



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
**“Evaluación de Sistemas Avanzados de Contención con  
Cimentaciones Profundas para la Estabilización del Talud en el  
Lecho del Rio Rímac-Lima”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Civil

**AUTORES:**

Carbajal Zarate, Manuel Angel (ORCID:0000-0002-2738-3967)

Perez Villena, Jancarlo Martin (ORCID:0000-0001-7116-3868)

**ASESOR:**

PhD. Suarez Alvites, Alejandro (ORCID:0000-0002-9397-057X)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de Infraestructura Vial

LIMA – PERÚ

2020

## **Dedicatoria**

A Dios, por su infinita gracia, a mis padres a quiénes les debo todo lo que soy, a mi mamá por ayudarme a construir mis sueños, por ser una mujer excepcional, por estar siempre a mi lado por apoyarme en cada momento de mi carrera universitaria y en mi vida personal. A mis hermanas por su apoyo incondicional y por sus buenos consejos

## **Agradecimiento**

A la universidad César Vallejo por su acogida especialmente a la escuela de ingeniería civil, a los docentes, ingenieros, consultores y proyectistas quiénes fueron un gran aporte para mí vida universitaria. Y a todos los que me apoyaron en este proyecto especialmente a mi familia.

## Índice de contenidos

Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	v
índice de figuras .....	vi
Resumen.....	vii
Abstract .....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	5
III. METODOLOGÍA .....	15
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	16
3.2. Variable y operacionalización .....	16
Variable Dependiente .....	16
Variable Independiente.....	16
3.3. Población, muestra y muestreo .....	16
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	17
3.5. Procedimientos.....	17
3.6. Método de análisis de datos .....	17
3.7. Aspectos éticos.....	18
IV. RESULTADOS.....	19
V. DISCUSIÓN .....	46
VI. CONCLUSIONES .....	51
IV. RECOMENDACIONES .....	53
REFERENCIAS .....	55
ANEXOS.....	59

## Índice de tablas

Tabla 1: Caracterización geotécnica de los materiales. Sección 5+920.....	22
Tabla 2: Caracterización geotécnica de los materiales. Sección 6+000.....	22
Tabla 3: Parámetros de resistencia de la grava de Lima.....	23
Tabla 4: Parámetros geotécnicos del modelo Mohr-Coulomb.....	24
Tabla 5: Coeficientes sísmicos para la estabilidad de taludes en condiciones pseudo-estáticas para el proyecto Vía Expresa Línea Amarilla.....	25
Tabla 6: Valores de factor de seguridad mínimo recomendados para la estabilidad de taludes del proyecto Vía Expresa Línea Amarilla.....	25
Tabla 7: Factores de seguridad en taludes que no involucran estructuras importantes.....	26
Tabla 8: Caudal máximo instantáneo ( $m^3/s$ ).....	27
Tabla 9: Caracterización pantalla de pilotes.....	30
Tabla 10: Caracterización de anclaje.....	31
Tabla 11: Resumen de los esfuerzos obtenidos en cada sección.....	33
Tabla 12: Dimensionamiento de anclajes.....	34
Tabla 13: Factores de seguridad tomando en cuenta el potencial de socavación del lecho del río.....	36
Tabla 14: Factor de seguridad tomando en cuenta el aumento del área socavada del pie del talud.....	36
Tabla 15: Superficies de falla en la condición de socavamiento al pie del talud – Caso estático.....	37
Tabla 16: Superficies de falla en la condición de socavamiento al pie del talud - Caso pseudo-estático.....	39
Tabla 17: Superficies de falla en la condición de socavamiento en el lecho del río – Caso estático.....	41
Tabla 18: Superficies de falla en la condición de socavamiento en el lecho del río – Caso pseudo-estático.....	42

## índice de figuras

Figura 1: Circulo de Mohr – Coulomb. ....	11
Figura 2: Envolvente de falla de Mohr Coulomb. ....	12
Figura 3: Anclajes activos y pasivos. ....	12
Figura 4: Colocación de Pilotes para la estabilización del talud vertical. ....	13
Figura 5: Corte directo a gran escala in situ (a), instrumento de ensayo de corte directo (b).....	14
Figura 6: Fotografía elaborada con datos de Google Earth Pro.....	20
Figura 7: Talud sin reforzamiento sección: 5+920 (a). Talud con reforzamiento sección: 5+920 (b).....	28
Figura 8: Cuña de rotura a 50°, basado en el cálculo del factor de seguridad sección: 5+920 (c); cuña de rotura a 50°, en cálculo del factor de seguridad sección: 6+000 (d).....	32
Figura 9: Socavación del lecho del río (e), derecha: Socavación del pie del talud (f). ....	35
Figura 10: Simulación de las fallas del talud comparadas entre el método Janbu Corrected (columna izquierda) y Spencer (columna derecha). Fotografía elaborada con datos del Software SLIDE 6.0. ....	38
Figura 11: Simulación de las fallas del talud comparadas entre el método Janbu Corrected (columna izquierda) y Spencer (columna derecha). Fotografía elaborada con datos del Software SLIDE 6.0. ....	40
Figura 12: Simulación de las fallas del talud comparadas entre el método Janbu Corrected (columna izquierda) y Spencer (columna derecha). Fotografía elaborada con datos del Software SLIDE 6.0. ....	42
Figura 13: Simulación de las fallas del talud comparadas entre el método Janbu Corrected (columna izquierda) y Spencer (columna derecha). Fotografía elaborada con datos del Software SLIDE 6.0. ....	43

## Resumen

Este trabajo de investigación deriva del proyecto vía expresa línea amarilla, calzada derecha que se ubica en la pk 5+920 hasta la pk 6+000 de la ribera del río Rímac. El propósito de este trabajo de investigación es evaluar las condiciones de estado del talud vertical expuesto a socavación en el pie del lecho del río Rímac, así mismo realizar estudios geotécnicos para el reforzamiento del talud con sistemas avanzados que cumplan con los estándares de factor de seguridad nacional e internacional para la estabilidad del talud, ya que se encuentra en estado de socavación por el aumento del caudal del río en tiempos de lluvia por los meses de diciembre hasta marzo, por tal razón se ha llegado a realizar estudios de mecánica de suelos, corte directo a gran escala y se ha adquirido nuevos sistemas avanzados para la contención y el reforzamiento del talud, el sistema que se ha evaluado e implementado es la colocación de pilotes con una profundidad de 19 metros desde la parte superior del talud y anclajes activos inclinados de 26 metros de profundidad en la parte frontal del talud para menguar los efectos de posibles eventos naturales o externos que hacen posible el deslizamiento del material propio del talud. así mismo se trabajó con el programa Slide, que utiliza el método de equilibrio límite para obtener los factores mínimos de seguridad requeridos en este proyecto, también se determinó el dimensionamiento de los componentes de reforzamiento para la estabilidad del talud. Por tal motivo este trabajo de investigación propone evaluar sistemas avanzados de contención para taludes en algunos tramos del lecho del río Rímac. se concluyó que el estudio de suelos obtuvo como resultado, parámetros que tienen relación significativa en la granulometría, los ángulos de fricción intrínseco y ángulo de dilatación, así mismo el resultado dio como respuesta que la socavación produce una consecuencia de inestabilidad en el talud, por tal medida se justificó la importancia de implementar acciones de reforzamiento del talud.

**Palabras claves:** equilibrio límite, grava de lima, elementos de reforzamiento (pilotes, anclajes).

## Abstract

This research work derived from the project vía the yellow line expressway, right carriageway located at station 5+920 to station 6+000 on the banks of the Rímac River. The purpose of this research work is to evaluate the state conditions of the vertical slope exposed to scour at the foot of the Rímac river bed, as well as to carry out geotechnical studies for the reinforcement of the slope with advanced systems that meet the safety factor standards. national and international for the stability of the slope, since it is in a state of undermining due to the increase in the flow of the river in times of rain during the months of December to March, for this reason soil mechanics studies have been carried out, direct cutting on a large scale and new advanced systems have been acquired for the containment and reinforcement of the slope, the system that has been evaluated and implemented is the placement of piles with a depth of 19 meters from the top of the slope and inclined active anchors 26 meters deep in the front part of the slope to reduce the effects of possible natural or external events that make possible slippage of the material of the slope. Likewise, I know how to work with the Slide program, which uses the limit equilibrium method to obtain the minimum safety factors required in this project. The dimensioning of the reinforcement components for the stability of the slope was also determined.

For this reason, this research work proposes to evaluate advanced containment systems for slopes in some sections of the Rímac river bed. It was concluded that the soil study obtained as a result, parameters that have a significant relationship in the granulometry, the intrinsic friction angles and the dilation angle, likewise the result gave as an answer that the scour produces a consequence of instability in the slope, for This measure justified the importance of implementing actions to reinforce the slope.

**keywords:** limit balance, lime gravel, reinforcement elements (piles, anchors).



## **I. INTRODUCCIÓN**

Duncan, Wright & Brandon (2014) nos explicaron que la pendiente del talud está en un estado de equilibrio limitante simplemente estable. Los procedimientos utilizados para realizar tales cálculos se conocen como equilibrio límite la resistencia al corte puede ser expresada por la ecuación de Mohr-Coulomb, si la resistencia al corte se expresa en términos del total de tensiones. (p. 81).

Aryanti, Eveny, Tulus & Saptono (2018) mencionan que la pendiente de un terreno tiene un cierto ángulo con respecto al plano horizontal. La estabilidad de la pendiente depende de la magnitud de la fuerza de retención y a la fuerza motriz presente en el deslizamiento. La característica de la masa del suelo se determina mediante pruebas de laboratorio del método de perforación del núcleo (calicatas), realizado para determinar la condición del subsuelo en el área de estudio. La valoración de la pendiente estas basado en el método de equilibrio límite con la comparación de los métodos Bishop, Janbu y Spencer usando el programa SLIDE 6.0.

Agam, Hashim, Murad & Zabidi (2016) desarrollaron los valores geotécnicos a utilizar para establecer el valor mínimo y máximo de los paramentos en el software SLIDE 6.0. Por debajo del método de Mohr-Coulomb del criterio de falla, también se procedió con los métodos de Spencer y General Limit Equilibrium de cortes en el análisis para determinar la influencia de valores variables de parámetros con el cambio del factor de seguridad. Así mismo las diferencias porcentuales en los factores de seguridad obtenidos por ambos métodos basados en el método de equilibrio limite general. También se determina el nivel freático del talud.

Georgiadis, Georgiadis & Anagnostopoulos (2013) su alcance fue determinar la capacidad de carga lateral de los pilotes rígidos con suelo adhesivo. El material del terreno y los pilotes son colocados en una distancia desde la corona de la pendiente hasta lo profundo del pilote colocado, tomando en cuenta el efecto de la corona del pilote y el terreno. la capacidad del pilote lateral con la relación longitud y diámetro del pilote, hace que la distancia entre el pilote y el suelo sea un punto de aplicación de la carga desde el suelo al radio de diámetro acumulado, el soporte lateral para un terreno de nivel, proporciona la capacidad de soporte del mismo pilote.

Zhigang, Fei, Zhicai, Xiaobing, Mengnan & Shengxin (2019) concluyeron que el efecto de refuerzo de los cables de anclaje, dan como resultado del cálculo que

los cambios en el desplazamiento como el estrés y la fuerza axial del cable de anclaje de la pendiente del sitio, analizando la velocidad de deformación al corte y la evolución características de la zona plástica cerca de la superficie deslizante potencial, muestran que a medida que aumenta la longitud del anclaje , el desplazamiento disminuye gradualmente. Además, la máxima fuerza axial del cable hace que la tensión principal de la pendiente cambie ligeramente, mientras que el rango de falla de plasticidad disminuya gradualmente; Cuando la longitud del anclaje es de 20 m, el factor de seguridad alcanza el valor máximo y el efecto de refuerzo es óptimo.

Por lo consiguiente este trabajo de investigación tiene como justificación principal dos premisas, y estas las mencionamos a continuación:

Wubalem (2018) mencionó que la justificación social se da por el deslizamiento de tierra en el área de estudio. Esto ocurre debido a la presencia de diferentes condiciones y factores desencadenantes como barrancos y socavación, caudal, gradiente de pendiente y la forma de pendiente basado en la implicación de tales factores como manejo del agua de taludes y manejo de la erosión del suelo. Por consiguiente la justificación social se desarrolló con el estudio de este nuevo sistema de contención para taludes verticales en el lecho del río Rímac por socavación del pie del lecho del río, nos permite diseñar sistemas de contención, estabilización y protección para taludes, así mismo este trabajo de investigación tiene como finalidad proporcionar datos para futuros sistemas de contención, teniendo en cuenta factores económicos y técnicos que conlleven a dar respuesta a temas de socavaciones de taludes.

Sasanakul & Gassman (2019) en su estudio realizado mencionaron que la justificación técnica demostró que la plasticidad del suelo y la edad geológica por sí solas no son factores dominantes que afectan las propiedades dinámicas. Por lo tanto, se justificó implementar el sistema de anclajes con pilotes para el refuerzo de taludes.

Así mismo para los sistemas de transporte vehicular es requerido y no está disponible las herramientas técnicas que sirvan de modelo y puedan fijarse como normas técnicas nacionales. Y este proyecto es el primero en su diseño para apoyar tecnológicamente en refuerzos de taludes en riveras de los ríos.

En este trabajo de investigación hemos considerado como pregunta general lo siguiente:

¿Cuál es el diseño del sistema de Contención con Cimentaciones Profundas para la Estabilización del Talud en el Lecho del Río Rímac – Lima?

Así mismo tenemos los problemas específicos, los cuales mencionaremos a continuación:

PE1: ¿Cuál es el análisis geotécnico del talud vertical en el diseño del sistema de contención con cimentaciones profundas para la estabilización del talud en el lecho del Río Rímac – Lima?

PE2: ¿Cuál es la zona crítica vertical en el diseño del sistema de contención con cimentaciones profundas para la estabilización del talud en el lecho del Río Rímac – Lima?

PE3: ¿Cuál es el análisis del caudal en el diseño del sistema de contención con cimentaciones profundas para la estabilización del talud en el lecho del Río Rímac – Lima?

PE4: ¿Cuál son los métodos de soporte en el diseño del sistema de contención con cimentaciones profundas para la estabilización del talud en el lecho del Río Rímac – Lima?

Así mismo se presenta el objetivo general que hemos considerado en este trabajo de investigación:

¿Diseñar el sistema de contención para la estabilización el talud en el lecho del río Rímac?

Y los objetivos específicos son:

OE1: Determinar las características geotécnicas del talud vertical.

OE2: Determinar la zona crítica para el diseño de contención y estabilización del talud en el lecho del río Rímac.

OE3: Determinar el mayor caudal del río Rímac en contacto con el talud.

OE4: Determinar las características de los y dispositivos de pilotes y anclajes para el diseño de contención y estabilización del talud.

## **II. MARCO TEÓRICO**

Ishibashi, Hazarika (2015) el concepto del círculo de Mohr Coulomb (1887), se presentó una solución gráfica para determinar las tensiones, deformaciones e inercia, y es usada en ingeniería y geofísica. El círculo de Mohr es una técnica para determinar gráficamente los valores de esfuerzo normal  $\sigma_\theta$  y esfuerzo cortante  $\tau_\theta$ , tenga en cuenta que la solución de estrés de Mohr se aplica solo a problemas bidimensionales (deformación plana).

Suarez (2009) nos enuncia que el uso de anclajes de acero en la estabilización de taludes se ha vuelto muy popular en los últimos años. Las estructuras ancladas incluyen los pernos metálicos utilizados para sostener bloques de roca, las estructuras con tendones pretensionados, anclados en el suelo y los tendones pasivos no pretensionados. (p.558).

Suarez (2009) menciona que los pilotes deben enterrarse en suelo firme y competente para evitar su arrancamiento o inclinación. Es común la utilización de estructuras de concreto armado, uniendo las cabezas de los pilotes para mejorar su rigidez y comportamiento en general. La resistencia o capacidad de un pilote y su efecto de factor de seguridad depende de la profundidad a la cual se encuentra hincado el pilote por debajo de las superficies de falla. (p.534).

Olivera, Ruiz, Gallardo y Yuladay (2019) mencionaron una metodología general para el análisis y evaluación del riesgo en función de la amenaza, dada por la interrelación susceptibilidad y probabilidad de ocurrencia del deslizamiento; y de la vulnerabilidad de los elementos expuestos, obtenida de un análisis multifactorial que considera aspectos físicos y sociales. La susceptibilidad es obtenida considerando diversos factores condicionantes y desencadenantes de inestabilidad y la probabilidad de ocurrencia de los eventos se estima a partir de métodos determinísticos. El análisis de vulnerabilidad se realiza considerando las componentes espacial y temporal de los eventos potenciales, así como el impacto que estos podrían tener sobre los elementos expuestos.

Fernández, Villalobos y King (2018) nos menciona que trabajar con programas de modelamiento nos permite la evaluación simultanea de la estabilidad del talud en términos de factor de seguridad, probabilidad de falla e índice de confiabilidad. Los resultados de esta metodología tienden a ser más conservadores, considerándose bastante riesgoso la utilización de factores de seguridad, medios para evaluar la estabilidad cuando se considera la variabilidad de las

propiedades del suelo.

