A petición de NEGOCIOS FEVESA E.I.R.L., la empresa SURVEY RENTAL & SALES SAC, le expide el presente Certificado de Calibración por un (01):

**NIVEL AUTOMATICO MARCA LEICA  
 MODELO NA 720**

Con N° de serie 5672853, 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
GEOMAX ZOOM 35 PRO 1"	GEOMAX	2832282

Resultados:

Valor de Patrón	Valor Obtenido	Precisión	Error Medido
90° 00' 00"	90° 00' 00"	2.5 mm.	0.0mm.

Certificado Por:  
 Ing. José Quispe Peña  
 Supervisor de Laboratorio

**Survey Rental & Sales**  
 JOSE MANUEL QUISPE P  
 ELECTRONICO

Fecha Emisión:  
 10. Febrero 2016  
 Fecha Vencimiento:  
 10. Agosto 2016

Your authorized Distributor of **GEOMAX**  
 Part of Hexagon Group

**b) Información de puntos geodésicos**



**INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL**  
**DIRECCIÓN DE GEODESIA**



**DESCRIPCIÓN MONOGRAFICA**

<b>NOMBRE:</b> PUNTO - MPP1		<b>LOCALIDAD:</b> PUENTE PIEDRA		<b>ESTABLECIDA POR:</b> INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL	
<b>UBICACIÓN:</b> Parte externa del Pozo de Sedapal			<b>CARACTERÍSTICAS DE LA MARCA:</b> DISCO DE BRONCE DE 5 CM DIAMETRO		
<b>LATITUD ( S ) WGS-84:</b> 11°56'28.40509"			<b>LONGITUD ( W ) WGS-84:</b> 77°05'39.86966"		
<b>NORTE ( Y ) WGS-84:</b> 8679082.870			<b>ESTE ( X ) WGS-84:</b> 271908.584		
<b>ALTURA ELIPSOIDAL:</b> 141.719 m	<b>ELEVACION EGM2008</b> 117.968 m	<b>ZONA UTM:</b> 18	<b>FACTOR ESCALA COMBINADO:</b> 1.000221518	<b>ORDEN:</b> "C"	

**UBICACION**

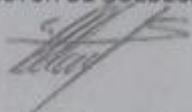




**DESCRIPCION:**  
El punto GNSS denominado "MPP1", se encuentra ubicado en el sector Cesar Vallejo - La Ensenada (en la parte Externa de del Pozo de Sedapal), localizado en el distrito Puente Piedra provincia y departamento de Lima

**MARCA DE ESTACION**  
Es un disco de bronce de 5 cm diámetro incrustado en un bloque de concreto de forma cuadrada de 0.20 x 0.20 x 0.40 m y a ras del suelo que lo circunda.

**Referencia:** Hoja 24-i Chancay Escala 1/100 000.

<b>DESCRITA POR:</b> 	<b>DIRECTOR DE GOEDESIA</b> 	<b>FECHA:</b>
Tco1 Tco/Ing O. Tito F	My EP.J. Llanos A.	nov-13



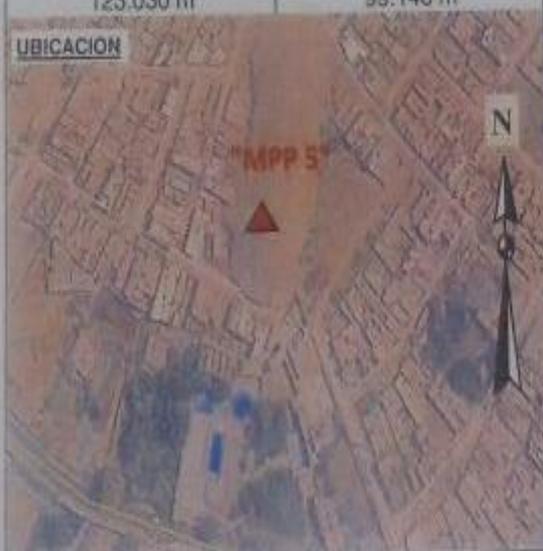
INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL  
DIRECCIÓN DE GEODESIA



DESCRIPCIÓN MONOGRAFICA

NOMBRE: MPP 5	LOCALIDAD: PUENTE PIEDRA	ESTABLECIDA POR: INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL		
UBICACION: ASOC VIV. VALLE CHILLON		CARACTERÍSTICAS DE LA MARCA: DISCO DE BRONCE DE 5 CM DIAMETRO		
LATITUD ( S ) WGS-84: S11°56'12.27823"		LONGITUD ( W ) WGS-84: O77°05'14.22821"		
NORTE ( Y ) WGS-84: 8679584.387 m		ESTE ( X ) WGS-84: 272680.852 m		
ALTURA ELIPSOIDAL: 123.030 m	ELEVACION EGM2008 99.146 m	ZONA UTM: 18	FACTOR ESCALA COMBINADO: 1.000239387	ORDEN: "C"

UBICACION



DESCRIPCION:

El punto GNSS denominado "MPP 5", se encuentra ubicado en el Asoc. De Vivienda Valle Chillon, localizado en el distrito Puente Piedra- provincia y departamento de Lima.

MARCA DE ESTACION

Es un disco de bronce de 5 cm diámetro incrustado en un bloque de concreto de forma cuadrada de 0.20 x 0.20 x 0.40 m y a ras del suelo que lo circunda.

Referencia: Hoja 24-i Chancay Escala 1/100 000.

DESCRITA POR: 	DIRECTOR DE GOEDESIA 	FECHA:
SO2 EP JHERSON FLORES ROJAS	MY EP JULIO LLANOS ALBERCA	oct-13

## **Anexo 6: Cargos de documentación**

a) Documento para solicitar laboratorio de suelos



SOLICITO: ACCESO AL LABORATORIO DE ENSAYO  
DE MATERIALES

A LA SEÑORA JEFA DE LABORATORIO DE APOYO TÉCNICO Y ACADÉMICO,  
LIC. LILA TAPIA NUÑEZ:

Yo, Orvik Erik Machco Perez, alumno de la facultad de ingeniería civil de la Universidad Cesar Vallejo Lima Norte, identificado con código de alumno N° 6700251111, me dirijo a usted para saludarle cordialmente y manifestarle:

Que, cursando el décimo ciclo y en pleno Desarrollo de mi Proyecto de Investigación, titulado: "ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES PARA LA PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES EN EL SECTOR DE LA AV. MALECON CHILLON – PUENTE PIEDRA, 2017", solicito la autorización para el uso del laboratorio de ensayo de materiales para poder realizar los siguientes ensayos: contenido de humedad, análisis granulométrico por tamizado, límites de Atterberg y ensayo de corte directo. Para poder proseguir con el Desarrollo de mi Proyecto de Investigación.

POR TANTO:

Sin nada más que expresar, me despido y le doy anticipadamente las gracias por acceder a mi solicitud.

Lima, 17 de Marzo del 2018.