Oliva y Gallardo (2017) menciona que la reducción del riesgo y prevención de eventos desastrosos producidos por deslizamientos de tierra en laderas urbanas requiere de una evaluación integral que considere los factores condicionantes y desencadenantes de carácter natural y antrópico. Dicha evaluación constituye una valiosa herramienta de prevención/mitigación para las comunidades en riesgos, así mismo para evaluar el riesgo por deslizamiento de una ladera urbana, considerando la interrelación entre la amenaza y vulnerabilidad física existentes en la zona de estudio. La amenaza se determinó a través de métodos probabilísticos y determinísticos; mientras que la vulnerabilidad de los elementos expuestos se obtuvo considerando los tipos de edificaciones y su distribución espacial, el estado de integridad estructural, la profundidad de las cimentaciones y el volumen probable de la masa de terreno inestable.

Katzenbach, Leppla & Choudhury (2017) el mapeo se ha convertido en un enfoque estándar para identificar zonas de licuefacción potencial dentro de la ingeniería geotécnica de terremotos en las comunidades. La base de datos de geoinformación que proporciona la información de las propiedades del suelo para el cálculo del potencial de licuefacción y el peligro, el mapeo se puede usar para el análisis y la predicción de desastre geográficos como la licuefacción inducida por terremotos. La vulnerabilidad a la licuefacción del peligro puede evaluarse a través de estos mapas de peligro de licuefacción y el riesgo puede ser calculado. (p.190).

Abdelaziz, Hafez & Hussein (2017) concluyeron que modelar con programas de elementos finitos en 3D, hace que el efecto de la posición del pilote, su inclinación, longitud y su diámetro, sea favorable. Así mismo el factor de seguridad brindado por el programa nos emite más información en el resultado del problema con la estabilidad de taludes, también el estudio determino la ubicación optima de los pilotes y la inclinación de los anclajes llegando a su optimo estado de máxima estabilidad.

Liu Hui (2015) realizo un estudio en laderas del río Tres gargantas (China) y se analizó varios efectos provocados por la fluctuación cíclica del nivel del agua, ya que estas resultan a menudo las fallas en las laderas del lecho del río, así mismo se presentó el análisis del cálculo para la evaluación de estabilidad de taludes,

por lo siguiente se concluyó que la prevención y el control del peligro geológico en el área del río hace posible una solución a la socavación del lecho del río.

Viviescas, Osorio & Cañón (2017) Recomendaron el uso de sistemas de contención de pilotes, ya que son los más frecuentes y adecuados en la rama de ingeniería civil y geotécnica, sin embargo, la economía y las nuevas necesidades para encontrar soluciones más rápidas a las estructuras de retención de tierra, además los anclajes toman más terreno en los diseños basados en confiabilidad. Esta es una variable importante para definir la estabilidad de las estructuras de retención. La fricción de la pared del suelo es comúnmente definida determinísticamente como una fracción del ángulo de fricción, independientemente del material de contacto y el origen geológico del suelo.

Autoridad Nacional del Agua (2010) las principales causas de los desbordes o inundaciones son la obstrucción natural o inducido del lecho y desviación de las aguas fuera de su curso normal; acumulación periódica de materiales transportados por el río que elevan el nivel del flujo del cauce; invasión de los terrenos dejados por el río (lecho antiguo), reduciendo su capacidad de flujo sin considerar los caudales extremos.

Autoridad Nacional del Agua (2010) En su Evacuación de los Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Rímac. Nos menciona que luego de revisar la información existente de los estudios afines, cartas digitales e impresas y otros elementos que son necesarios para el desarrollo del Estudio Hidrológico, se programó el reconocimiento escalonado de la cuenca del río Rímac, para métodos de soporte.

Jean dos Passos y Jefferson Lins (2020) realizaron varios análisis con modelos numéricos de equilibrio límite; estos análisis se realizaron tridimensionalmente (3D), esto para hallar los valores de factor de seguridad en el talud, la información fue muy coherente con los resultados obtenidos a través de un análisis bidimensional. Este resultado demuestra que un análisis bidimensional puede ser suficiente para esta propuesta, requiriendo menor cálculo computacional, así mismo reducir el costo beneficio en un proyecto.

Fernandes, Carvajal & Moreira de SOUZA (2018) aplicaron una formulación probabilística a un modelo tridimensional de estabilidad de taludes para definir la amenaza cuantitativa asociada con deslizamientos de tierra poco profundos en



términos de probabilidad de ruptura. El análisis del problema utiliza un modelo 3D de equilibrio límite de estabilidad de taludes que considera la acción de la precipitación a través de modelos de infiltración capaces de simular el avance del frente húmedo y la variación de la capa freática en función de un evento de lluvia dado. Además, la probabilidad de ruptura se obtuvo mediante el uso de un método probabilístico de estimaciones puntuales, que inserta la variabilidad de algunos parámetros del suelo y proporciona la distribución probabilística del factor de seguridad.

Faiz, Yong-gang, Alam, Yan & Ali (2020) concluyeron que, para este propósito, los programas Slide6.0 y Geostudio se utilizaron para calcular el factor mínimo de seguridad e investigar la ubicación de la superficie crítica de deslizamiento. La estabilidad de las pendientes se analizó sobre la base de cuatro métodos diferentes de equilibrio límite, incluidos Bishop, el método simplificado de Janbu, el método corregido de Janbu y el método de Spencer utilizando el programa Slide6.0.

S. Caingles & A. Lorenzo (2020) recomendaron que la presencia de agua afectó la condición de estabilidad de la pendiente. El conjunto creado de mapas por el factor de seguridad proporciona una impresión visual y la variación de la condición de estabilidad de la pendiente en el área de estudio. Por lo tanto, este artículo presenta un estudio de referencia para la estabilidad de la pendiente que es esencial en la planificación o evaluación adicional del área de estudio. Además, el estudio proporciona información para futuros proyectos en la zona.

Goh, Ishak, Zaini & Zolkepli (2020) demostraron que todos los tipos de cargas de refuerzo aumentaron en la estabilidad de la pendiente después de correr con el software de ingeniería al aumentar la carga de las barras. El pilote es la mejor opción que se utilizará en el refuerzo de la estructura del suelo así mismo se añadieron otros dispositivos para la estabilidad de la pendiente (anclaje, clavado y tela).

Rifa'i, Basoka & Faris (2018) concluyeron que el valor de la permeabilidad de los desechos disminuyó, pero no muy significativo para parámetros de resistencia al corte aumentado con el tiempo, donde el valor del ángulo de fricción cambió de  $35.02^\circ$  a  $41.98^\circ$  y el obtenido el valor de cohesión fue de 0 kPa; además, el efecto de la lluvia sobre la estabilidad de terraplén de residuos orgánicos reduce la tasa del factor de seguridad en 3.91% con lluvias muy fuertes y con lluvias

normales el factor de seguridad disminuye a 3.75%, adicionalmente la cantidad de agua que ingresa al terraplén .

Dan, Tian, Wenjie Du, Yuxiang Du & Fu (2019) enunciaron que el anclaje por gravedad es muy resistente y muy aplicado en la ingeniería, estos anclajes por gravedad son en su mayoría ubicado en sitios con alta intensidad sísmica, por lo que es muy importante evaluar la estabilidad dinámica de las laderas bajo la acción del terremoto.

Rao, Wu & Mo (2020) mencionaron que, al emplear el análisis del límite superior y técnica de aumento de fuerza, el FS se define como la relación de la tasa de disipación de energía interna al trabajo externo velocidad. Cabe destacar que el aumento de la fuerza y la técnica utilizada aquí tiene una ventaja sobre el método de reducción de fuerza cuando se usa tridimensional mecanismo para analizar la estabilidad de la pendiente. (el aumento de fuerza y la técnica puede proporcionar una expresión explícita de la FS, mientras que el método de reducción de fuerza solo puede proporcionar una ecuación implícita.

Wang, Li, Su, Zhang & Chen (2020) enunciaron que el punto clave del tratamiento del cuerpo es la pendiente potencialmente inestable; esto hace que tomen las medidas de ingeniería que combinan retención y anclaje, y luego consolidar el cuerpo de la pendiente con el proyecto de intercepción y drenaje.

Suping Zheng (2019) demostró que colocar un sistema de soporte con pilotes de fundición in situ de excavación giratoria puede efectivamente controlar el desplazamiento de pendientes, así mismo para los asentamientos circundantes, y el efecto de soporte es seguro y estable, que cumple con los requisitos de las especificaciones técnicas relevantes y es una forma segura de apoyo.

Ishibashi, Hazarika (2015) manifestó que: Terzaghi (1925) desarrolló el concepto de estrés efectivo, que se convirtió en un concepto clave en mecánica de suelos moderna. El estrés efectivo en el suelo contribuye a su fuerza y volumen. cambio. También influye en el aumento capilar, la fuerza de filtración debido al flujo de agua, arenas movedizas (arena hirviendo) y agitación en el fondo de la excavación. Postulo la fórmula de estrés efectivo como:

$$\sigma' = (\sigma - u)$$

Dónde:

$\sigma$  = Esfuerzo total debido a la cargada aplicada

$u$  = Presión de poros

Lande, Karlsrud, Langford & Nordal (2020) describieron la representación de los resultados de una prueba de campo a gran escala. El diseño de colocación de anclajes con vigas de amarre. El monitoreo de los datos arrojó información valiosa sobre los efectos principales de las presiones de agua en los poros y asentamientos del terreno.

Ishibashi, Hazarika (2015) el concepto del círculo de Mohr Coulomb (1887), se presentó una solución gráfica para determinar las tensiones, deformaciones e inercia, y es usada en ingeniería y geofísica. El círculo de Mohr es una técnica para determinar gráficamente los valores de esfuerzo normal  $\sigma_\theta$  y esfuerzo cortante  $\tau_\theta$ , tenga en cuenta que la solución de estrés de Mohr se aplica solo a problemas bidimensionales (deformación plana).

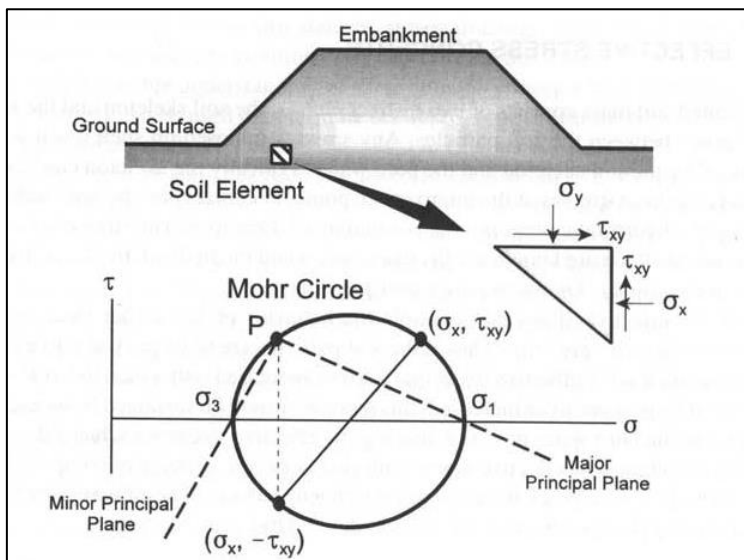


Figura 1: Círculo de Mohr – Coulomb.

La teoría de falla de Mohr–Coulomb, definió la ley de fricción de Coulomb, donde se requiere que se conozca el ángulo de fricción y la tensión efectiva normal para encontrar la resistencia al corte, y esta se representa de esta forma:

$$\tau_f = f(\sigma_f)$$

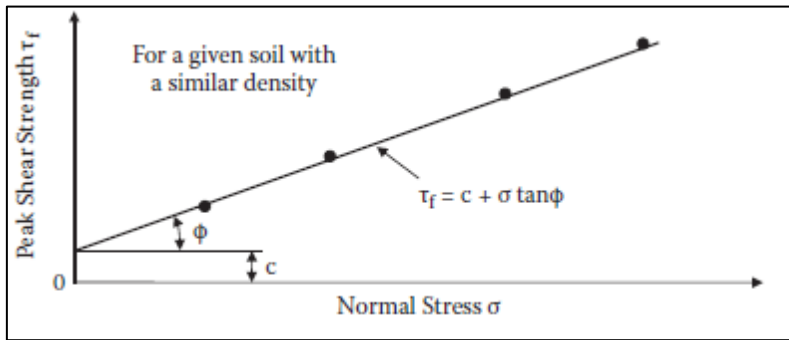


Figura 2: Envolvente de falla de Mohr Coulomb.

Terzaghi (1925) modificó la ecuación de Mohr-Coulomb para incluir su efectivo concepto de estrés como:

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan \phi' = c' + (\sigma - u) \tan \phi'$$

Suarez (2009) nos enuncia que el uso de anclajes de acero en la estabilización de taludes se ha vuelto muy popular en los últimos años. Las estructuras ancladas incluyen los pernos metálicos utilizados para sostener bloques de roca, las estructuras con tendones pretensionados, anclados en el suelo y los tendones pasivos no pretensionados. (p.558)

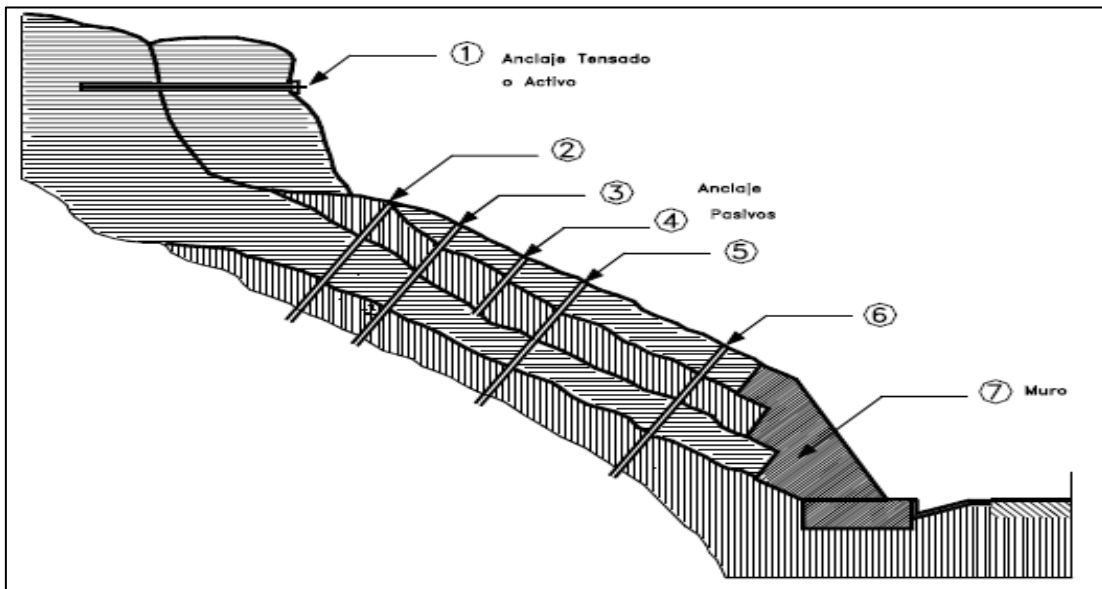


Figura 3: Anclajes activos y pasivos.

El sistema de pantalla de pilotes que hemos utilizado en este tramo mencionado en este trabajo de investigación proporciona mayor detalle en su implementación en contención:

Suarez (2009) menciona que los pilotes deben enterrarse en suelo firme y competente para evitar su arrancamiento o inclinación. Es común la utilización de estructuras de concreto armado, uniendo las cabezas de los pilotes para mejorar su rigidez y comportamiento en general. La resistencia o capacidad de un pilote y su efecto de factor de seguridad depende de la profundidad a la cual se encuentra hincado el pilote por debajo de las superficies de falla. (p.534).

Pratama, Hardyatmo & Faris (2019) concluyeron que el desplazamiento y las fuerzas que ocurren en las pilas secantes con el uso de dos anclajes no son muy diferentes de los que ocurren cuando se usan tres y cuatro anclajes. La aplicación de una mayor fuerza de pretensado sobre el ancla arrojaría mejores resultados en cuanto a la cizalladura máxima y el desplazamiento horizontal de la pila secante. Sin embargo, la aplicación de una fuerza de pretensado superior a 200 kN aumentaría el momento máximo de la pila secante.

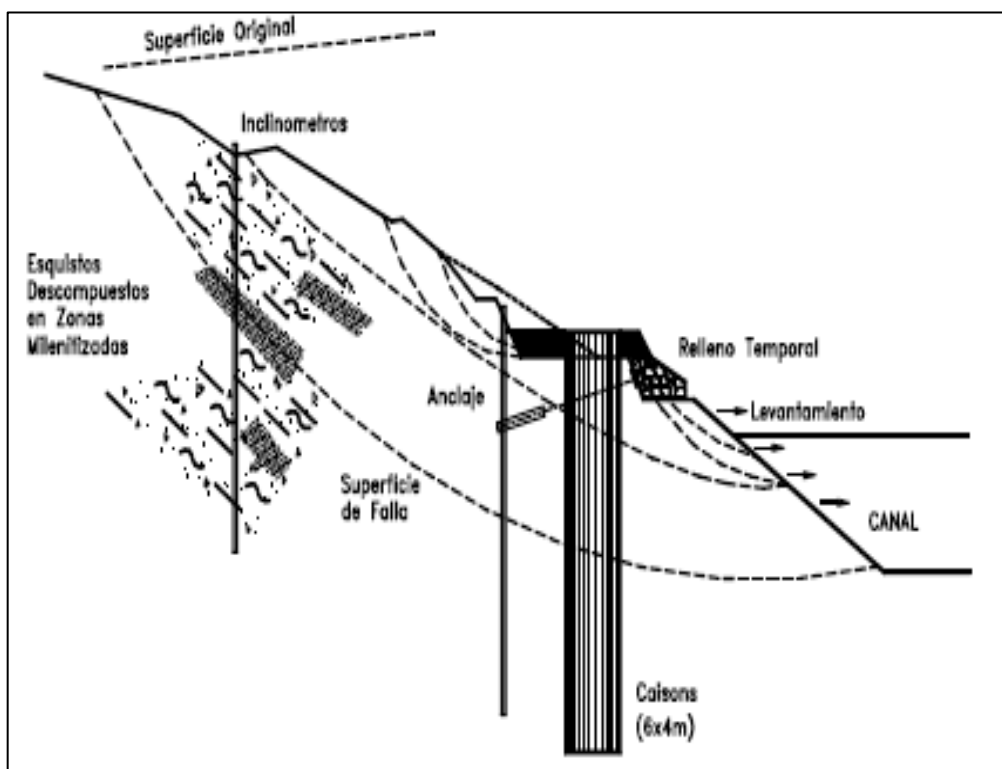


Figura 4: Colocación de Pilotes para la estabilización del talud vertical.

La imagen muestra la colocación de pilotes y anclajes activos para el sistema avanzado de reforzamiento de laderas, taludes, pendiente de gran pronunciamiento, esto como parte de poder estabilizar y obtener un factor de seguridad estables, estos valores se mencionan en las normas nacionales e internacionales que se menciona en esta literatura.

De acuerdo a los estudios de geotecnia realizada, el subsuelo del área de estudio está formado esencialmente por las clásicas gravas de Lima. Debido a la granulometría gruesa de los suelos que conforman las gravas, los ensayos que mejor se adaptan para la caracterización de estos materiales son los ensayos geofísicos, sin embargo, el corte directo a gran escala consiste en realizar un ensayo de corte con una muestra remoldeada cuya granulometría puede llegar a tener un  $D_{max}=20$  cm. La caja de ensayo tiene unas dimensiones de 1 x 1 m de lado. La muestra de la calicata realizada en el área de estudio se localiza a 2.80-500 de profundidad. A estas profundidades, la geofísica establece la unidad denominada grava compacta ( $V_s=470$  m/s).



(a)

(b)

Figura 5: Corte directo a gran escala in situ (a), instrumento de ensayo de corte directo (b).

Grattz, Salazar y Rodríguez (2018) enunciaron un enfoque sobre las caídas de rocas y deslizamientos de material y nos menciona que son un tipo de inestabilidad usual y frecuente en taludes de naturaleza rocosa, es ahí donde surge la necesidad de protección frente a este tipo de fenómenos que ha llevado al desarrollo de diferentes soluciones, entre ellas encontramos la estabilización de taludes mediante el uso de sistemas de malla metálica con pernos o anclajes.

### **III. METODOLOGÍA**

### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

Hernández, Fernández, & Baptista (2014). Menciona que el enfoque que tendrá la presente investigación es cuantitativo, dado que se utilizan datos medibles u observables, que son representados en forma de números, cuyo análisis, para afinar las preguntas de investigación, se inician con ideas preconcebidas basada en el problema general, problemas específicos, objetivos generales y objetivos específicos.

Este trabajo de investigación es cuantitativo, y tiene como alcance descriptivo, y por su propósito es aplicable. La zona a estudiar es la Vía Expresa Línea amarilla, calzada derecha que se encuentran con las progresivas de la pk 5+920 hasta la pk 6+000 de la margen izquierda del río Rímac.

### **3.2. Variable y operacionalización**

#### **Variable Dependiente**

Talud expuesto a socavación; la gravedad que desciende el elemento hídrico hacia el cauce del río, hace que se produzca la socavación del pie del talud vertical, lo que da paso al deslizamiento de masa de materiales hacia el río.

#### **Variable Independiente**

Diseño de contención de taludes; los sistemas de contención de taludes avanzados están compuestos por elementos de refuerzo que tiene como objetivo principal de reducir las fuerzas que actúan en el talud.

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

La población corresponde a todos los taludes a lo largo de la extensión del río Rímac.

#### **Muestra**

La muestra del talud está ubicado en el tramo del pk 5+920 hasta el pk 6+000 de la margen izquierda del río Rímac, calzada derecha de la Vía Expresa Línea Amarilla.

#### **Muestreo**

No fue aleatorio y se tomó por conveniencia debido a la inminente fractura del suelo en la zona de muestreo; adicionalmente el trazo de la vía vehicular a desarrollar ya estaba propuesto a inicios del proyecto, esto permitió adquirir nuevos sistemas avanzados en el reforzamiento del talud vertical, ya que se consideró como una zona crítica.

El tramo que se determinó a proteger fue mediante una visita de campo con los ingenieros especialistas en geotecnia, como resultado de la visita en el tramo de



estudio se determinó que el tramo se ubica adyacente al talud del río, la cual presenta socavación.

#### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Grinnell, Williams y Unrau (2001), Menciona que un instrumento de recolección de datos es aquel que registra los datos que representan a las variables que se desea medir, en mención a este presente proyecto de investigación utilizaremos fichas técnicas, fichas de cantidad de obra y presupuestos, tabla de resultados, y cuadros comparativos, este método nos permitirá recolectar una serie de datos referentes con los indicadores para nuestra tesis, además utilizaremos un análisis observatorio no experimental y documental, ya que es requerido la recolección de fuentes secundarias, datos de la manipulación de variables y datos de campo.

#### **3.5. Procedimientos**

La finalidad del presente trabajo de investigación es realizar el reforzamiento y la estabilidad global del talud expuesto a socavamiento en el pie del lecho del río, para realizar los cálculos geotécnicos se sugirió ensayos triaxiales y de corte directo a gran escala, esto con el fin de poder conocer las características del suelo, por lo siguiente se introdujo el programa Slide6.0, este Software tiene como principal ventaja el poder analizar los factores de seguridad que se requiere en el proyecto, esto con el fin de lograr el equilibrio del talud; entre tanto se definió la colocación de anclajes activos en la parte frontal del talud vertical con un ángulo de inclinación de  $23^\circ$  y una pantalla de pilotes de 19 a 25 m excavados verticalmente; todos los trabajos realizados fueron supervisados por ingenieros geotécnicos, esta nuevo sistema adquirió mucha remembranza para la ingeniería local ya que era la primera vez que realizaban este tipo de proyectos. Este análisis se determinó por un análisis de deformación plana, así mismo el factor de seguridad se realizó y se comparó mediante los métodos de Janbu Corrected y Spencer.

#### **3.6. Método de análisis de datos**

Para poder responder al planteamiento del problema, analizaremos e interpretaremos los resultados que se realizaron por medio de cuadros comparativos para la evaluación del sistema de contención en el talud vertical, apoyados en los aspectos económicos y técnicos, el número de pilotes y el número de anclajes provistos por el simulador SLIDE se validarán con los

procedimientos de calidad con normas internacionales, normas que servirán de base para realizar los cálculos y diseño de las estructuras, estas son las siguientes:

AASHTO. LRFD Bridge Design Specifications. Seventh Edition. 2014.

AASHTO. LRFD Seismic Bridge Design. Second Edition. 2011.

AASHTO. LRFD Guide Specification for Seismic Isolation Design. Fourth Edition. 2014.

### **3.7. Aspectos éticos**

Con el objetivo de cumplir los parámetros de investigación se recopiló información de artículos científicos y de libros actualizados en fundamentos de la mecánica de suelos que tienen relación con el tema a investigar así mismo se redactara y se citaran los textos que tienen similitud con el tema propuesto, a todo esto, nos fundamentaremos en los trabajos más actualizados que han sido publicados con el estilo APA.

#### **RESPECTO**

El valor fundamental de todo ser humano es el de respetar las opiniones vertidas en los artículos que estudiaremos de otras personas, esto con el fin de incentivar los valores que nos han enseñado nuestros padres en casa, este valor nos infunde el ánimo de seguir siendo personas de bien con la convicción de que las generaciones venideras logren el bien común de respetarnos los unos a los otros.

#### **HONESTIDAD**

Palabra que tiene mucho valor y expresa fervor de querer dar lo mejor como persona, nuestro valor principal es ser vez con la información que se le añadirá a toda la literatura de este estudio de investigación logrando cumplir con los objetivos, discusiones, conclusiones y recomendaciones y respondiendo a las incógnitas que puedan surgir en adelante.

#### **IV. RESULTADOS**

La zona de estudio es desde el pk 5+920 hasta el pk 6+000 de la calzada derecha del río Rímac. Ubicado en el distrito de San Martín de Porres–Lima, está dentro del proyecto Vía Expresa Línea Amarilla, el talud vertical se ve afectado por la socavación y el proceso de erosión que se genera por el aumento del caudal del río Rímac.



Figura 6: Fotografía elaborada con datos de Google Earth Pro.

En este trabajo de investigación para la estructura vertical del talud se fijaron los parámetros sísmicos para su estabilidad recomendado por la norma CE-020 del Reglamento Nacional de Edificaciones, los cuales están reportados en la Tabla-5. Para el análisis pseudoestático se estableció que el talud podrá mantenerse en posición vertical durante 1000 años ya que se utilizaron sistemas de contención avanzados.

La norma equivalente a la peruana conocida como Guía Canadian Dam Association CDA (2014) menciona que para el análisis de equilibrio límite o de equilibrio de fuerzas actuantes, es suficiente verificar la estabilidad de las pendientes en condiciones normales de operación (talud en estado de reposo sin efecto de fuerzas externas). Los criterios de aceptación generalmente se describen en términos de factores de seguridad, como se mencionaron anteriormente sus valores se reportan en la Tabla (6). Estos parámetros obtenidos indican la consistencia con lo recomendado por las Normas nacionales e internacionales. Por otro lado, se obtuvieron los datos históricos del caudal del

río Rímac proporcionado por SENAMHI, donde indican los caudales máximos y mínimos, ver tabla

(8). Los estudios hidráulicos fueron encargados al laboratorio de la constructora OAS; el informe indicó que la velocidad de socavación del río Rímac es significativa y equivalente a 2 m/año. Esto se traduce en la reducción de la cota de la topografía en 2 m.

Los cálculos de los factores de seguridad se realizaron por el procesamiento de datos con el software SLIDE 6.0-2017, desarrollado por Rocscience Inc. (54 St Patrick St, Toronto, ON M5T 1V1, Canadá). El método utilizado permite evaluar las fuerzas actuantes en los diferentes niveles del talud de forma tal que puede tabularse los resultados para esos niveles del talud, donde a cada sección de análisis se denomina "dovelas". Los balances de fuerzas permiten alcanzar el equilibrio, donde las fuerzas actuantes son iguales a las fuerzas deslizantes. Como es conocida las fuerzas deslizantes provocan los deslizamientos de masa en el talud.

#### **Determinar las características geotécnicas del talud vertical.**

Como resultado de los ensayos realizados por el laboratorio de la empresa OAS, se determinó las características geotécnicas del talud vertical, proporcionando información adecuada por los resultados de los ensayos de corte directo a gran escalada; los datos proporcionados incluyen: El peso específico saturado ( $\gamma_{wet}$ ), peso específico seco ( $\gamma_{dry}$ ), cohesión, (C), ángulo de fricción ( $\Phi$ ), módulo de Young (E), ángulo de dilatación ( $\Psi$ ) y el modelo constitutivo con el que se ha trabajado es de Mohr-Coulomb. Además, se consideraron las profundidades de excavación (m).

Estos resultados obtenidos mediante el corte directo a gran escala nos presentan que las propiedades mecánicas y físicas de los estratos que contiene el talud son de parámetros muy relevantes como grava graduada (GW), dato extraído de norma peruana E-0.50 de suelos y cimentaciones; así mismo estos datos son el principal punto de partida, ya que, conociendo la resistencia, grado de saturación, ángulo de fricción, cohesión, contenido de humedad, elasticidad, etc. Nos permiten ver el tipo de sistema de reforzamiento que se le dará al talud inestable, las características geotécnicas se reportan en las siguientes tablas:

Tabla 1: Caracterización geotécnica de los materiales. Sección 5+920

UNIDAD	PROFUNDIDAD (m)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	C (KPa)	$\Phi$ (°)	E (KPa)	E din (*) (KPa)	Modelo constitutivo
Grava media	0-2	20	20	41,2	71.240	213.720	Mohr-Coulomb
Grava compacta	2-4	22	24	42,4	104.300	312.900	Mohr-Coulomb
Grava densa	4-7	22	34	45,7	193.970	581.910	Mohr-Coulomb
Grava muy densa	> 7	23	43	48,5	286.160	858.480	Mohr-Coulomb

Fuente: Hebert Sotelo & Asociados.

Tabla 2: Caracterización geotécnica de los materiales. Sección 6+000

UNIDAD	PROFUNDIDAD (m)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	C (KPa)	$\Phi$ (°)	E (KPa)	E din (*) (KPa)	Modelo constitutivo
Grava media	0-4	21	15	39,6	34.100	102.300	Mohr-Coulomb
Grava compacta	4-9	22	25	42,7	115.500	346.500	Mohr-Coulomb
Grava densa	9-15	22	31	44,6	164.200	492.600	Mohr-Coulomb
Grava muy densa	> 15	23	44	48,7	304.800	914.400	Mohr-Coulomb

Fuente: Hebert Sotelo & Asociados.

Determinar la zona crítica para el diseño de contención y estabilización del talud en el lecho del río Rímac.

La zona crítica a estudiar se sitúa en la pk 5+920 hasta la pk 6+000, donde se analizó la estabilidad del talud con el propósito de ver el comportamiento actual y el avance de la socavación del lecho del río. Se tomaron datos de parámetros resistentes de la grava de Lima donde:  $\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$ ,  $C = 20 \text{ kPa}$  y  $\Phi = 45^\circ$ . Para la capa de relleno los parámetros fueron:  $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ ,  $C = 5 \text{ kPa}$  y  $\Phi = 28.5^\circ$ . En la zona socavada del pie del talud contiene un material de baja resistencia cuyos

parámetros son:  $\gamma = 0.5 \text{ kN/m}^3$ ,  $C = 0 \text{ kPa}$  y  $\Phi = 1^\circ$ ; Así mismo se consideró la aceleración sísmica de 0.26g. Para la socavación del lecho del río se estableció la altura de 2 m. recomendado por la constructora OAS; el cálculo para la estabilidad del talud se realizó mediante el programa SLIDE 6.0, considerando los métodos de equilibrio límite de: Janbu Corrected y Spencer. El análisis de equilibrio límite se realiza en 2D, asumiendo condiciones de deformación plana en forma de una vista superior.

El estudio de la zona crítica dio como resultado un tipo de grava muy favorable y esto permitió que los parámetros geotécnicos fueran considerados óptimos, mediante el ensayo de corte directo a gran escala en el lugar estudiado, así mismo se consideraron los criterios de profesionales geotécnicos, cuya recomendación fueron optar por la implementación del software SLIDE, para poder obtener los factores de seguridad y poder implementar el nuevo sistema de reforzamiento para el talud vertical; los resultados se reportan en la siguientes tabla:

**Tabla 3: Parámetros de resistencia de la grava de Lima**

Parámetros	Descripción	Unidades	Valores
$\Phi$	Ángulo de fricción	Grados Sexagesimales	45
C	Cohesión	kPa	20
$\Psi$	Ángulo de dilatación	Grados Sexagesimales	12
$\gamma_{wet}$	Peso específico saturado	$\text{kN/m}^3$	22
$\gamma_{dry}$	Peso específico seco	$\text{kN/m}^3$	22

Fuente: Hebert Sotelo & Asociados.

Los datos que se obtuvieron cumplen con la teoría de la mecánica de suelos, esto a su vez favorece con los parámetros de entrada que se le ingresan al programa a utilizar (SLIDE), como datos para poder obtener el factor de seguridad del talud; así mismo también se le considera la napa freática que hace que el talud sea inestable. Los resultados de los parámetros geotécnicos obtenidos por el ensayo de corte directo se reportan en la siguiente tabla:

Tabla 4: Parámetros geotécnicos del modelo Mohr-Coulomb

Parámetros	Descripción	Unidades	Valores
$\Phi$	Ángulo de fricción	Grados Sexagesimales	28.5
C	Cohesión	kPa	5
$\Psi$	Ángulo de dilatación	Grados Sexagesimales	0
$\gamma_{wet}$	Peso específico saturado	kN/m <sup>3</sup>	17
$\gamma_{dry}$	Peso específico seco	kN/m <sup>3</sup>	17
E	Módulo de Young	kN/m <sup>2</sup>	20000

Fuente: Hebert Sotelo & Asociados.

#### COEFICIENTE DE ACELERACIÓN SÍSMICA

Según el Estudio de Peligro Sísmico del Proyecto Vía Expresa. Línea Amarilla, el coeficiente de aceleración sísmica horizontal establecido por los taludes que involucran estructuras es de 0.26g. Dado por la Municipalidad Metropolitana de Lima; para el cálculo de taludes donde no se involucren estructuras se ha utilizado 0.21g bajo el mismo estudio, por lo que no se consideró el coeficiente de aceleración sísmica vertical.

Estos coeficientes se respaldan en la norma nacional sismorresistente E-0.30, este estudio contempla los coeficientes que involucran estructuras (0.26g) y coeficientes que no involucran estructuras (0.21g); así mismo se ha recomendado que con el nuevo sistema de reforzamiento del talud tenga un periodo de 1000 años en condición estable, con todo esto se consigue obtener taludes con estado de seguridad global, esta sistema de reforzamiento de taludes en la ingeniería civil se está realizando muy a menudo en el mundo entero y hoy en Lima Metropolitana.