  
Sr. Orvik Erik Machco Perez  
DNI N° 77335470

*Oemachco@gmail.com*  
*965199054*  
*erick\_ames\_95@hotmail.com*



**b) Documento para el Senamhi**

CARGO



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

BODAS DE PLATA

Lima, 11 de junio del 2018

**CARTA DE PRESENTACIÓN N° 0088-2018-UCV-L-DA-ING-CIV/DE**

Señores  
SENAMHI  
Presente.-

Atención: Solicitud de información de  
datos meteorología.

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 EP. De Ingeniería Civil, y a la vez presentarle al estudiante, **MACHCO PEREZ, ORVIK ERIK** identificado con código N°6700251111 y DNI 77335470 estudiante del X ciclo de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil; quien se encuentra desarrollando su proyecto de investigación titulada "*Análisis de Estabilidad de Taludes para la Protección Contra Inundaciones en el sector de la av. Malecón Chillón- Puente Piedra, 2017f*".

En tal sentido, mucho agradeceré brindar las facilidades para obtener información sobre de los datos meteorológicos de la zona de estudio. .

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

Cordialmente,

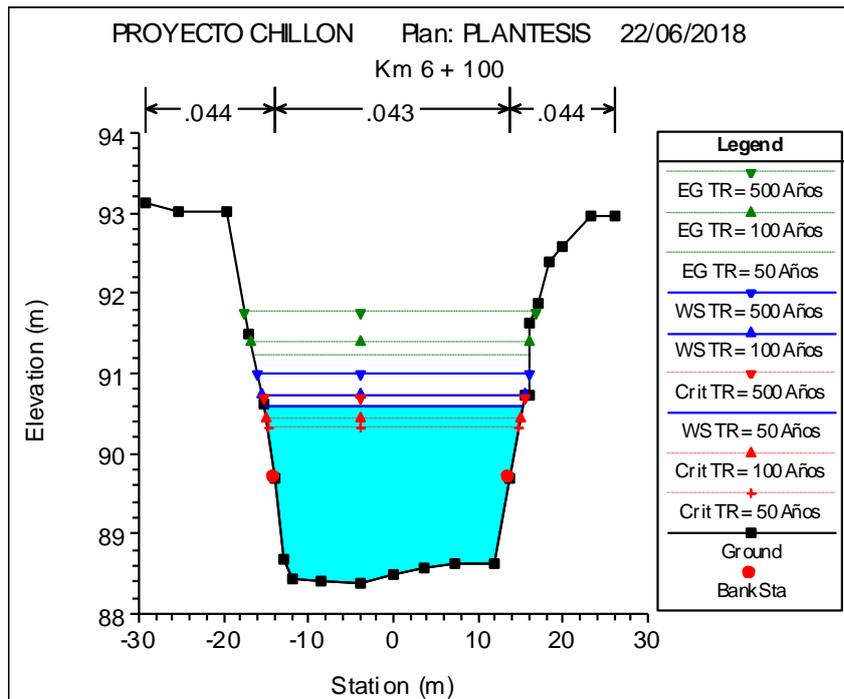


*Lilia Rosa Carbajal Reyes*  
Mg. Lilia Rosa Carbajal Reyes  
**Coordinadora de la  
EP de Ingeniería Civil**

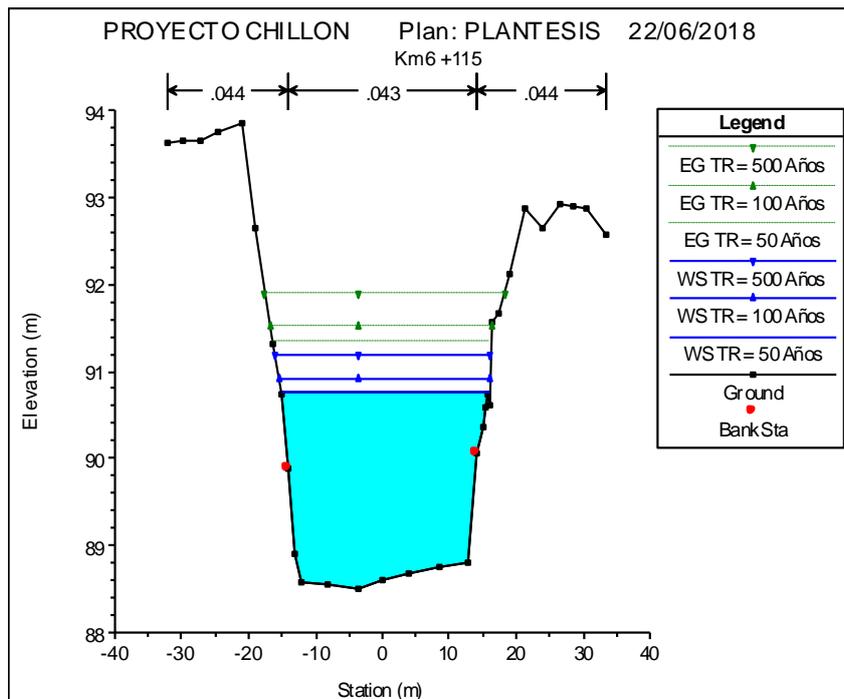


UCV.EDU.PE

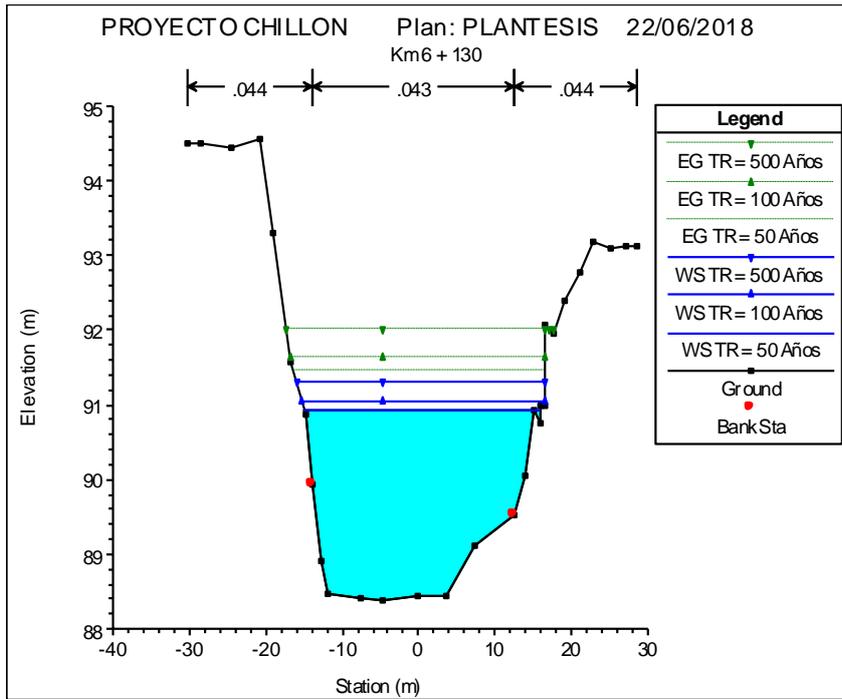
**Anexo 7: Resultados del programa Hec - Ras**



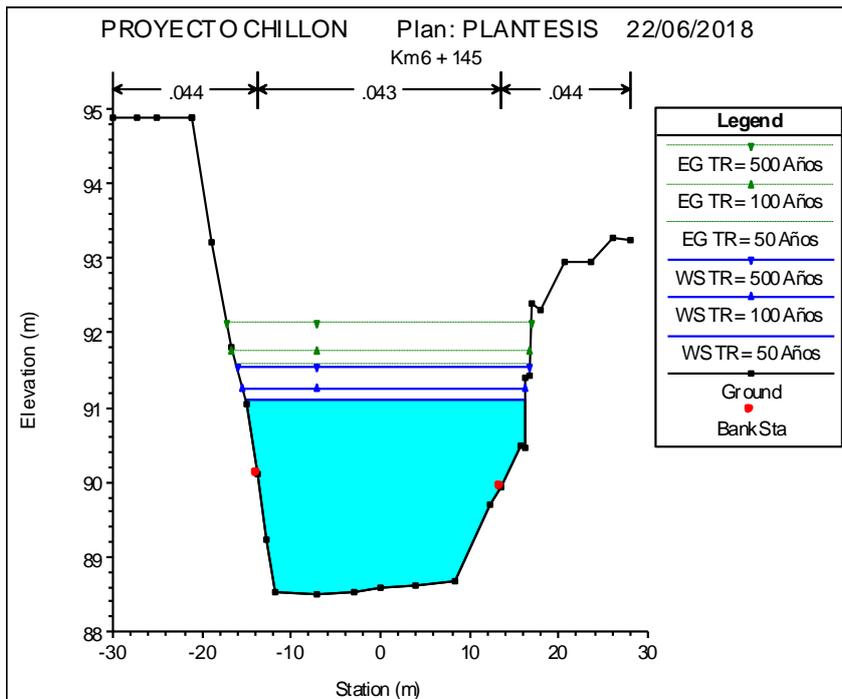
Sección 01  
(Fuente: Imagen propia, 2018)



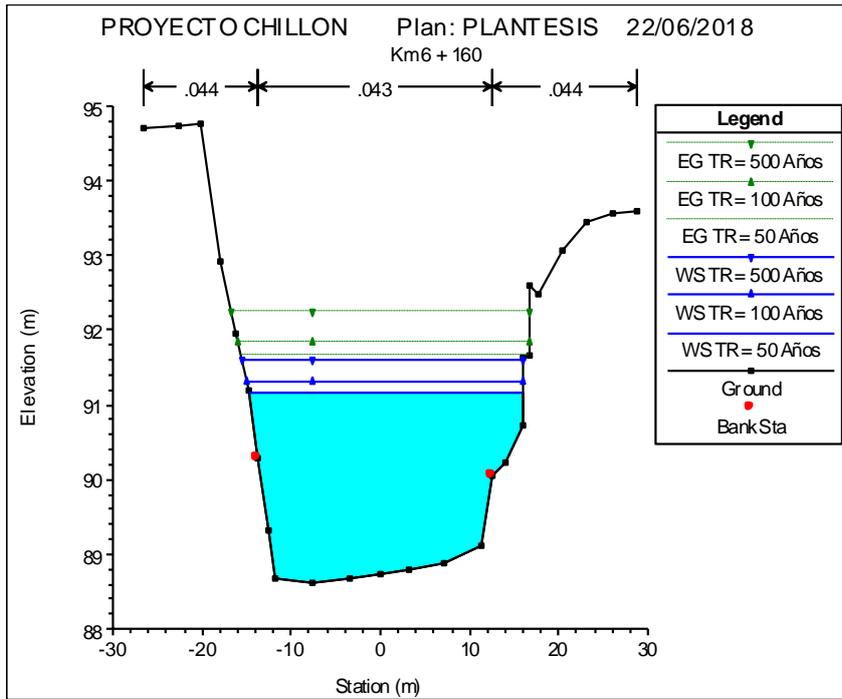
Sección 02  
(Fuente: Imagen propia, 2018)



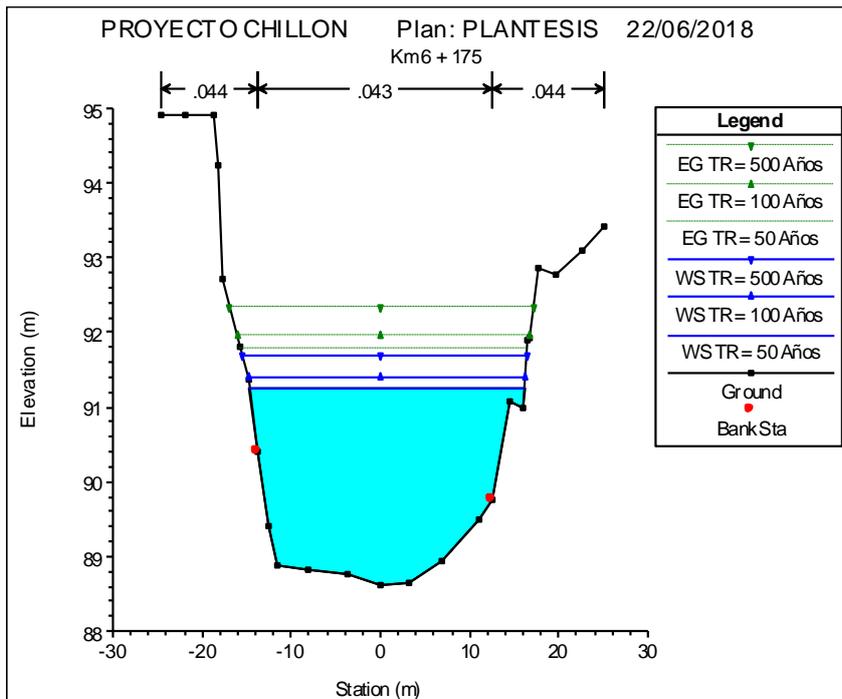
Sección 03  
(Fuente: Imagen propia, 2018)



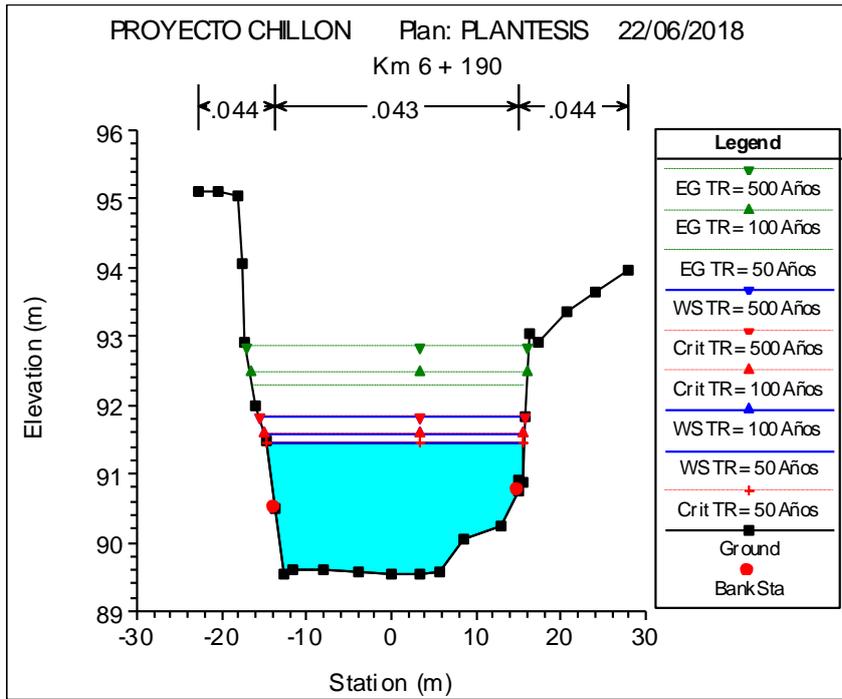
Sección 04  
(Fuente: Imagen propia, 2018)