Los mencionados coeficientes con sus correspondientes periodos de retorno se reportan en la siguiente tabla:



Tabla 5: Coeficientes sísmicos para la estabilidad de taludes en condiciones pseudo-estáticas para el proyecto Vía Expresa Línea Amarilla

Características	Coeficientes sísmicos horizontal (kh)	Período de Retorno (años)	Referencia
Taludes que involucra estructuras: Puente, Viviendas, Tierra armada	0.26	1000	Estudio de Peligro Sísmico: Proyecto Vía expresa - Línea Amarilla (2011)
Taludes que no involucran estructuras importantes	0.21	475	

Fuente: Municipalidad Metropolitana de Lima, 2016, p.6

### FACTORES DE SEGURIDAD REQUERIDOS

Los factores de seguridad mínimos recomendados por la “Guía Canadian Dam Association CDA” (2014), se utiliza en la práctica de la ingeniería y se establece para el cálculo del proyecto. A continuación, se adjuntan los valores considerados según se involucren o no estructuras. Los factores de seguridad para el proyecto son óptimos y se estima con gran importancia ya que siendo este un proyecto nuevo y avanzado en cimentaciones profundas se fundamenta con normas nacionales e internacionales, así mismo el programa SLIDE arroja un valor de entre 1.25 a 1.5. Considerando un factor apropiado para la estabilización del talud vertical; estos datos son aprobados por especialistas en geotecnia. El valor de factor de seguridad para la estabilidad del talud se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 6: Valores de factor de seguridad mínimo recomendados para la estabilidad de taludes del proyecto Vía Expresa Línea Amarilla

Característica	Condición	Factor de seguridad	Referencia
Taludes que involucra estructuras: Puentes, Viviendas, Tierra armada	Estática	1.50	Guía CDA (2014)
	Pseudo-estático	1.25	Norma CE-020

Fuente: CE-020 Reglamento Nacional de Edificaciones.

Los factores de seguridad requeridos en el escenario estático y pseudo-estático para taludes que no involucran estructuras están reportados en la siguiente tabla:

Tabla 7: Factores de seguridad en taludes que no involucran estructuras importantes

Característica	Condición	Factor de seguridad	Referencia
Taludes que no involucran estructuras importantes	Estática	1.50	Norma CE-020
	Pseudo estático	1.10	Sherard (1967), Rogere (1982)

Fuente: Municipalidad Metropolitana de Lima.

### Estudio del caudal del río Rímac en contacto con el talud.

El estudio hídrico reporta que el socavamiento del cauce del río es muy significativo, por este motivo fue considerado en los cálculos geotécnicos que pide el programa como la capa freática que está presente en el talud, en este trabajo de investigación tiende a determinar el grado de socavación del talud.

La cuenca del río Rímac tiene un área de 3.503,95 km<sup>2</sup> con una longitud de 127,02 km (ANA), la zona de estudio se encuentra en la parte donde el deslizamiento del elemento hídrico hace socavamiento del lecho del talud (debajo del Puente El Ejercito), en periodos de aumento del caudal por la fuerza que desciende de la parte de arriba hacia la parte baja del río, de acuerdo a SENAMHI el promedio anual del caudal es de 29,4% m<sup>3</sup>/s, así mismo los datos históricos arrojan que el promedio alcanzó 70m<sup>3</sup>/s. Como es natural que los deslizamientos de los taludes suelen coincidir con el llamado fenómeno del niño, también como este último el fenómeno costero, cuyo incremento se asocia a los flujos de lodo (en 1925, el río alcanzo un caudal máximo histórico de 500 m<sup>3</sup>/s por el flujo de lodo que traía consigo).

#### Registros Hidrométricos

La estación Hidrométrica Chosica, la cual mide el escurrimiento de la cuenca húmeda, la cual está a cargo por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), donde se muestran los caudales máximos instantáneos anuales, comprendidas desde los años (1967 hasta 2010). Estos son los caudales históricos máximos, promedios y mínimos del río Rímac, estos datos se reportan en la siguiente tabla:

Tabla 8: Caudal máximo instantáneo (m<sup>3</sup>/s)

N°	DESCARGA (m <sup>3</sup> /s)	AÑO HIDROLÓGICO	N°	DESCARGA (m <sup>3</sup> /s)	AÑO HIDROLÓGICO
1	46,400	1967 – 1968	24	56,659	1990 – 1991
2	113,20	1968 – 1969	25	182,213	1991 – 1992
3	161,000	1969 – 1970	26	168,198	1992 – 1993
4	138,000	1970 – 1971	27	89,101	1993 – 1994
5	95,600	1971 – 1972	28	127,497	1994 – 1995
6	128,000	1972 – 1973	29	90,153	1995 – 1996
7	115,400	1973 – 1974	30	200,073	1996 – 1997
8	124,00	1974 – 1975	31	164,226	1997 – 1998
9	106,600	1975 – 1976	32	127,255	1998 – 1999
10	126,000	1976 – 1977	33	127,652	1999 – 2000
11	124,000	1977 – 1978	34	88,774	2000 – 2001
12	123,000	1978 – 1979	35	163,003	2001 – 2002
13	101,100	1979 – 1980	36	101,373	2002 – 2003
14	132,000	1980 – 1981	37	99,182	2003 – 2004
15	76,200	1981 – 1982	38	117,830	2004 – 2005
16	108,000	1982 – 1983	39	128,638	2005 – 2006
17	167,300	1983 – 1984	40	101,601	2006 – 2007
18	164,200	1984 – 1985	41	154,327	2007 – 2008
19	186,500	1985 – 1986	42	154,327	2007 – 2008
20	73,937	1986 – 1987	43	123,085	2009 – 2010
21	85,233	1987 – 1988	44	31,323	2010 – 2011
22	61,309	1988 – 1989	-	<b>200,1</b>	<b>Máximo</b>
23	84,750	1989 – 1990	-	<b>118,2</b>	<b>Promedio</b>
			-	<b>31,3</b>	<b>Mínimo</b>

Fuente: Servicio nacional de meteorología e hidrología (SENAMHI).

Determinar las características de los dispositivos de pilotes y anclajes para el diseño de contención y estabilización del talud.

#### JUSTIFICACIÓN DE LA LONGITUD DE LOS PILOTES

##### Estabilidad global

Para el cálculo de la longitud de la pantalla de pilotes es necesario garantizar la estabilidad global, comprobar la existencia de empuje pasivo que contra reste la

carga aplicada.

Teniendo en cuenta el anclaje de la estructura respecto al talud, el uso de formulación analítica que represente correctamente la realidad del talud.

Por este motivo, se ha realizado un cálculo numérico considerando la geometría real y que contemple así el empuje pasivo real teniendo en cuenta la geometría del talud.

Como se puede observar en la siguiente figura (7), el factor de seguridad obtenido frente a una sollicitación sísmica pseudo-estática de 0.26g es igual o superior a 1.5 con las geometrías proyectadas, con lo que cumple con el factor de seguridad requerido.

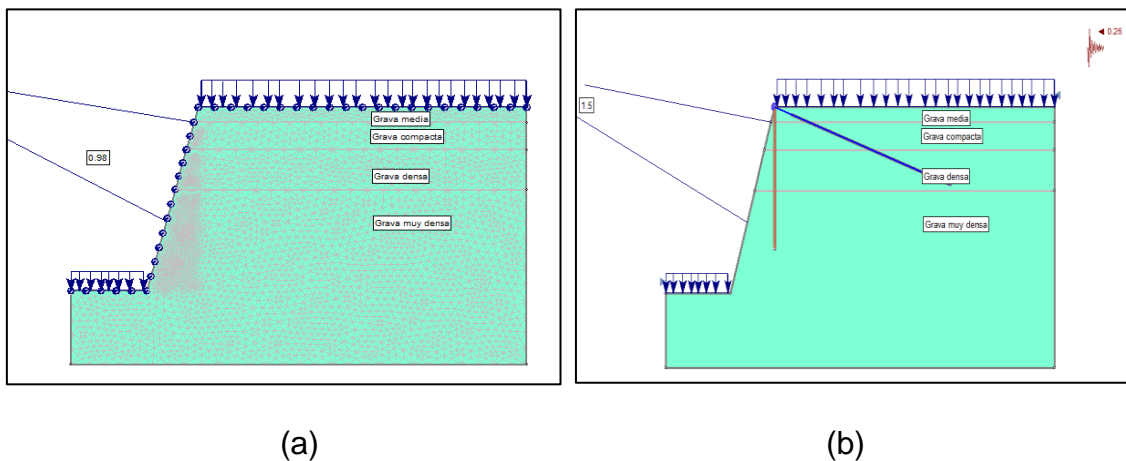


Figura 7: Talud sin reforzamiento sección: 5+920 (a). Talud con reforzamiento sección: 5+920 (b)

La figura (7a) se representa el talud vertical en su condición normal que está sometido a socavación por el aumento del caudal del río, la figura (7b) representa un talud con un sistema de reforzamiento y contención.

#### PANTALLA DE PILOTES

Dado que los programas de cálculo de elementos finitos usados emplean acciones sin mayorar, se han definido unos coeficientes de mayoración promedio para los tres escenarios estudiados. Se consideran tres factores principales:

- ESC1. Caso estático. Se utiliza para la comprobación de resistencia, de manera que los esfuerzos obtenidos se mayoran por 1.5 para obtener esfuerzos de diseño.
- ESC2. Caso pseudo-estático. Se estudia la ocurrencia de un sismo de periodo de retorno de 1000 años, que supone una aceleración básica de

0.26g. Los esfuerzos obtenidos se mayoran por 1.2 para obtener esfuerzo de diseño.

- ESC3. Caso pseudo-estático con parámetros C y  $\Phi$  reducidos (factor de reducción aproximado de 1.5). Se estudia la ocurrencia de un sismo de periodo de retorno de 1000 años, que supone una aceleración básica de 0.26g. Además, se consideran los parámetros geotécnicos C y  $\Phi$  reducidos por el factor global aproximado de 1.5. Los esfuerzos obtenidos de este modelo se suponen lo suficiente conservador, de manera que no se mayoran para el diseño.

Para el dimensionamiento solo se han considerado los resultados del modelo pseudo-estático al ser el caso pésimo.

Se ha realizado un análisis de flexión pura de los pilotes, puesto que los axiales obtenidos son siempre de compresión y no se han considerado al actuar favorablemente. Hay que tener en cuenta que los valores del modelo geotécnico son valores de refuerzo por metro, sin embargo, los pilotes se encuentran separados 1.5 m entre sí. De esta manera, los resultados obtenidos han sido multiplicados por 1.5, para obtener el esfuerzo por pilote, para el análisis a flexión de los pilotes se han tomado los siguientes valores:

- Esfuerzo pilote tipo 1:
  - $M_d = 759 \cdot 1.5 \cdot 1.0 = 1139 \text{ kN/m}$
- Esfuerzo pilote tipo 2:
  - $M_d = 1202 \cdot 1.5 \cdot 1.0 = 1803 \text{ kN/m}$

El modelamiento de la pantalla de pilotes se realizó con el programa SLIDE, con el fin de calcular las cargas laterales máximas que soportara el pilote, este modelamiento se hace en 3D y con el uso de un programa adicional como el PLAXIS 3D, así mismo se contó con información de mediciones de campo para apoyar con la respuesta de la carga lateral que tendrá la pantalla de pilotes, sin embargo se utilizó un momento de inercia equivalente, que el mismo programa tiene como función para el cálculo y el modelamiento tanto del área y el peso de la pantalla de pilotes.

#### CARACTERÍSTICAS DE LA PANTALLA DE PILOTES

La pantalla de pilotes fue modelado con un elemento tipo beam. Actualmente son elementos discontinuos, utilizando las propiedades equivalentes de los pilotes individuales se transformó en una pantalla continua. En la siguiente tabla

9 se muestran las propiedades de los elementos considerados en cada sección del cálculo. Los resultados en las secciones mencionadas anteriormente muestran las características de la pantalla de pilotes.

Tabla 9: Caracterización pantalla de pilotes

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	SECCIÓN	
		5+920	6+000
Diámetro de pilotes	M	1,00	1,00
Separación	M	1,50	1,50
Canto pantalla equivalente	M	0,86	0,86
Cota cabeza	msnm	119,00	120,8
Cota punta	msnm	100,00	94,8
Longitud	M	19,00	26,00
Modelo constitutivo	-	Elastoplástico	Elastoplástico
Momento de plastificación	kNm/m	1.388	1.388

Fuente: Hebert Sotelo & Asociados.

#### CARACTERÍSTICAS DEL ANCLAJE.

Los anclajes son de tipo activo y se instalaron mediante un pretensado de cables para reforzar el talud, previamente fue modelado numéricamente con el programa SLIDE usando dos tipos de elementos: (1) elemento tipo anchor como representación de la longitud libre; (2) geogrid como representación del bulbo o profundidad de refuerzo alcanzada.

El modelamiento de la longitud libre del anclaje activo se concluyó mediante la opción Support property, además se eligió la opción elástica con un tipo de acero ASTM A 416, el módulo de elasticidad es de  $1.95 \cdot 10^8 \text{kN/mm}^2$  y el área de la sección de los cables es de  $140 \text{ mm}^2$ . Sin embargo, para el modelamiento del bulbo del anclaje activo se utilizó la capacidad de adherencia entre el bulbo y el terreno del suelo, esto es considerado como constante o lineal a lo largo de toda la longitud del cuerpo de la lechada, teniendo en cuenta en este trabajo de investigación se tomó como dato lineal.

Las propiedades de los elementos considerados en cada sección de cálculo se reportan en la siguiente tabla:

Tabla 10: Caracterización de anclaje

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	SECCIÓN	
		5+920	6+000
Cota cabeza	Msnm	119,70	121,20
Inclinación	(°)	15,00	15,00
Longitud libre	M	5,00	5,00
Longitud bulbo	M	16,00	22,00
Longitud total	M	21,00	27,00
N° de cables	-	4	5
Diámetro de los cables	Pulgada	0,6	0,6
Diámetro de la perforación	Mm	125	125
Pretensado	kN	330	440
Carga nominal	kN	548	685

Fuente: Hebert Sotelo & Asociados.

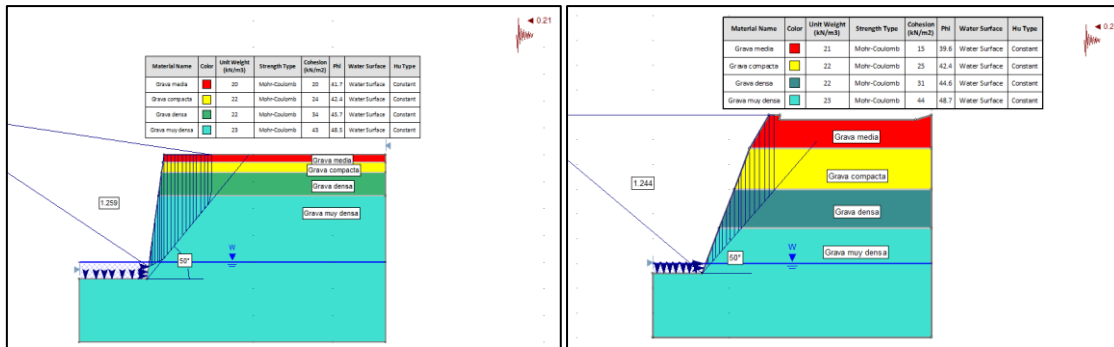
#### CARACTERÍSTICAS DE LAS INTERFACES TERRENO-ESTRUCTURA

Para el modelamiento de la interacción terreno-estructura de la pantalla de pilotes y del bulbo de tensiones se ha considerado elementos tipo interfaces. Estos elementos permiten simular una reducción de las propiedades de fricción del terreno adyacente a la estructura debido al cizallamiento existente en el contacto suelo-estructura. Se utilizó un valor de reducción del efecto de fricción suelo-estructura como  $R_{inter} = 0.66$  en ambas secciones.

Resultados del Factor de Seguridad obtenido con SLIDE 6.0-2017. El software utiliza un método general de secciones o rebanadas para aplicar el equilibrio límite de fuerzas actuando en la superficie de la grava. El análisis de equilibrio límite se realiza en 2D, asumiendo condiciones de deformación plana.

En la siguiente figura (3), se puede observar el material movilizado por el sismo con un factor de seguridad próximo a 1,25. Se comprueba que el material estable en este escenario conforma aproximadamente una cuña o desgaste del talud de

50° respecto a la horizontal. Este dato se utilizó como referencia para conformar los polígonos del terreno de cimentación bajo estudio. Como se puede observar, la forma de la superficie de rotura está condicionada por la existencia del muro de pantalla. Es por este motivo el diagrama es vertical desde la parte alta.



(c)

(d)

Figura 8: Cuña de rotura a 50°, basado en el cálculo del factor de seguridad sección: 5+920 (c); cuña de rotura a 50°, en cálculo del factor de seguridad sección: 6+000 (d).

Estudio de la estructura (según prognosis de rotura), Para el estudio del comportamiento de la estructura en interacción con el terreno, se han analizado 3 escenarios diferentes para cada sección.

- ESC1. Caso estático
- ESC2. Caso pseudo-estático
- ESC3. Caso pseudo estático con parámetros C y  $\Phi$  reducidos (Factor de reducción aprox. 1.5).