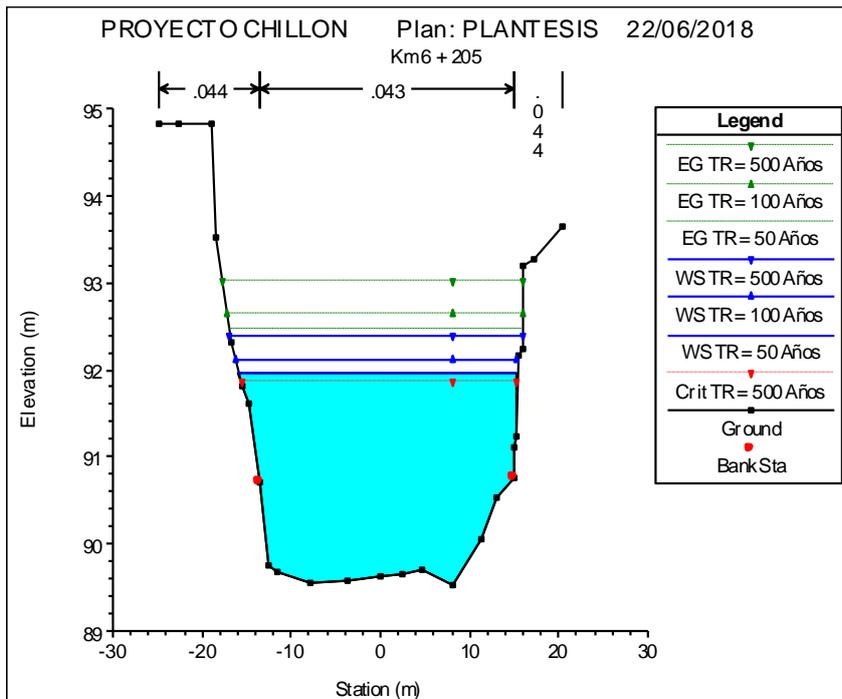
Sección 05  
(Fuente: Imagen propia, 2018)



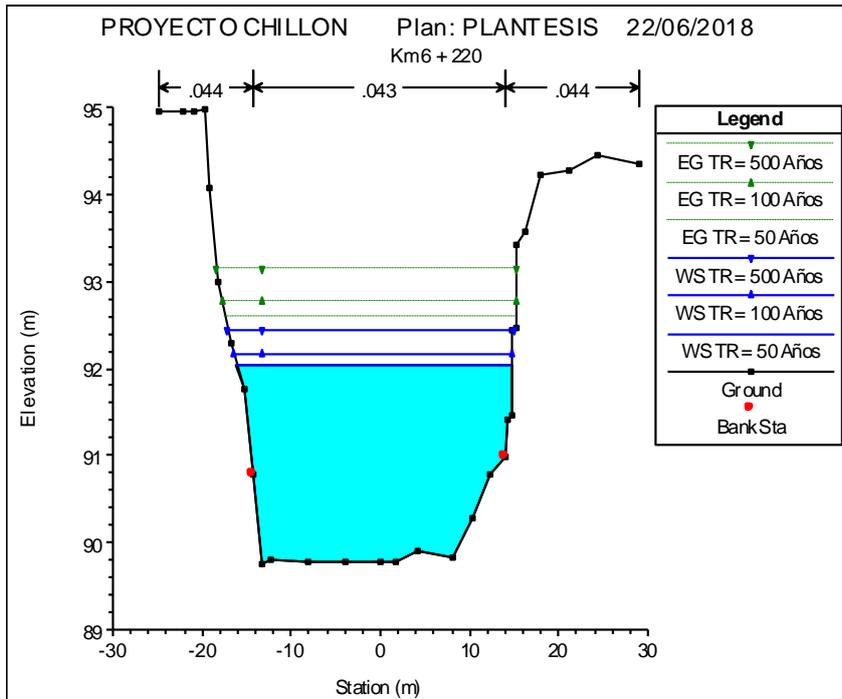
Sección 06  
(Fuente: Imagen propia, 2018)



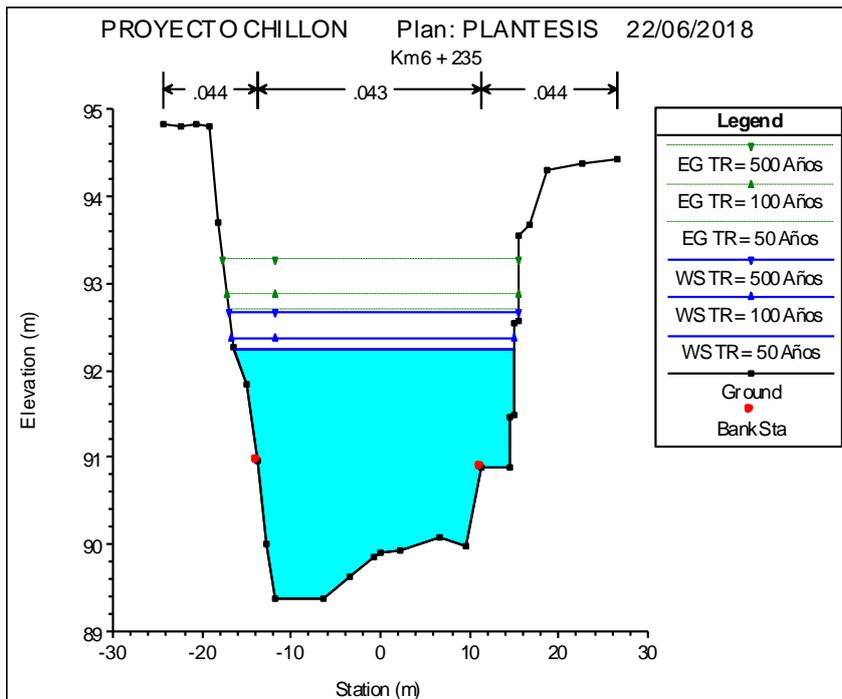
Sección 07  
(Fuente: Imagen propia, 2018)



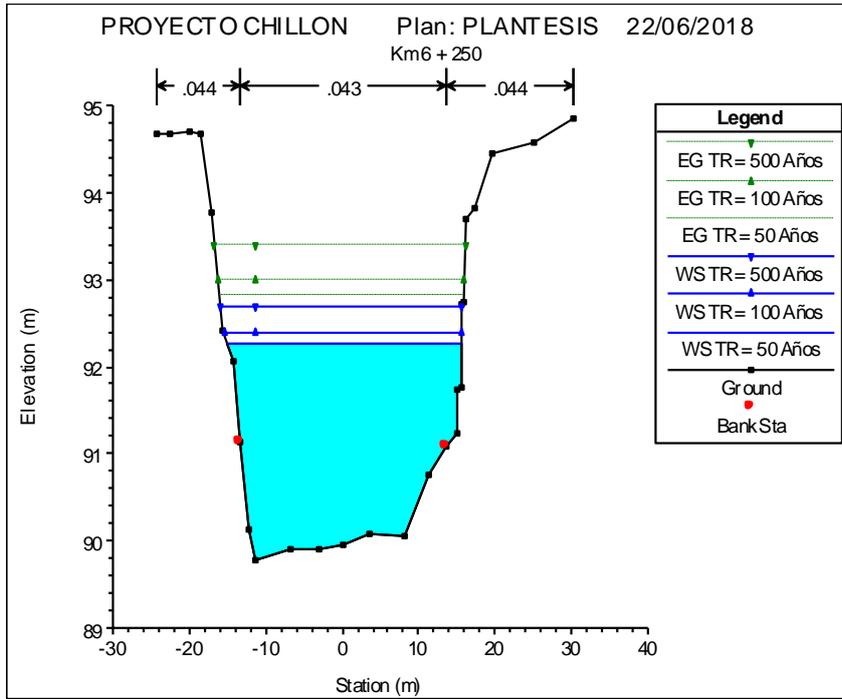
Sección 08  
(Fuente: Imagen propia, 2018)



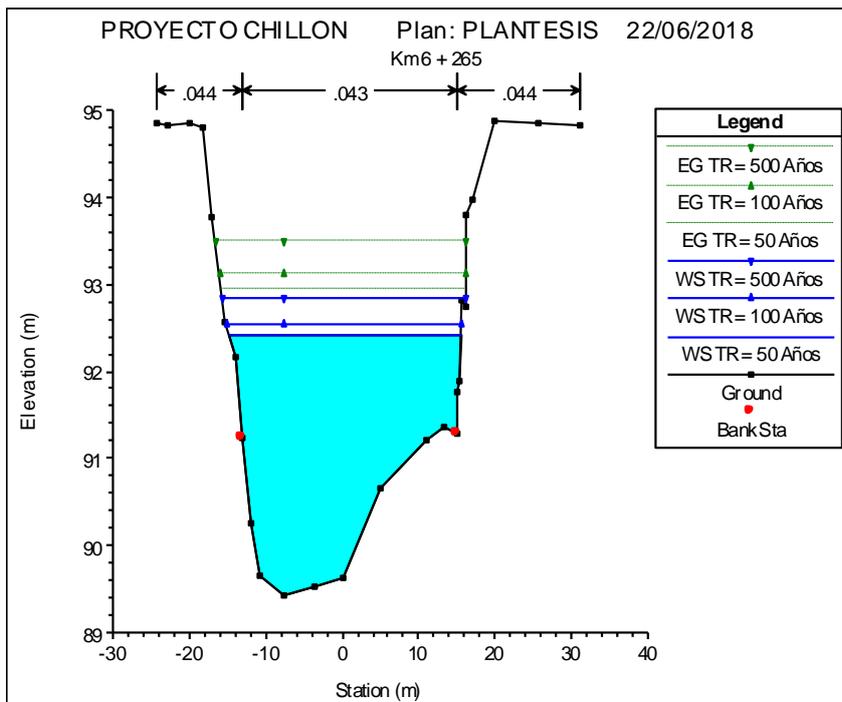
Sección 09  
(Fuente: Imagen propia, 2018)



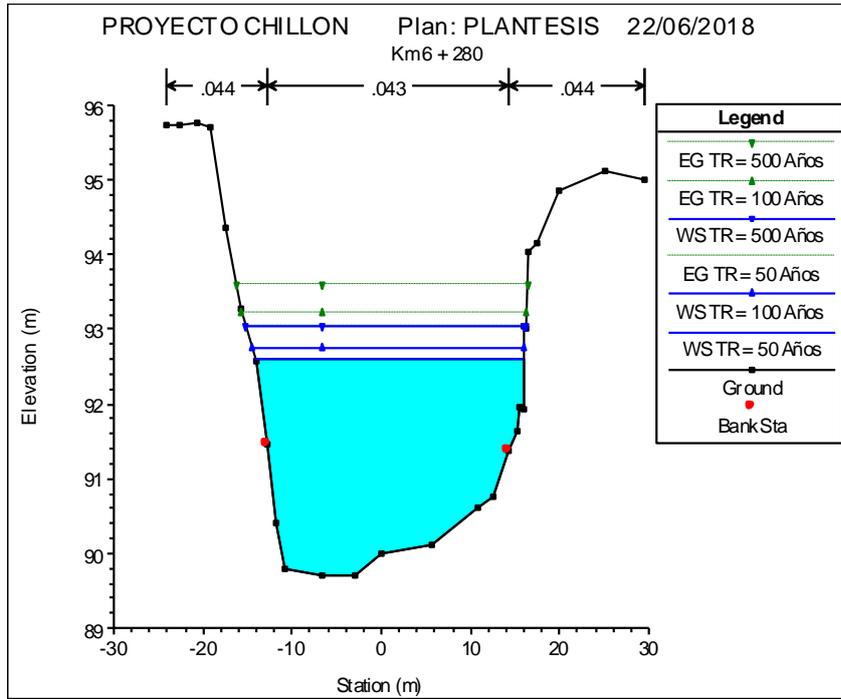
Sección 10  
(Fuente: Imagen propia, 2018)



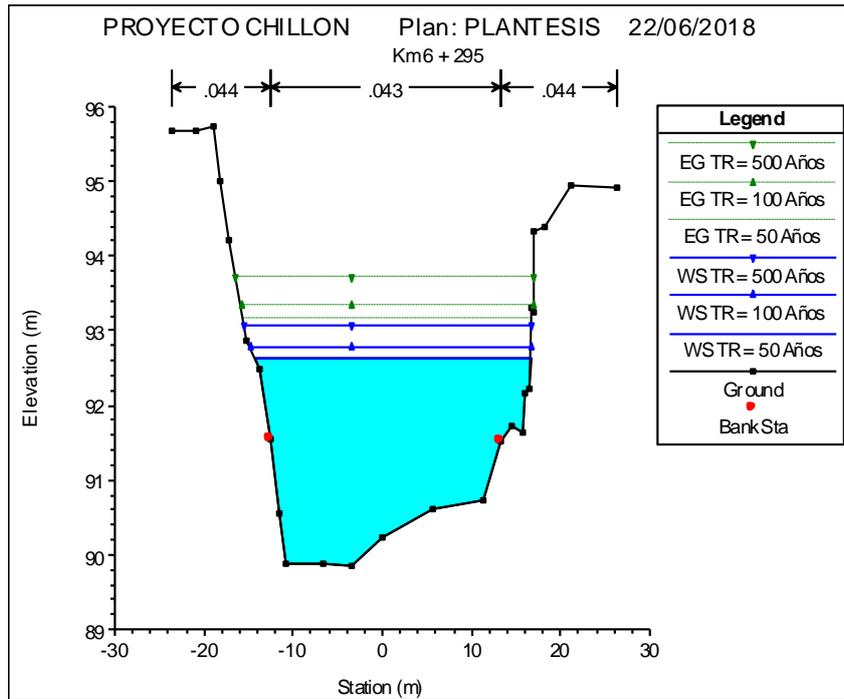
Sección 11  
(Fuente: Imagen propia, 2018)