Como se ve en las figuras la pendiente de ambos casos se aproxima a 50° con respecto a la horizontal, para esta situación el talud vertical es estable, y se tomó como punto de partida para la geometría que constituye el terreno y la cimentación. El estudio que se realizó es el reforzamiento del talud vertical, así mismo para lograr el cálculo de la pendiente se procedió a tomar los datos del material estable del talud excluyendo el material movilizado. Es importante destacar que se trata de valores por metro lineal sin aplicar coeficientes de mayoración. Los resultados se reportan en la siguiente tabla:



Tabla 11: Resumen de los esfuerzos obtenidos en cada sección

SECCIÓN	ESCENARIO	Esfuerzo axial máximo (KN/m)	Esfuerzo cortante máximo (KN/m)	Momento flector máximo (KN*m/m)	Desplazamiento Total cabeza pantalla (cm)
5+920	ESC1. Estático	-136,2	-169,3	-226,6	0,72
	ESC2.Pseudo Estático	-196,8	-175,0	-232,6	1,23
	ESC3. Reducción C/Φ	-569,6	-281,1	-759,0	-
6+000	ESC1. Estático	-341,4	-230,0	-383,9	1,23
	ESC2.Pseudo Estático	-579,6	-256,6	-545,1	1,61
	ESC3. Reducción C/Φ	-680,4	-534,4	-1201,0	-

Fuente: Hebert Sotelo & Asociados.

#### DIMENSIONAMIENTO DEL ANCLAJE

Los resultados se han realizado según la Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera editada por la Dirección General de carreteras del Ministerio de Fomento Español.

El resultado del dimensionamiento de estos elementos son los siguientes:

- Vida útil del anclaje: permanente
- Dimensionamiento para una situación accidental (pseudo-estática)
- Inyectados con lechada de 20 Mpa de resistencia
- Tipo de tirante: cables
- Características del tirante: Límite elástico = 1710 Mpa y carga de rotura 1910 Mpa
- Adherencia admisible del bulbo: calculada según los parámetros geotécnicos C y Φ (0,17 Mpa para la sección 5+920 y 0,16 Mpa para la sección 6+000).

En el cálculo se comprueba que el nivel de compresiones es admisible en el concreto y se analiza la armadura de difusión próxima necesaria. El cálculo se realiza tomando una fuerza de diseño en el anclaje de valor de  $F = 700 \text{ kN}$ ,

quedando del lado de la seguridad del talud, este se analiza con un plano de reparto de 250 x 250.

Antes de la perforación de los anclajes, los cables de los anclajes serán cortados, tratados y limpiados con pintura epóxica que protege de lo corrosivo; esto se debe hacer antes de que el anclaje sea montado; las perforaciones tienen que adquirir un diámetro suficiente para poder proceder con la instalación de los anclajes activos; este proceso es rotativo convencional mediante el sistema por rotopercusión; este proceso se precisa de acuerdo a las características del terreno que se trabaja. Concluida la limpieza de la perforación es colocada lo anclajes, pero tiene que ser en menos de 24 horas; adicionalmente se procede con la lechada de cemento por medio de válvulas distribuidas en toda la longitud central del bulbo ya que se realiza a presión, con esto se procede a tensar el anclaje, pero debe de realizarse obtenido una resistencia de 25 Mpa; par el tensado es necesario las gatas hidráulicas y el sistema de lectura de deformación del acero.

Los anclajes tienen características específicas que se reportan en la siguiente tabla:

Tabla 12: Dimensionamiento de anclajes

Niveles de anclajes	Separación horizontal (m)	Inclinación (grados sexagesimales)	Cota de anclajes (msnm)	Diámetro del bulbo (m)	Longitud del tramo libre (m)	Nº de cables
1	1.5	20	98.85	0.140	25	9
2	1.5	20	101.90	0.140	25	9
3	1.5	20	104.90	0.140	25	9
4	1.5	20	106.80	0.140	20	8
5	1.5	20	108.50	0.140	22	8
6	1.5	20	110.10	0.125	25	7
7	1.5	20	111.80	0.125	23	8
8	1.5	20	113.50	0.125	25	8
9	1.5	20	115.40	0.125	20	7
10	1.5	20	116.90	0.125	24	7
11	1.5	20	118.50	0.125	22	9

Fuente: Fuente: Hebert Sotelo & Asociados.

Los datos que proporciona el programa SLIDE, nos da una proyección de socavamiento de 2 m. de la cota del cauce del río, esto hace que cambie la geometría del talud vertical, así mismo el programa da respuesta al socavamiento del talud en el pie del lecho donde se ve el aumento de la zona crítica que avanza a medida que el caudal aumenta en tiempos de crecida del río. Tomando en consideración que es de suma importancia poder dar solución a este evento de la naturaleza se ha dado respuesta en términos geotécnicos que el avance del socavamiento del talud pone en riesgo el proyecto, por lo tanto, se establece una cuña de concreto para proteger y minimizar el avance del socavamiento del estado actual del pie del talud vertical.

Estos modelamientos se realizan en 2D simulando el estado actual del talud sin reforzamiento, esto como parte de poder obtener diferente comportamiento de la parte socavada del talud vertical en su estado actual y teniendo en cuenta el aumento del caudal propiamente mencionado en la tabla (8).

Los resultados del análisis de la geometría del talud se reportan en 2 dimensiones tal como se muestran en la siguiente figura:

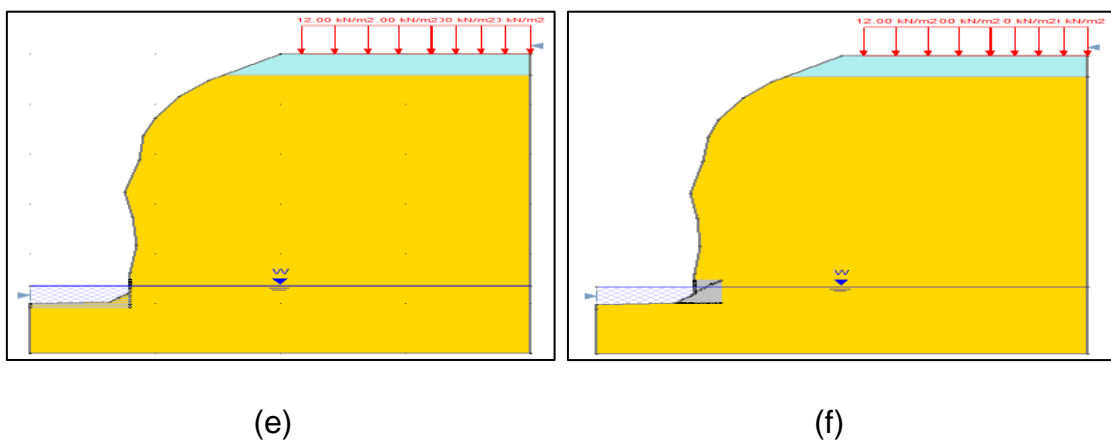


Figura 9: Socavación del lecho del río (e), derecha: Socavación del pie del talud (f).

Los resultados de los cálculos de factores de seguridad considerando el potencial de socavación del pie del talud fueron calculados por el programa SLIDE, esto como parte de las simulaciones hechas en el talud vertical, así mismo los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 13: Factores de seguridad tomando en cuenta el potencial de socavación del lecho del río

Profundidad (m)	Factor de seguridad – Caso pseudo-estático		Factor de seguridad – Caso estático	
	Método Janbu Corrected	Método Spencer	Método Janbu Corrected	Método Spencer
0.00	0.696	0.689	0.712	0.786
1.00	0.670	0.654	0.619	0.619
2.00	0.641	0.631	0.597	0.601
3.00	0.610	0.608	0.651	0.656

Fuente: Datos obtenidos del programa SLIDE, se analizó desde la profundidad 0.00 la cual representa la condición actual del talud vertical.

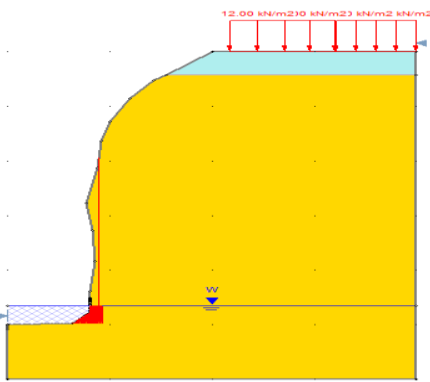
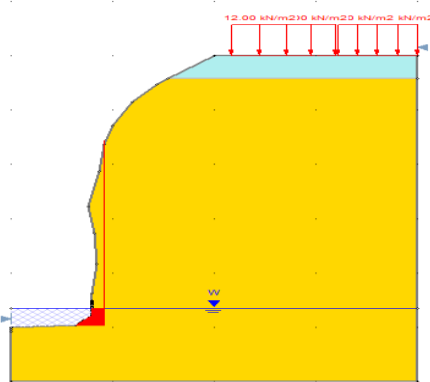
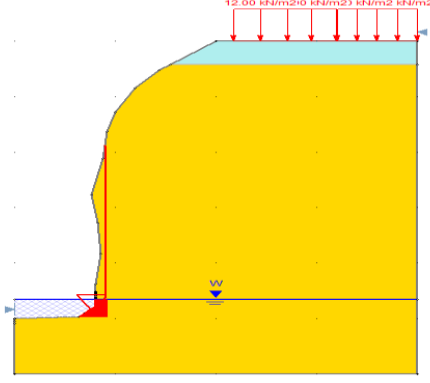
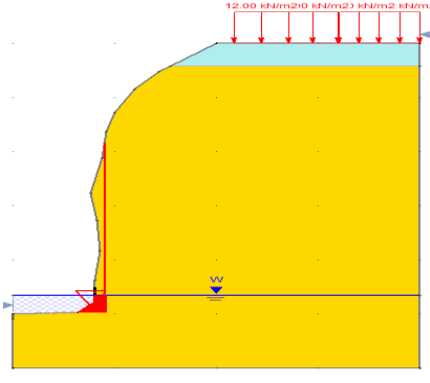
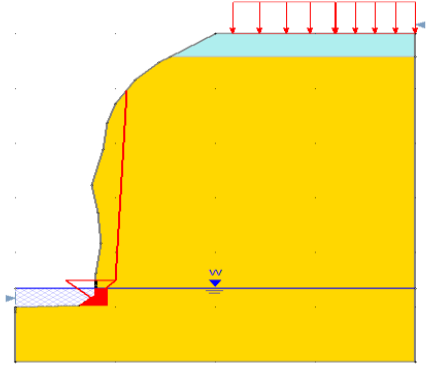
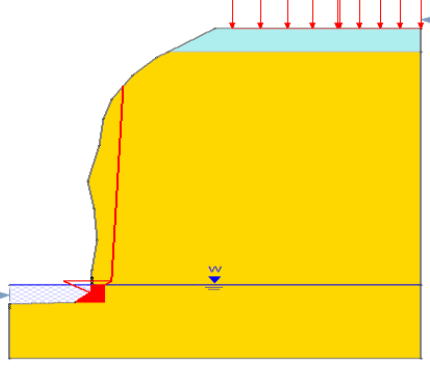
Los resultados de los cálculos de factores de seguridad y el aumento del área socavada del pie del talud vertical fueron calculados por el programa SLIDE, reportado en la siguiente tabla:

Tabla 14: Factor de seguridad tomando en cuenta el aumento del área socavada del pie del talud

Profundidad (m <sup>2</sup> )	Factor de seguridad – Caso pseudo-estático		Factor de seguridad – Caso estático	
	Método Janbu Corrected	Método Spencer	Método Janbu Corrected	Método Spencer
0.540	0.047	0.047	0.712	0.782
0.786	0.035	0.034	0.712	0.782
1.237	0.017	0.018	0.712	0.782
2.273	0.015	0.016	0.712	0.782
3.109	0.012	0.012	0.712	0.782
4.097	0.010	0.013	0.074	0.086

Fuente: Fuente: Datos obtenidos del programa SLIDE, se analizó desde la profundidad 0.00 m. La cual representa la condición actual del talud vertical.

Tabla 15: Superficies de falla en la condición se socavamiento al pie del talud – Caso estático

Profundidad Socavada (m <sup>2</sup> )	Resultados del software SLIDE – Caso estático Método Janbu Corrected	Método Spencer
0.540		
0.786		
1.237		

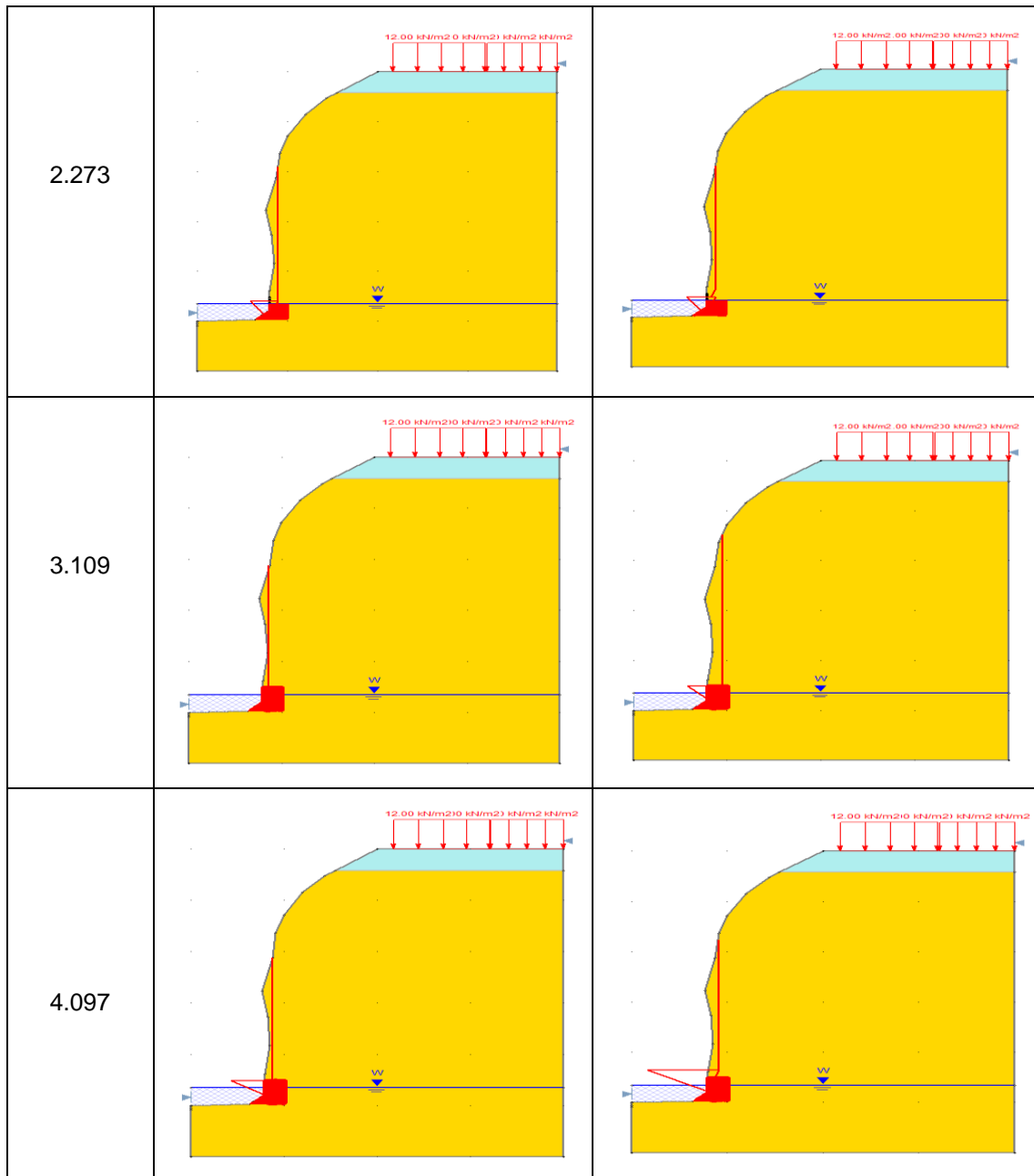
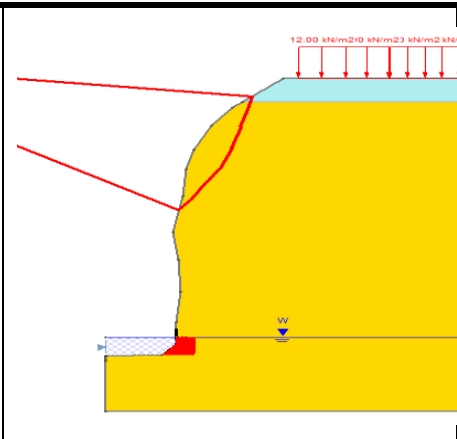
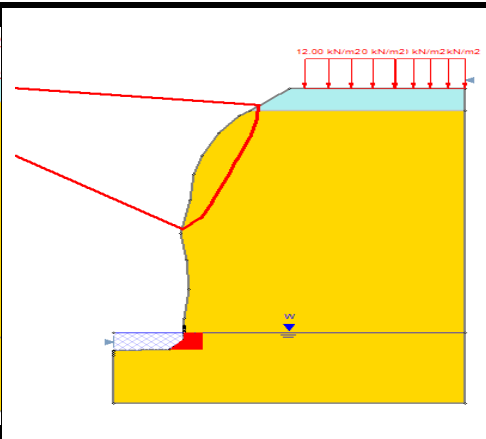
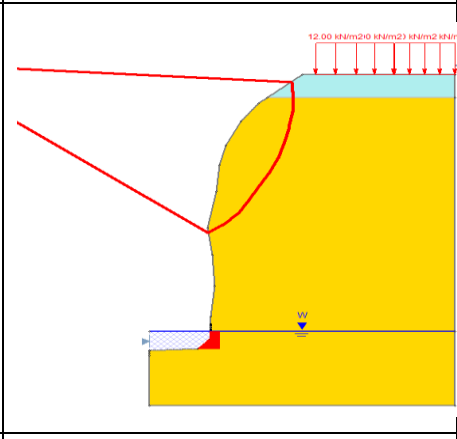
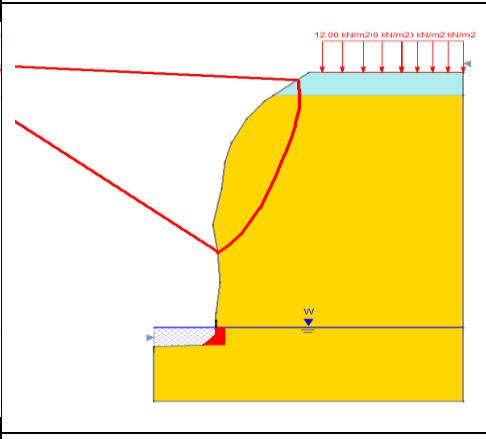
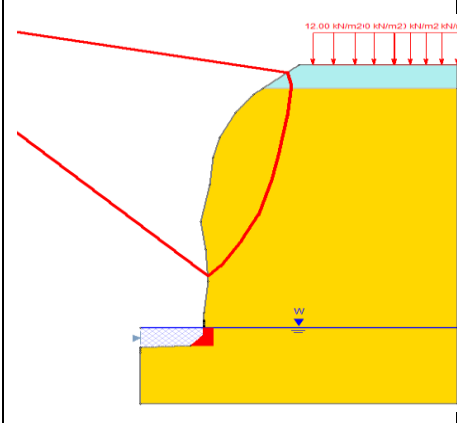
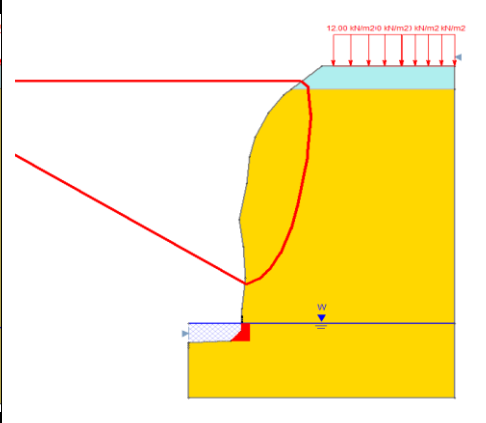


Figura 10: Simulación de las fallas del talud comparadas entre el método Janbu Corrected (columna izquierda) y Spencer (columna derecha). Fotografía elaborada con datos del Software SLIDE 6.0.

Las simulaciones pseudo-estáticos del talud se realizaron comparando los métodos anteriores, los resultados se reportan en la tabla 16 y los esquemas en 2 dimensiones.

Tabla 16: Superficies de falla en la condición de socavamiento al pie del talud - Caso pseudo-estático

Profundidad Socavada (m <sup>2</sup> )	Resultados del software SLIDE – Caso pseudo-estático	
	Método Janbu Corrected	Método Spencer
0.540		
0.786		
1.237		

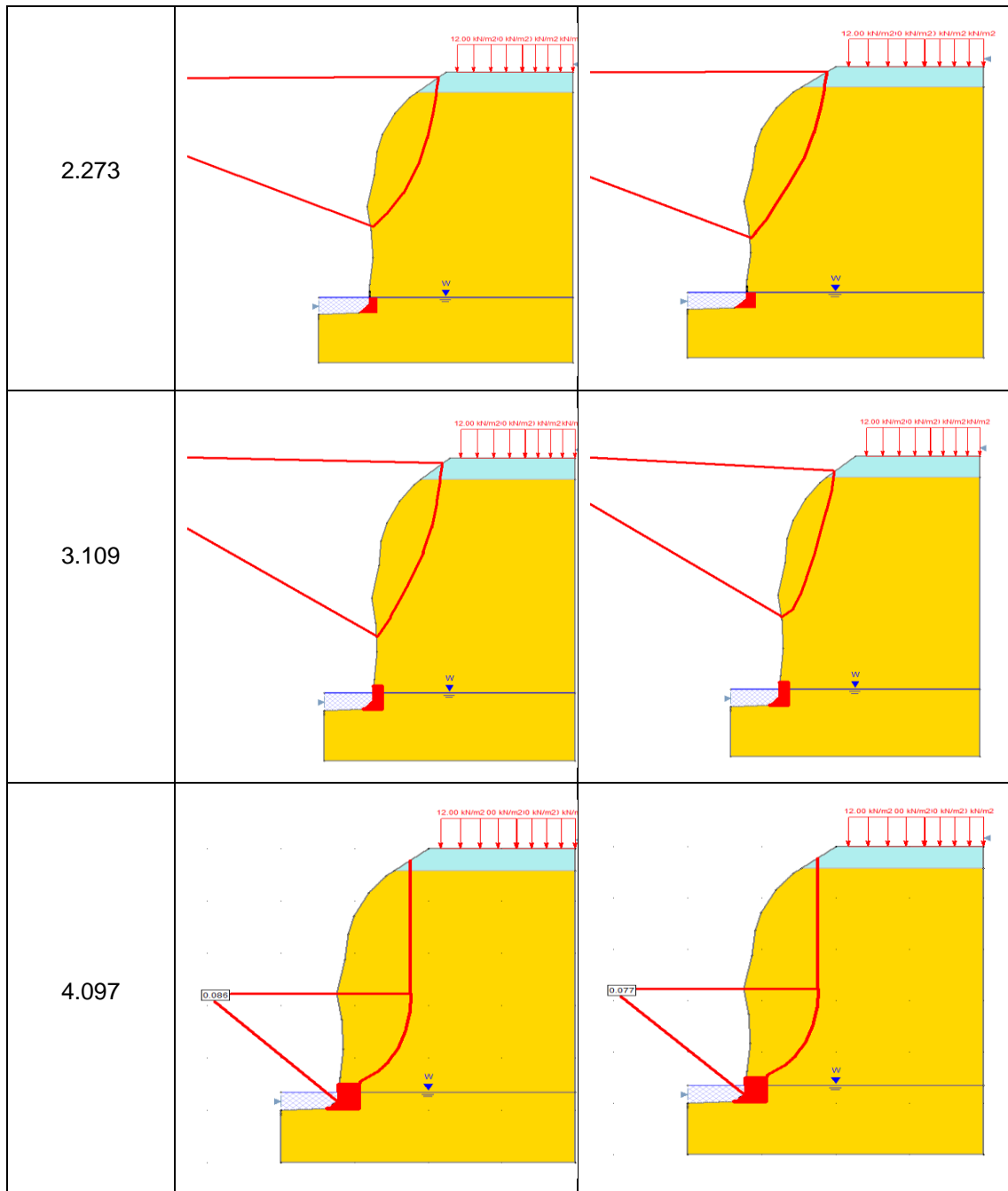


Figura 11: Simulación de las fallas del talud comparadas entre el método Janbu Corrected (columna izquierda) y Spencer (columna derecha). Fotografía elaborada con datos del Software SLIDE 6.0.

Los resultados del factor de seguridad relacionados con la superficie de falla de socavamiento en el lecho del río se reportan en la tabla 17 y los esquemas en 2 dimensiones.



Tabla 17: Superficies de falla en la condición de socavamiento en el lecho del río – Caso estático

Profundidad	Resultados del software SLIDE – Caso estático	
Socavada (m <sup>2</sup> )	Método Janbu Corrected	Método Spencer
0.00		
1.00		
2.00		

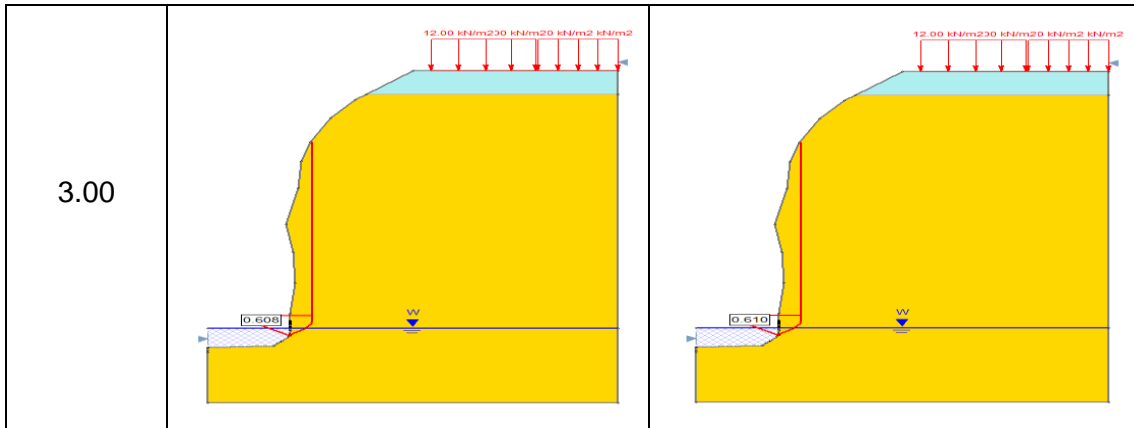


Figura 12: Simulación de las fallas del talud comparadas entre el método Janbu Corrected (columna izquierda) y Spencer (columna derecha). Fotografía elaborada con datos del Software SLIDE 6.0.

Este análisis de comparaciones se obtuvo desde la superficie 0.00 m hasta 3.00 m, como dato inicial para ver los diferentes cambios que realiza el programa a medida que se le colocan diferentes cifras numéricas, así mismo el programa da como respuestas diferentes resultados de factor de seguridad ya que los 2 métodos interpretan a su propia manera en la cual fueron propuestas. Los resultados del factor de seguridad relacionados con la falla de socavamiento en el lecho del río se reportan en la tabla 17 y los esquemas en 2 dimensiones.

Tabla 18: Superficies de falla en la condición se socavamiento en el lecho del río – Caso pseudo-estático

Resultados del software SLIDE – Caso pseudo-estático		
Profundidad Socavada (m <sup>2</sup> )	Método Janbu Corrected	Método Spencer
0.00		

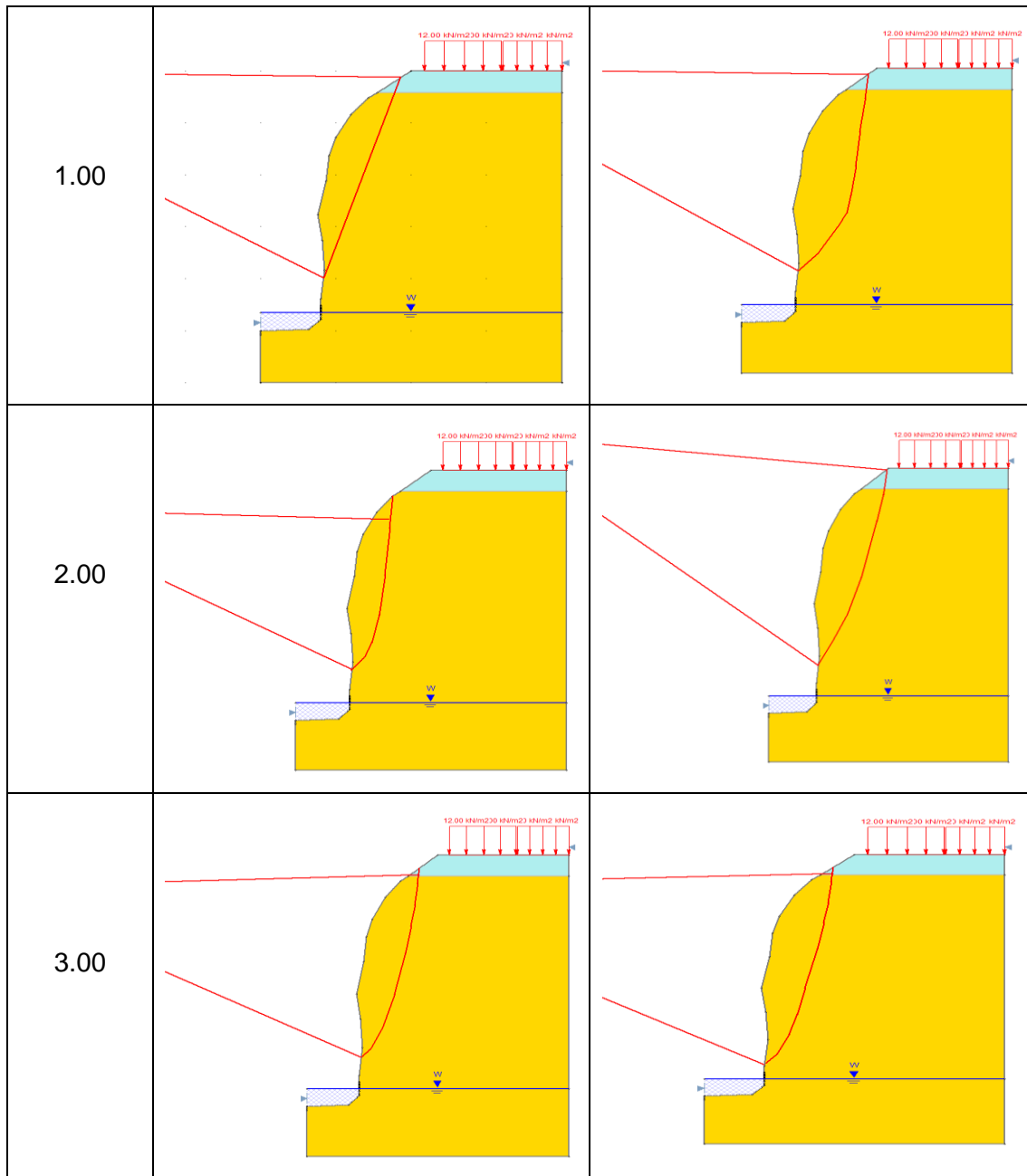


Figura 13: Simulación de las fallas del talud comparadas entre el método Janbu Corrected (columna izquierda) y Spencer (columna derecha). Fotografía elaborada con datos del Software SLIDE 6.0.

### CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL TALUD VERTICAL.

De acuerdo a la campaña geotécnica realizada, el subsuelo del área de estudio está formando esencialmente por las clásicas gravas de Lima.

Debido a la granulometría gruesa de los suelos que conforman las gravas, los ensayos que mejor se adaptan para la caracterización de estos materiales son los ensayos geofísicos, sin embargo, con el objetivo de contratar los resultados

obtenidos a través de la geofísica se han realizado puntualmente ensayos de corte directo a gran escala, ubicados en las áreas de mayor interés.

Zona crítica para el diseño de contención y estabilización del talud en el lecho del río Rímac.

Se han analizado dos secciones transversales situadas en los puntos kilométricos 5+920 y 6+000 y para ello se han realizado un modelo 2D de deformación plana con la aplicación de un sismo en dirección transversal a la pantalla. Se considera una socavación final en el río de 2.00 metros.

Resumen de historia del caudal del río Rímac en contacto con el talud.

La zona de estudio se encuentra en la parte donde el deslizamiento del elemento hídrico hace socavamiento del lecho del talud (debajo del Puente El Ejercito), en periodos de aumento del caudal por la fuerza que desciende de la parte de arriba hacia la parte baja del río, de acuerdo a SENAMHI el promedio anual del caudal es de 29,4% m<sup>3</sup>/s, así mismo los datos históricos arrojan que el promedio alcanzo 70m<sup>3</sup>/s.

Características de los pilotes y anclajes para el diseño de contención y estabilización del talud.

Para la contención del talud inestable se ha propuesto la realización de una pantalla de pilotes de  $\Phi 1000$  separados cada 1.50m. La estructura va provista además de una fila de anclajes activos al terreno también separados cada 1.50 metros, alojada en la viga de amarre de la pantalla.

La sección que se trabajo es desde el pk 5+920 hasta el pk 6+000. Tiene un total de 206 pilotes de  $\Phi 1.00$  m de 26 m de longitud con una fila de anclajes de 27.00 metros de longitud.

Sistema completo de contención para la estabilización el talud en el lecho del rio Rímac

La campaña geotécnica de la zona de estudio se ha realizado en diversas fases a lo largo del tiempo. Los trabajos han consistido en realizar ensayos geofísicos indirectos y excavaciones de calicatas. Las calicatas han permitido la obtención de nuestras sobre las que se han ensayado a corte directo de gran escala, así mismo se han implementado un sistema avanzado de contención con pilotes y anclajes activos para reforzar el estado global del talud, con apoyo de poder obtener el factor de seguridad del talud vertical se trabajó con el programa SLIDE, ya que este software trabaja con el método de equilibrio límite que se

pide en estos proyectos avanzados, así mismo se comparó el método Janbu Corrected y el método Spencer, para ver la diferencia de ambos métodos para el factor de seguridad.

## V. DISCUSIÓN

Los resultados de los parámetros de resistencia del suelo fueron determinados por ensayos de laboratorio de corte directo a gran escala, con relación a los parámetros granulométricos estos tienen relación significativas entre sí, los ángulos de fricción intrínseco y de dilatación son obtenidos por los ensayos de corte directo, si bien es cierto un ensayo de corte directo tiende a que el material pueda alterarse por el motivo del transporte del lugar de estudio hacia el laboratorio; esto hace que se genere la alteración las propiedades de los testigos (muestras de material extraído), también se conoce que el parámetro de fricción intrínseco tiene un valor óptimo estando en el mismo lugar de donde se retira, la trayectoria que se estima hace que el material tome un mayor valor; cabe precisar que hasta ese momento solo se utilizó información recurrente de este equipo de laboratorio para realizar los ensayos de muestras de gravas (grava de Lima).