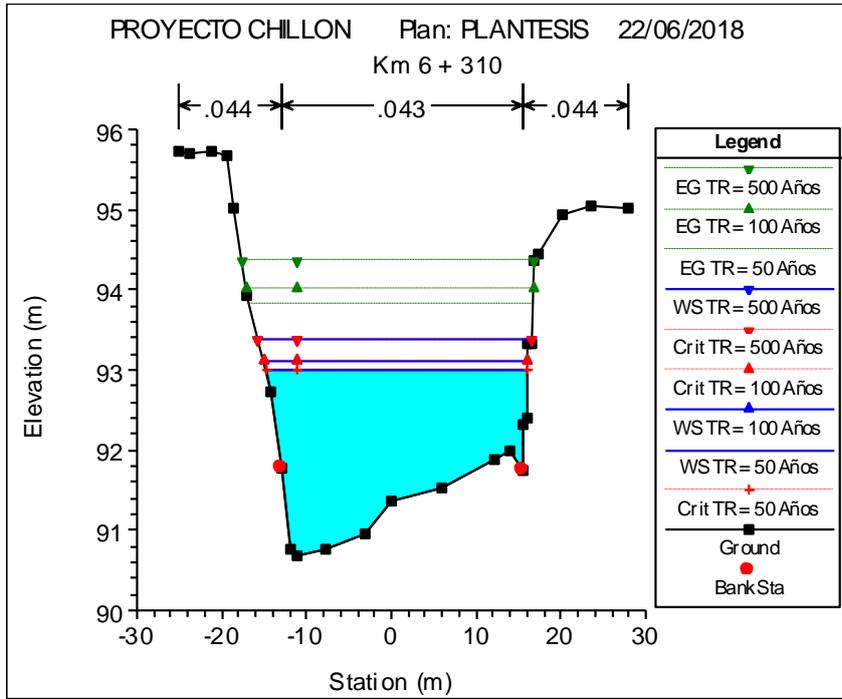
Sección 12  
(Fuente: Imagen propia, 2018)



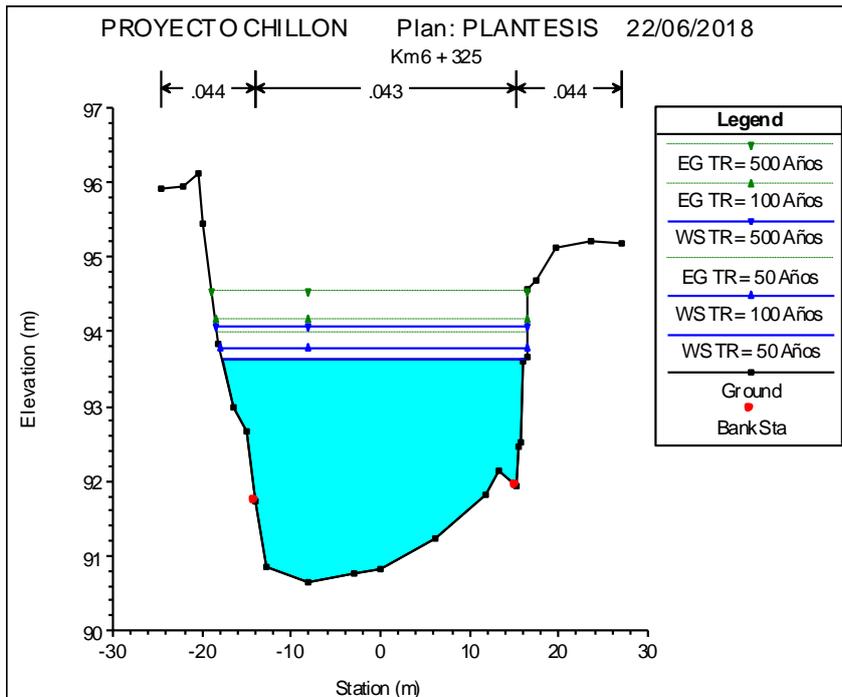
Sección 13  
(Fuente: Imagen propia, 2018)



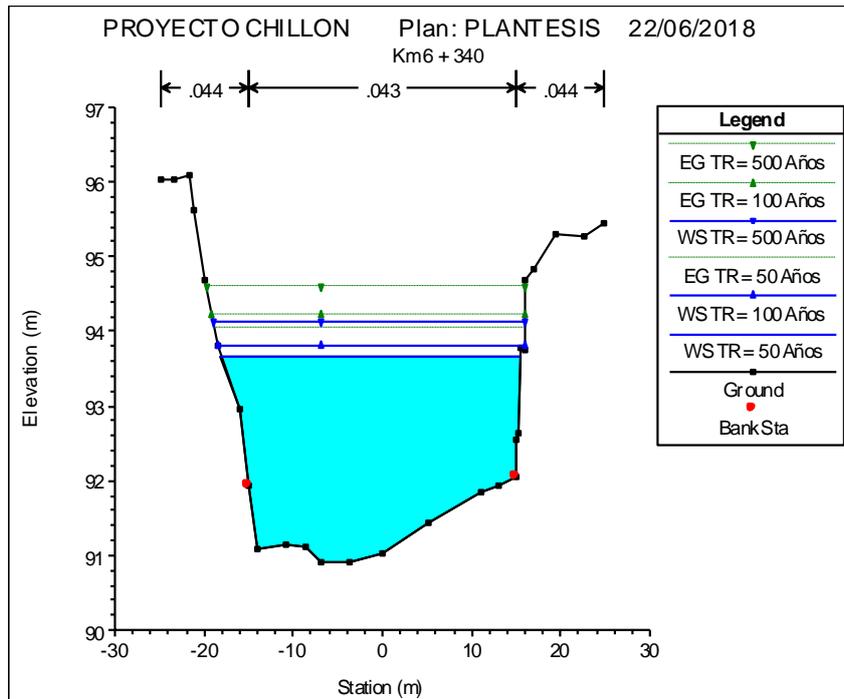
Sección 14  
(Fuente: Imagen propia, 2018)



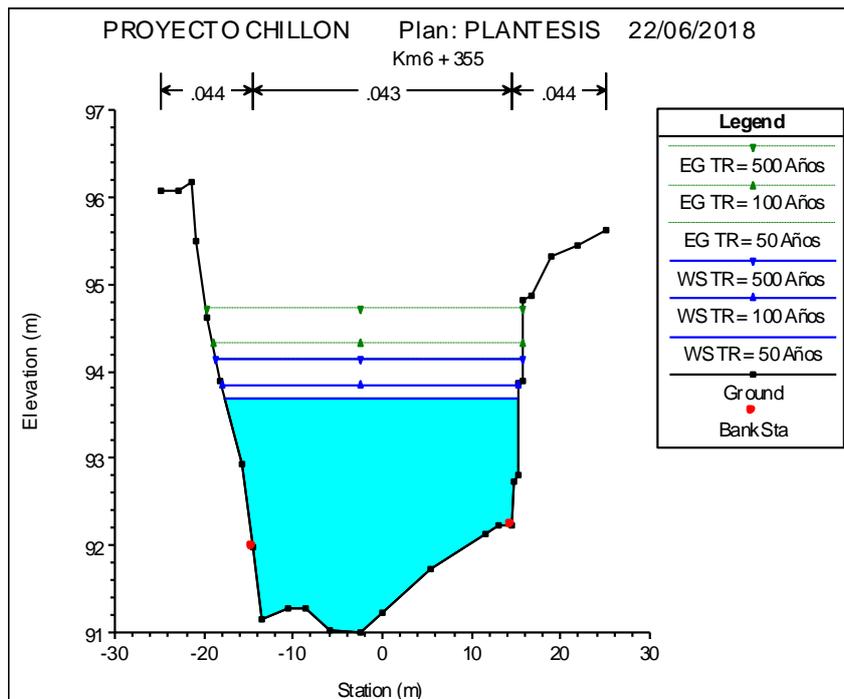
Sección 15  
(Fuente: Imagen propia, 2018)



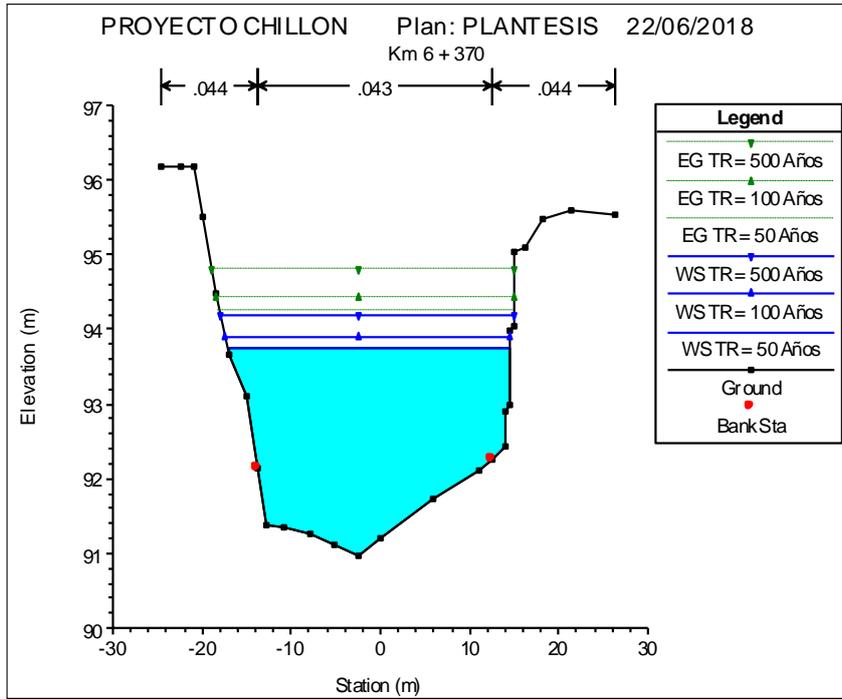
Sección 16  
(Fuente: Imagen propia, 2018)



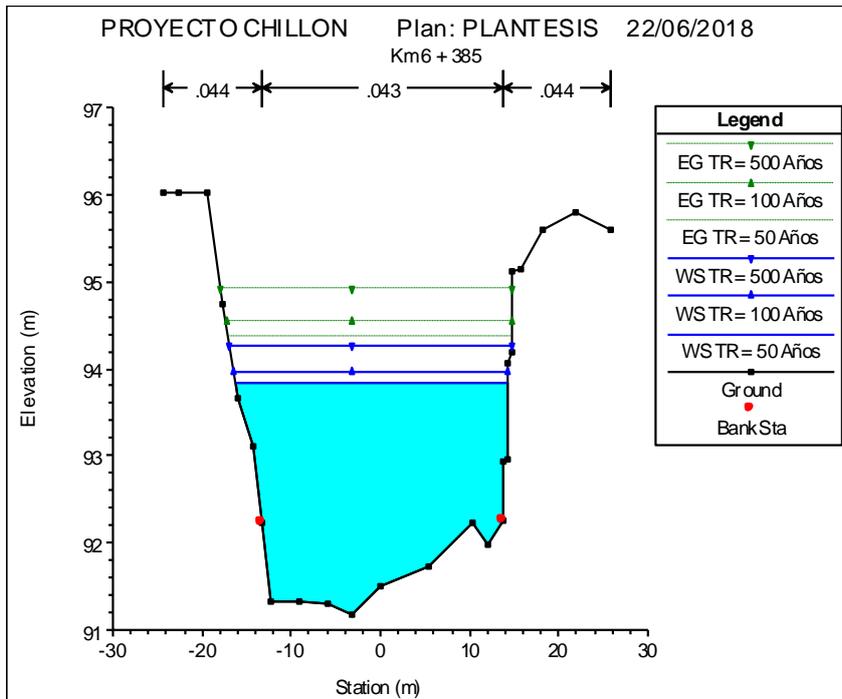
Sección 17  
(Fuente: Imagen propia, 2018)



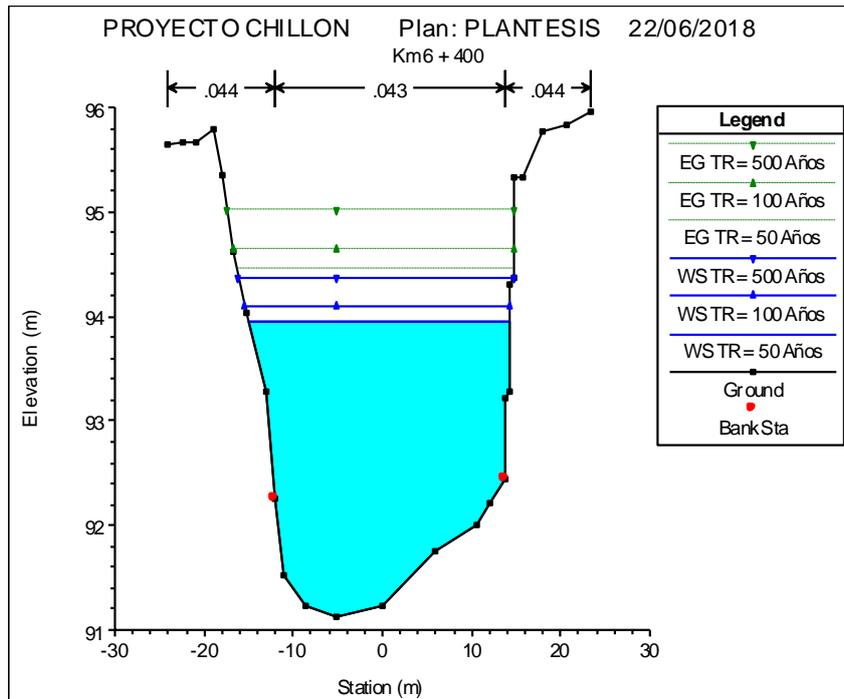
Sección 18  
(Fuente: Imagen propia, 2018)