Con respecto al desarrollo del análisis de equilibrio límite se puede afirmar que, por la altura de la pendiente del acantilado, el talud en condiciones normales corre el riesgo de fallar, en este sentido se obtuvieron factores de seguridad (FS) muy por debajo del mínimo aceptable para garantizar su estabilidad, como se puede observar en la tabla 13 (profundidad de 0.000 m hacia adelante). Ocurre el efecto de socavamiento del pie del talud para el caso estático. Se visualizan que el FS son muy bajos que van decreciendo a medida que el fenómeno de erosión va avanzando (ver tabla 14), así mismo se muestran la superficie de falla crítica (ver tabla 15), esto indica que el talud en el estado que se encontraba fallaría debido a la falta de la implementación de soporte del suelo (deslizamiento del material hacia el acantilado), además, en el caso pseudo-estático, se visualiza que la socavación no tiene influencia en la estabilidad del talud vertical, sino hasta llegar a un grado de socavación equivalente de  $4.097 \text{ m}^2$ , aquí el factor de seguridad es menor al mínimo requerido (ver tabla 13). En el marco de socavamiento del lecho del río también se visualiza que el factor de seguridad en el caso estático se reduce a medida que sigue la degradación del cauce; por lo tanto, en el caso pseudo-estático no se puede obtener ni identificar el efecto de socavamiento del factor de seguridad; sin embargo, al igual que el caso anterior los factores de seguridad son menores a los requeridos según norma.

Partiendo de obtener los resultados del análisis de equilibrio límite, se puede

decir que hay gran similitud entre los factores de seguridad de ambos métodos trabajados (Janbu Corrected y Spencer).

Los resultados que arrojo nuestro trabajo de investigación para la estabilidad del talud mencionado en toda la literatura hace posible la implementación de nuevos sistemas de reforzamiento en taludes expuestos a socavamiento, esto justifica la colocación de anclajes activos y una pantalla de pilotes a 1.5 m de separación entre sí a lo largo de toda la corona del talud, así mismo este trabajo no hubiera sido posible sin la incorporación de métodos numéricos para poder calcular el FS mediante métodos de equilibrio limite basados en la teoría de falla de Mohr–Coulomb (Terzaghi y Peck, 1967), teniendo en cuenta que se trabajó con el programa Slide6.0 donde se comparó los FS de los métodos de Janbu Corrected y Spencer; estos dos métodos arrojaron factores de seguridad menores (0.98) cuando se calcula el talud en estado normal ósea sin reforzamiento, según normas nacionales e internaciones el FS debería estar en 1.3 en proceso de reforzamiento o construcción y 1.5 a más se considera un talud estable a deslizamientos, sin embargo es de necesidad poder conocer el tipo de material que contiene el talud, este este trabajo los resultados de las gravas obtenidas por ensayos triaxiales y de corte directo a gran escala dieron que la grava de Lima contiene parámetros muy buenos a comparaciones de otros tipos de suelos, obteniendo así ángulos de fricción y de dilatación favorables para la estabilización del talud, a esto, los parámetros obtenidos mediante los ensayos de corte directo a gran escala fueron : peso específico ( $\gamma$ ) es de 22 kN/m<sup>3</sup>, ángulo de cohesión (C) es de 20 kPa y su ángulo de fricción ( $\Phi$ ) es de 45°. Estos resultados son comparados con Aryanti, Eveny, Talus & Saptono (2018) que también trabajaron en la pendiente de la ribera del río Lusi con el mismo programa Slide6.0 pero añadieron los métodos de Obispo Simplificado, y el método Janbu Simplificado y Bishop, estos cumplen la ecuación de equilibrio limite, esto nos presenta la diferencia del modelamiento de su FS que arrojo el valor de 1.311, 1.304, 1.302 y 1.301 respectivamente en el método simplificado de Bishop; adicionalmente en el trabajo que ellos realizaron adicionaron micropilotes con distanciamiento de 1 m entre pilote, para este estudio también se le adicionaron anclajes con el método de lechada de 200 kN para poder obtener la estabilidad global de la pendiente, por otra parte los resultados



obtenidos del suelo son de arcillas y sus parámetros son; peso unitario ( $\gamma$ ) promedio es de 15, kN/m<sup>3</sup> y el ángulo de cohesión (C) es de 21 kPa y ( $\Phi$ ) ángulo de fricción promedio es de 140°.

Los resultados con respecto a la altura del talud que hemos trabajado es de 30 m de altura que se compone de un tipo de suelo no estable (relleno), en la parte superior del talud, tiene 5 metros de profundidad que cubre toda la zona estudiada, una vez excavado todo el terreno de relleno no controlado se encontró material adecuado (GW) típico de un suelo que tiene buenos parámetros, además los ensayos de corte directo y ensayos geofísicos dan como resultado parámetros de un tipo de suelo muy favorable (grava de Lima), y la parte baja del pie del talud se produce la socavación; este fenómeno forma una cuña de 50°, lo que hace posible la implementación de pilotes y anclajes para reforzar el talud expuesto a socavación así mismo; así mismo se le ha considerado la capa freática del caudal del río que hace que se produzca socavamiento y debilitamiento del pie del talud, así mismo el FS arrojó como valor numérico de 1.5 considerándosele estable en todo el proceso constructivo, así mismo para poder avanzar en la pantalla de pilotes, estas se realizaban en un buen tiempo estimado (1 día) de excavación y de armado de la estructura del pilote.

Wang, Li, Su, Zhang & Chen (2020) en sus resultados de diseño de esquemas de refuerzos arrojaron que trabajar con pendientes muy elevadas que forman ángulos relativamente empinadas de 50° y 60° hacen posible la implementación de sistemas avanzados como la colocación de pilotes y anclajes para reforzar taludes con pendientes muy pronunciadas, sin embargo, han utilizado tres métodos principales para la estabilidad geotécnica en los taludes: (1) métodos tradicionales de análisis, (2) método de análisis numérico, (3) método de creación; esto como métodos de equilibrio límite para poder obtener el FS, así mismo han implementado estudios geológicos para poder observar si los coeficientes sísmicos de aceleración no afecten la seguridad global del talud. Así mismo ambos resultados tienen las mismas características en la implementación de estos nuevos sistemas de reforzamiento y de la obtención de los factores de seguridad.

Rao, Wu & Mo (2020) obtuvieron resultados muy resaltantes en modelamientos numéricos en 3D, esto para dar solución a la incertidumbre que se genera por el

comportamiento de los poros de agua en el interior del talud. Así mismo recomiendan dar mucha importancia para el coeficiente anisotrópico y no homogéneo del suelo estudiado para poder obtener el FS mientras se ejecuta el proceso de pilotaje, sin embargo, la masa del suelo natural exhibe algo de anisotropía en la dirección de los cortes triaxiales, esto podría afectar significativamente la resistencia del material al corte del suelo (ensayos de corte directo); lo que podría afectar significativamente el factor de seguridad del talud; así mismo los parámetros utilizados en el cálculo son los siguientes: peso específico unitario ( $\gamma$ ) es de  $19\text{kN/m}^3$ , su cohesión (C) es de  $30\text{kPa}$ , su ángulo de fricción interna ( $\Phi$ ) es de  $20^\circ$  y su ángulo de inclinación del talud ( $\beta$ ) es de  $45^\circ$ , teniendo en cuenta el ancho del pilote de  $1.5\text{ m}$ , la sensibilidad del suelo (St) es de  $1.6$  y su resistencia a la penetración (Ps) es de  $1.2\text{ Mpa}$ . En el proceso de construcción de los pilotes en el talud se recomendó tener un cuidado especial con el aumento de la inclinación del talud ( $\beta$ ) ya que los valores de FS disminuyen rápidamente, especialmente cuando el ángulo inclinado está cambiando, esto tiene una influencia significativa en el factor de seguridad de una pendiente, lo que significa que el efecto del pilotaje sobre la estabilidad de la pendiente no puede ser descuidado para pendientes suaves, los resultados de este estudio indican que la anisotropía y la heterogeneidad del suelo tienen efectos adversos, efecto sobre la estabilidad de la pendiente; pendientes pronunciadas, el efecto de los pilotes no se puede descuidar la conducción al evaluar la estabilidad del talud, adicional a este trabajo se realizó un nuevo método para estimar el FS de pendientes durante la ejecución de los pilotes basada en la bocina 3D, al emplear el teorema de límite superior y técnica de aumento de fuerza, la expresión explícita del FS es adquirido. La efectividad y precisión del método propuesto es bien demostrado al comparar los resultados obtenidos.

## **VI. CONCLUSIONES**

Las conclusiones de la investigación fueron las siguientes:

1. Los parámetros de resistencia obtenidos se determinaron conociendo su comportamiento dilatante de la grava de Lima y estas a su vez tienen como resultados favorables parámetros derivados de la granulometría y con ello; ángulos de fricción intrínseco y de dilatación, los resultados muestran un tipo GW por su alta resistencia a trabajos de compresión al corte.
2. Se estudió el avance gradual de socavamiento del talud vertical mediante el análisis de método de equilibrio límite, el factor de seguridad fue estudiado en casos estáticos (1.50) y pseudo-estáticos (1.10), esto hace posible la justificación y la necesidad de poder implementar sistemas avanzados de reforzamiento del talud vertical.
3. El promedio anual del caudal obtenido fue  $70\text{m}^3/\text{s}$ ; de ello se tomó el promedio mínimo de  $31,3\text{m}^3/\text{s}$  para referencia de los cálculos de socavación. Como es natural que los deslizamientos de los taludes suelen coincidir con el llamado fenómeno del niño, esta información sirve como dato para poder obtener el grado de socavación en el pie del talud vertical, que se manifiesta como la licuación del terreno del río.
4. El sistema avanzado de contención del talud quedó conformado por una pantalla de pilotes desde la parte superior (corona) hacia la parte baja del talud (verticalmente), adicionalmente se le añadió una fila de anclajes activos en la parte frontal del talud. Estos dispositivos fueron dimensionados con el programa SLIDE en 2D que proponen el distanciamiento de pilote a pilote y de anclaje a anclaje.
5. Se utilizó ensayos de integridad (ultrasónicos) en toda la pantalla de pilotes; esto como medida de supervisión y conocer el buen comportamiento que tiene el concreto dentro de los pilotes.
6. El reforzamiento para el talud vertical elegida permite la estabilidad global del talud cuyo diagnóstico mostraba presencia de socavación intermedia con riesgo al deslizamiento de material del talud en el tramo estudiado pk 5+920 a pk 6+000.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Las recomendaciones para futuras investigaciones son las siguientes:

1. Se recomienda realizar el análisis de costos para la implementación del nuevo sistema de reforzamiento y disponer el factor costo beneficio del desarrollo y aplicación para la estabilización y reforzamiento de taludes en otros lugares.
2. Evaluar los efectos de cambios de las propiedades físicas y mecánicas de las muestras (testigos) respecto a las condiciones actuales en el talud, en su reforzamiento. Usualmente las propiedades físicas y mecánicas son alteradas durante el proceso de transporte de muestras a los laboratorios. Así mismo complementar con estudios geológicos así mismo, estudios geofísicos.
3. Se recomienda llevar a cabo modelos de análisis numéricos 3D para el desarrollo y modelamiento de la pantalla de pilotes y de los anclajes activos, ya que muchos estudios de reforzamiento de taludes tienen limitaciones para el modelamiento avanzado en condición de deformación plana; así mismo es conveniente estudiar los esfuerzos cíclicos en función de la presión de confinamiento.
4. Los ensayos triaxiales tienen enorme alcance para lograr la adecuada caracterización de tipos de suelo; como se ha mencionado en esta literatura (grava de Lima), por lo que es recomendable que, para proyectos de reforzamiento de talud con pilotes y anclajes activos en Lima Metropolitana se realicen ensayos triaxiales, estos deben estar disponibles.
5. Se recomienda realizar otros ensayos de integridad a lo largo de los pilotes para la verificación del estado del concreto, esto con el fin de obtener resultados favorables del comportamiento del pilote, frente a los esfuerzos transmitidos por el material del talud, considerando los empujes internos. Considerar también las fuerzas externas que soportará la pantalla de pilotes.
6. Determinar la ubicación de zonas con napa freática alta en los alrededores del talud, que pueden perjudicar el reforzamiento propuesto.

## REFERENCIAS

## Referencias

- Aditya Putra Pratama, H. C. (2019). Parametric Study of the Effect of Ground Anchor on Deep Excavation Stability. *Journal of Civil Engineering Forum January 2020*, 6(1): 19-26.
- Agua, A. N. (2010). *Evaluación de los Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Rímac*. Lima, Diciembre: Informe Final.
- Ahmad Rifa'i, I. W. (2018). SLOPE STABILITY ANALYSIS OF INTEGRATED MUNICIPAL DISPOSAL SITE BASED ON ORGANIC CONTENT CHANGE TO OPTIMIZE EMBANKMENT CAPACITY. <https://www.researchgate.net/publication/341669209>. Municipal Disposal Site Piyungan Yogyakarta: GEOMATE - Kuala Lumpur, Malaysia, Nov. 20-22, 2018 .
- Ahmed Abdelaziz, D. H. (2017). The effect of pile parameters on the factor of safety. *Housing and Building National Research Center HBRC Journal*.
- Aldo O. Oliva-González, I. F.-P.-A. (2019). Landslide risk assessment in slopes and hillsides. Methodology and application in a real case1. *DYNA* <http://dyna.medellin.unal.edu.co/>.
- Aldo Onel Oliva González, R. J. (2017). Evaluación del riesgo por deslizamiento de una ladera en la ciudad de Tijuana, México. *Tecnura* <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/issue/view/890> DOI: <https://doi.org/10.14483/22487638.12063>.
- Azeze, A. W. (2018). Assessments of Geotechnical Condition of Landslide Sites and Slope Stability Analysis Using Limit Equilibrium Method around Gundwin Town Area, Northwestern Ethiopia. *Research Square Preprint CCBY 4.0*.
- D E Aryanti, O. N. (2018). Slope stability analysis in Lusi River, Kedungrejo using limit. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 212 (2018) 012034*. Location of Landslide in Kedungrejo, Purwodadi, Grobogan: ICEMINE.
- Einar John Lande, K. K. (2020). Effects of Drilling for Tieback Anchors on Surrounding Ground: Results from Field Tests. *ASCE Downloaded from ascelibrary.org by 190.234.57.31 on 06/10/20. Copyright ASCE. For personal use only; all rights reserved*.
- George Fernandes AZEVEDO, H. E. (Brasília. 2018). ANÁLISE DE AMEAÇA DE DESLIZAMENTOS PELO USO DE . *São Paulo, UNESP, Geociências*, v. 37, n. 3, p. 655-668, 2018.
- Hamid Faiz, G. Y.-g. (2020). Stability Analysis of Slopes Based on Limit Equilibrium and Finite Element Methods for Neelum Jhelum Hydropower Project, Pakistan- Case Study. *American Journal of Engineering Research (AJER)* .
- Hazarika, I. I. (2015). *Soil Mechanics*. U.S.: Government: CRC Press.
- Hernandez, R. F. ((2014)). Metodología de la investigación . (Sexta ed.). México: McGraw-Hill/Interamericana editores, S.A. de C.V. .
- Hui, D. L. (2015). Yangtze Riverbank Slope Stability by Water Level Change in the Three Gorges Reservoir . *EJGE Vol. 20 [2015], Bund. 7* .
- Inthuorn Sasanakul, S. G. (October 2019 ). Deep Soil Test Borings to Determine Shear Wave Velocities Across South Carolina . *South Carolina Department of Transportation* .
- J R Goh, M. F. (2020). Stability analysis and improvement evaluation on residual soil slope: building cracked and slope failure . *IOP Conference Series: Materials Science and*



*Engineering*. Universiti Malaysia Pahang, 26300 Kuantan, Pahang.: doi:10.1088/1757-899X/736/7/072017.

- J. Michael Duncan, S. G. (2014). Soil Strength and Slope Stability Second Edition. En S. G. J. Michael Duncan, *Soil Strength and Slope Stability Second Edition* (pág. p. 81). U.S.A: Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey Published simultaneously in Canada.
- K. Georgiadis, M. G. (2013). Lateral bearing capacity of rigid piles near clay slopes. *Soils and Foundations*.
- Karen Lizeth Grattz, J. D. (24 de mayo 2018). Análisis de los factores que determinan el diseño de mallas metálicas para la. *Obras y Proyectos 23, 25-38*.
- Lorenzo, V. K. (2020). Slope Stability Analysis for Deterministic Shallow Landslide Assessment and Mapping: A Case Study in Kibawe, Bukidnon. V. K. S. Caingles & G. A. Lorenzo / *Mindanao Journal of Science and Technology Vol. 18 (1) (2020) 51-66* .
- Luzhao Dan, M. T. (2019). Static and Dynamic Stability Analysis of the Gravity. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 304 (2019) 042037*. China: IOP Publishing.
- M.W. Agam, M. H. (2015). Slope Sensitivity Analysis using Spencer's Method in Comparison with General Limit Equilibrium Method. *5th International Conference on Recent Advances in Materials, Minerals and Environment (RAMM) & 2nd International Postgraduate Conference on Materials, Mineral and Polymer (MAMIP), 4-6 August 2015* . Universiti Sains Malaysia: Procedia Chemistry 19 ( 2016 ) 651 – 658 .
- Pingping Rao, J. W. (2020). 3D Limit Analysis of the Transient Stability of Slope during Pile Driving in Nonhomogeneous and Anisotropic Soil. *Hindawi. Advances in Civil Engineering. Volume 2020, Article ID 7560219, 10 pages.*  
<https://doi.org/10.1155/2020/7560219>.
- Rolf Katzenbach, S. L. (2017). *Foundation Systems for High-Rise Structures*. EE.UU: CRC Press Taylor & Francis Group 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton, FL 33487-2742.
- Silva, J. L. (January 2020). Reliability Analysis of a Controlled Stage-Constructed and Reinforced Embankment on Soft Ground Using 2D and 3D Models. *Front. Built Environ. 5:150. doi: 10.3389/fbuil.2019.00150*.
- Suárez, J. (2009). *Deslizamientos. Análisis Geotécnico Vol. 1* . Bogotá: Universidad Industrial de Santander.
- Suárez, J. (2009). *Deslizamientos. Técnicas de remediación*. Bogotá: Universidad Industrial de Santander.
- Tao Zhigang, D. F. (2019). Numerical simulation analysis of anchorage. *International Journal of Coal Science & Technology*.
- Viviescas, J. O. ( 16 de agosto 2017). Reliability-based designs procedure of earth retaining walls in geotechnical. *Obras y Proyectos 22, 50-60*.
- W. Fernández \*, S. V. (06/03/2018). Probabilistic analysis of slope stability in completely. *Revista Ingeniería de Construcción RIC*.