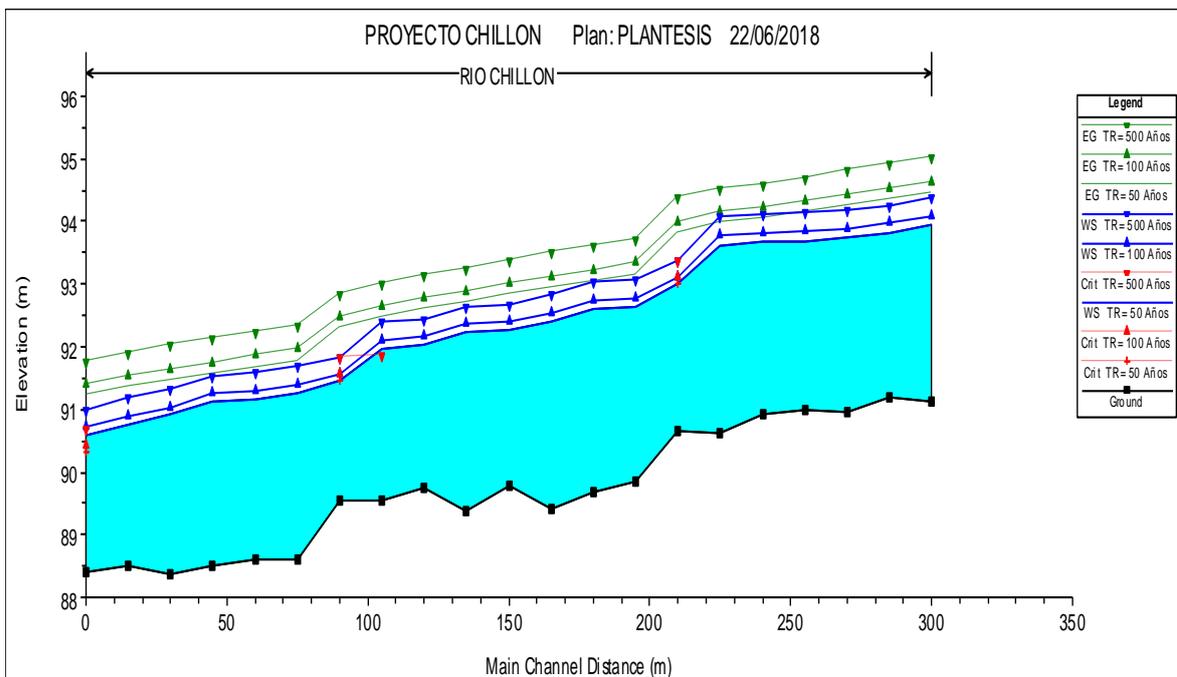
Sección 19  
(Fuente: Imagen propia, 2018)



Sección 20  
(Fuente: Imagen propia, 2018)



Sección 21  
(Fuente: Imagen propia, 2018)



Perfil longitudinal del tramo de análisis en el río Chillón  
(Fuente: Imagen propia, 2018)

## **Anexo 8: Panel fotográfico**



**Figura 59.** Levantamiento topográfico de la zona de estudio.

(Fuente: Imagen propia, 2017)



**Figura 60.** Calicatas en la zona de estudio. (Fuente: Imagen propia, 2018)

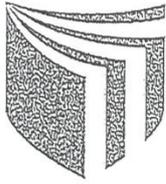


**Figura 61.** Ensayo granulométrico por tamizado. (Fuente: Elaboración propia, 2018)



**Figura 62.** Ensayo de corte directo. (Fuente: Elaboración propia, 2018)

**Anexo 9: Actas y resultado del turnitin**



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE  
*La Escuela de Ingeniería Civil*

---

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

*MACHICO PÉREZ, ORVIK ERIK*

INFORME TÍTULADO:

*ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES PARA LA  
PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES EN EL SECTOR DE CP  
MU. MADERAM CHILLÓN - PUENTE BARRA, 2017*

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

*Ingeniero Civil*

---

SUSTENTADO EN FECHA:

*17/07/2018*

NOTA O MENCIÓN :

*14 (CONTRAE)*



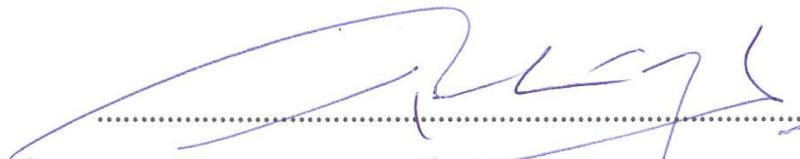
*[Signature]*  
Firma del Coordinador de Investigación de  
Ingeniería Civil

Yo, Mg. Ing. Ruben Esau Mogrovejo Gutierrez, docente de la Facultad de Ingeniería y Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad César Vallejo Lima Norte (precisar filial o sede), revisor(a) de la tesis titulada:

"Análisis de estabilidad de taludes para la protección contra inundaciones en el sector de la Av. Malecón Chillón – Puente Piedra, 2017" del (de la) estudiante Machco Perez, Orvik Erik constato que la investigación tiene un índice de similitud de 24% verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El/la suscrito (a) analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

Lugar y fecha..... *pu/07/18*



Firma

Nombres y apellidos del (de la) docente

DNI: *10623893*

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Responsable de SGC	Aprobó	Vicerrectorado de Investigación
---------	----------------------------	--------	--------------------	--------	---------------------------------



**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE  
TESIS EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL  
UCV**

Código : F08-PP-PR-02.02  
Versión : 09  
Fecha : 23-03-2018  
Página : 1 de 1

Yo Machco Perez, Orvik Erik, identificado con DNI N° 77335470, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad César Vallejo, autorizo ( x ), No autorizo ( ) la divulgación y comunicación pública de mi trabajo de investigación titulado "Análisis de estabilidad de taludes para la protección contra inundaciones en el sector de la Av. Malecón Chillón – Puente Piedra, 2017"; en el Repositorio Institucional de la UCV (<http://repositorio.ucv.edu.pe/>), según lo estipulado en el Decreto Legislativo 822, Ley sobre Derechos de Autor, Art. 23 y Art. 33

Fundamentación en caso de no autorización:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

  
FIRMA

DNI: 77335470

FECHA: 14 de Julio del 2018

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Responsable de SGC	Aprobó	Vicerrectorado de Investigación
---------	----------------------------	--------	--------------------	--------	---------------------------------