Weiguang Wang, W. L. (2020). Reinforcement scheme design for geotechnical slope engineering. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. China: IOP Publishing.

Zheng, S. (EMCEME 2019). Application and Research of Multiple Support Types in the Combination of Deep Foundation Pits . *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 782 (2020) 042026*.

## **ANEXOS**

### Variable y operacionalización

Variables		Definición conceptual	Dimensión	Indicadores	Unidades
Dependiente	Talud expuesto a socavación	La gravedad que desciende el elemento hídrico hacia el cauce del río, hace que se produzca la socavación del pie del talud vertical, lo que da paso al deslizamiento de masa de materiales hacia el río.	Estudio Geotécnico	Estudio del suelo, resistencia a la compresión.	KN/m <sup>3</sup>
			Zona Critica	Grado de licuación, socavación.	m <sup>3</sup>
			Estudio de caudal	Datos de (ANA) y SENAMHI, para el caudal máximo	m <sup>3</sup> /s
			Caracterización Geotécnica	Angulo de Fricción	(°)
				Angulo de Dilatación	(°)
				Deformación por corte	Adimensional
				Módulo de corte	Mpa
				Cohesión	kPa
				Densidad	KN/m <sup>3</sup>
				Relación de dependencia del esfuerzo	Adimensional
Factor de seguridad	Adimensional				
Independiente	Diseño de contención de taludes	Los sistemas de contención de taludes avanzados están compuestos por elementos de refuerzo que tiene como objetivo principal de reducir las fuerzas que actúan en el talud.	Reforzamiento en el talud Vertical	Longitud de pilotes	m
				Separación de pilotes	m
				Diámetro de pilotes	m
				Separación vertical de anclajes	m
				Longitud de cables de anclaje	m
				Cantidad de cables de anclajes	Adimensional
				Separación horizontal de anclajes	m
				Niveles de anclajes	Adimensional

## Instrumentos de recolección de datos

### Ficha Técnica N° 1

Nivel de anclaje	Longitud del tramo libre (m)	Separación horizontal (m)	Inclinación (°)	Cota de anclaje (msnm)	N° de cables	Diámetro del bulbo

Fuente: Recolección de datos para anclajes.

### Ficha Técnica N° 2

Diámetro de Pilote (m)	Separación entre pilotes (m)	Longitud del pilote (m)

Fuente: Recolección de datos para Pilote.

### Ficha Técnica N° 3

Denominación del Muro	Altura del Muro (m)

Fuente: Recolección de datos para muro de contención.

## Fotografías en la zona de estudio

### Fotografía 1

Perforación de la pantalla de pilotes



Fuente: Tomada por la supervisión de obra Nippon Koei LAC

### Fotografía 2

Topografía en la zona de estudio (pantalla de pilotes)



Fuente: Tomada por la supervisión de obra Nippon Koei LAC

### Fotografía 3

Pilotaje en la pk 5+920



Fuente: Tomada por la supervisión de obra Nippon Koei LAC



## Perforación en la zona de pantalla de pilotes y colocación de concreto

Fotografía 1

Perforación y avance de obra



Fuente: Tomada por la supervisión de obra Nippon Koei LAC

Fotografía 2

Llenado de pilotes con concreto premezclado



Fuente: Tomada por la supervisión de obra Nippon Koei LAC

Fotografía 3

Excavación de la corona de pilotes para la colocación de la viga de amarre



Fuente: Tomada por la supervisión de obra Nippon Koei LAC



## Excavación de la corona de pilotes para la instalación de la viga de amarre

Fotografía 1

Visualización de excavación de las cabezas de pilotes



Fuente: Tomada por la supervisión de obra Nippon Koei LAC

Fotografía 2

Protección de la corona de pilotes para el llenado del concreto



Fuente: Tomada por la supervisión de obra Nippon Koei LAC

Fotografía 3

Colocación de concreto premezclado para la base de la viga de amarre



Fuente: Tomada por la supervisión de obra Nippon Koei LAC



## **Colocación de la base para la viga de amarre en la corona de la pantalla de pilotes**

Fotografía 1

Colocación de concreto como base para la instalación de la viga de amarre



Fuente: Tomada por la supervisión de obra Nippon Koei LAC

Fotografía 2

Limpieza de las puntas de pilotes y curación del concreto



Fuente: Tomada por la supervisión de obra Nippon Koei LAC

Fotografía 3

Limpieza de la pantalla de pilotes en la pk 6+000



Fuente: Tomada por la supervisión de obra Nippon Koei LAC



## Colocación de la viga de amarre y avance de perforación

Fotografía 1

Colocación de acero para la viga de amarre



Fuente: Tomada por la supervisión de obra Nippon Koei LAC

Fotografía 2

Avance de la perforación para la pantalla de pilotes



Fuente: Tomada por la supervisión de obra Nippon Koei LAC

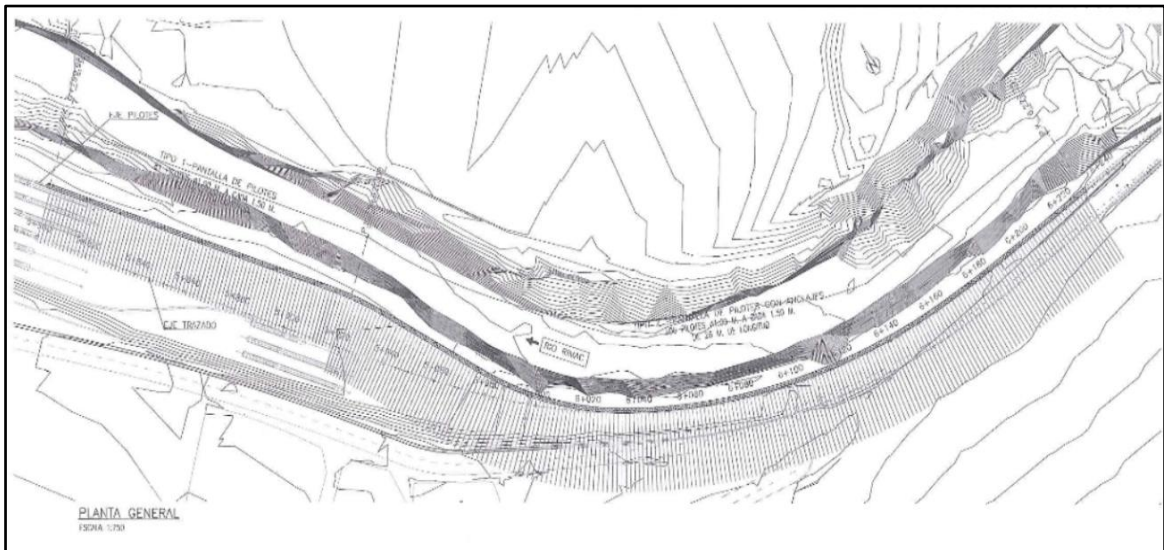
Fotografía 3

Supervisión de toda la longitud de la estructura del pilote



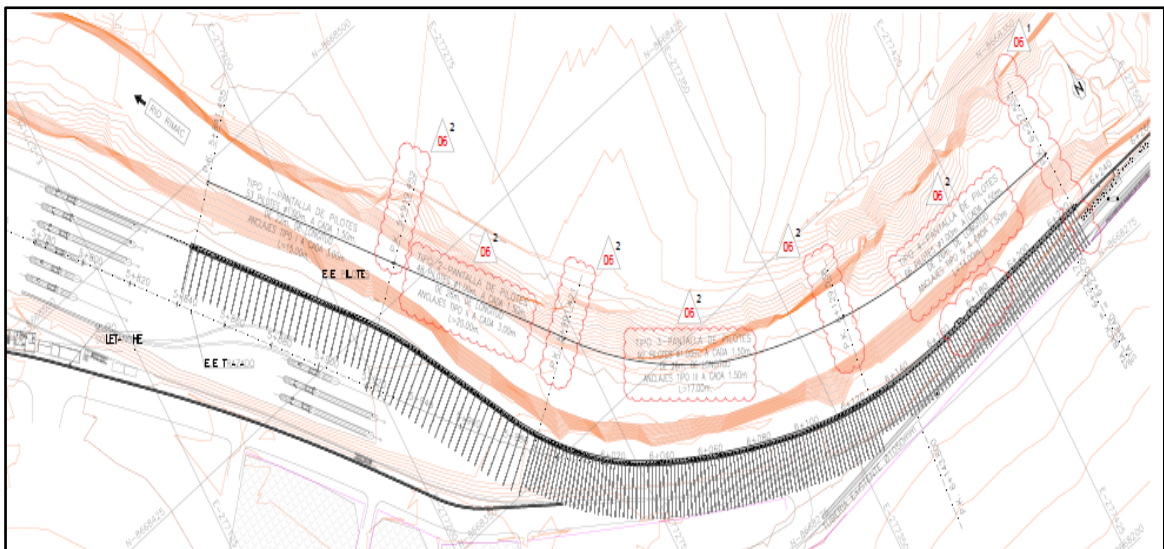
Fuente: Tomada por la supervisión de obra Nippon Koei LAC

## Plano general



Fuente: Oficina técnica por la supervisión de obra Nippon Koei LAC

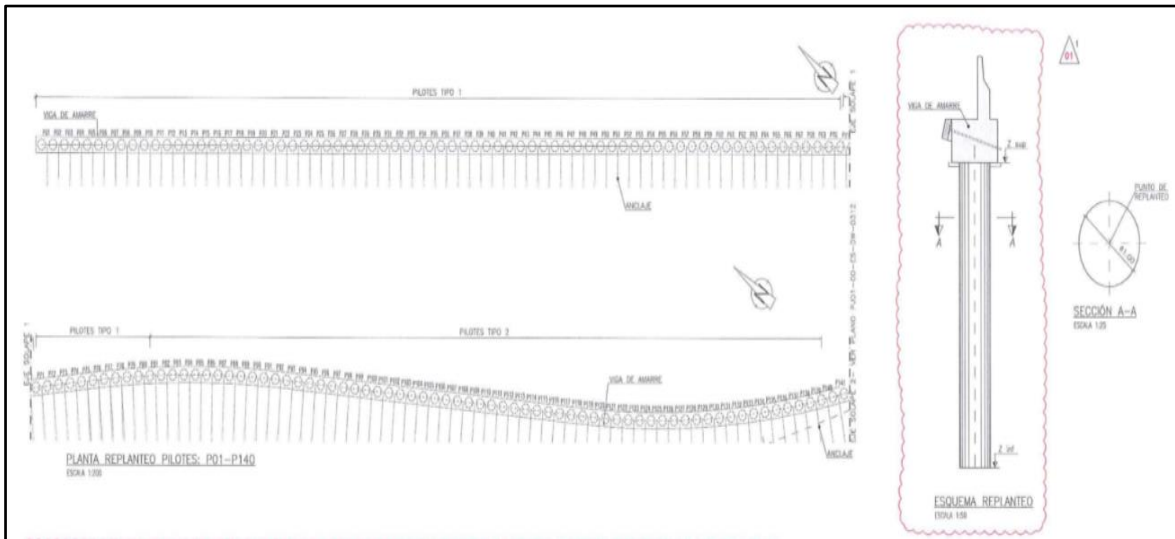
## Plano general de la zona estudiada secciones 5+920 – 6+000



Fuente: Oficina técnica por la supervisión de obra Nippon Koei LAC

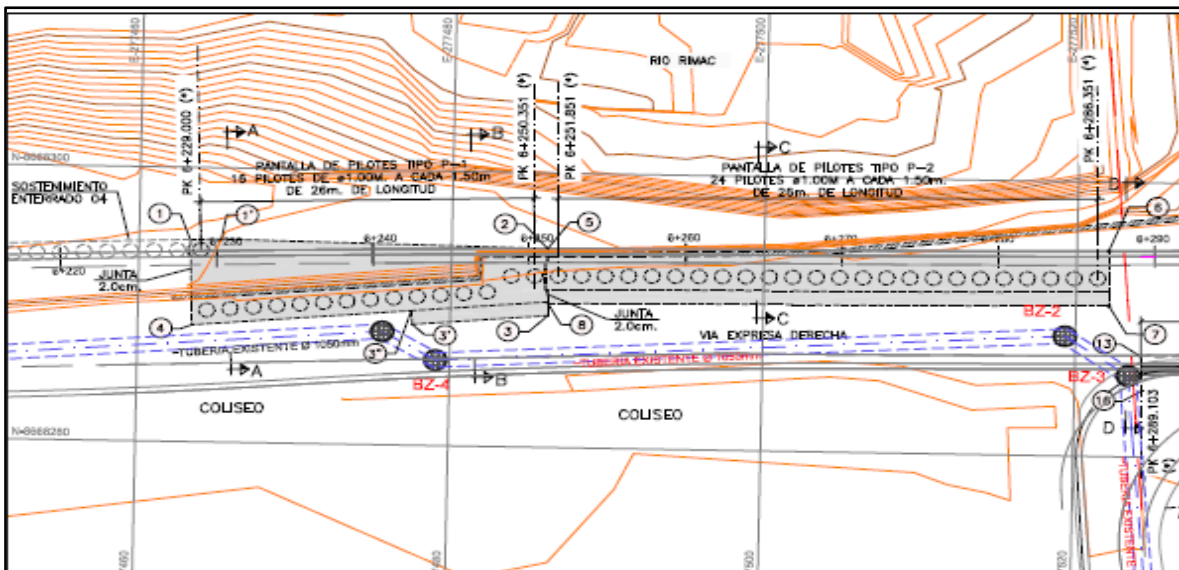


## Plano de replanteo de pilotes



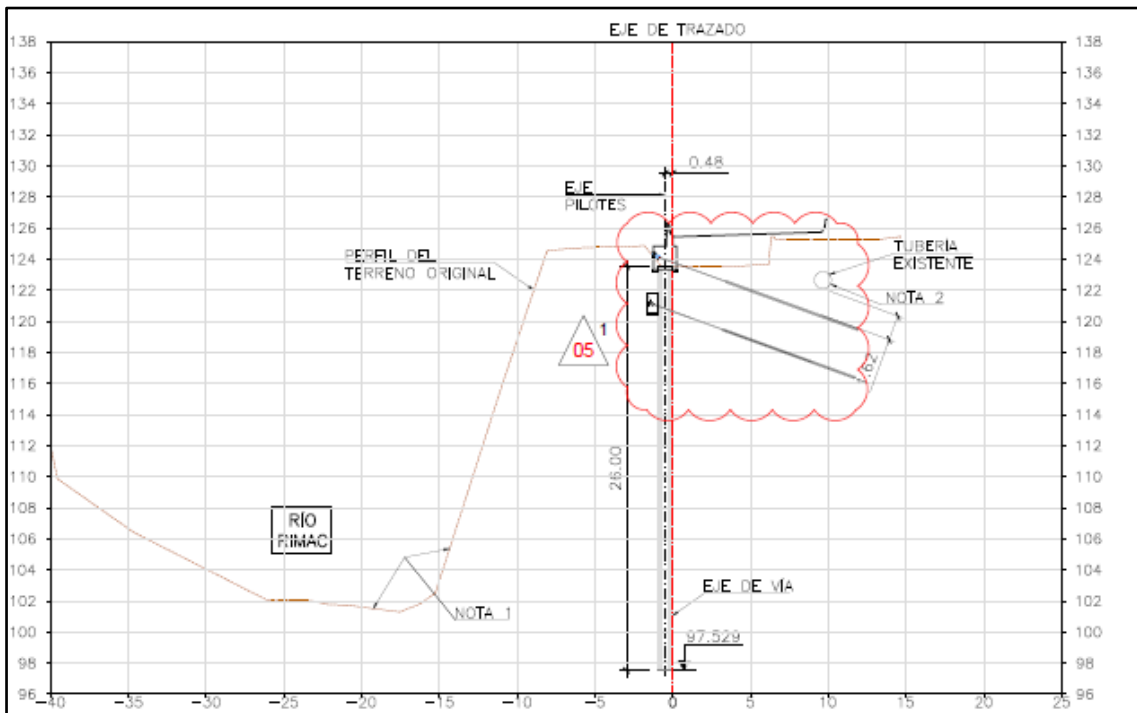
Fuente: Oficina técnica por la supervisión de obra Nippon Koei LAC

## Plano de colocación de pilotes



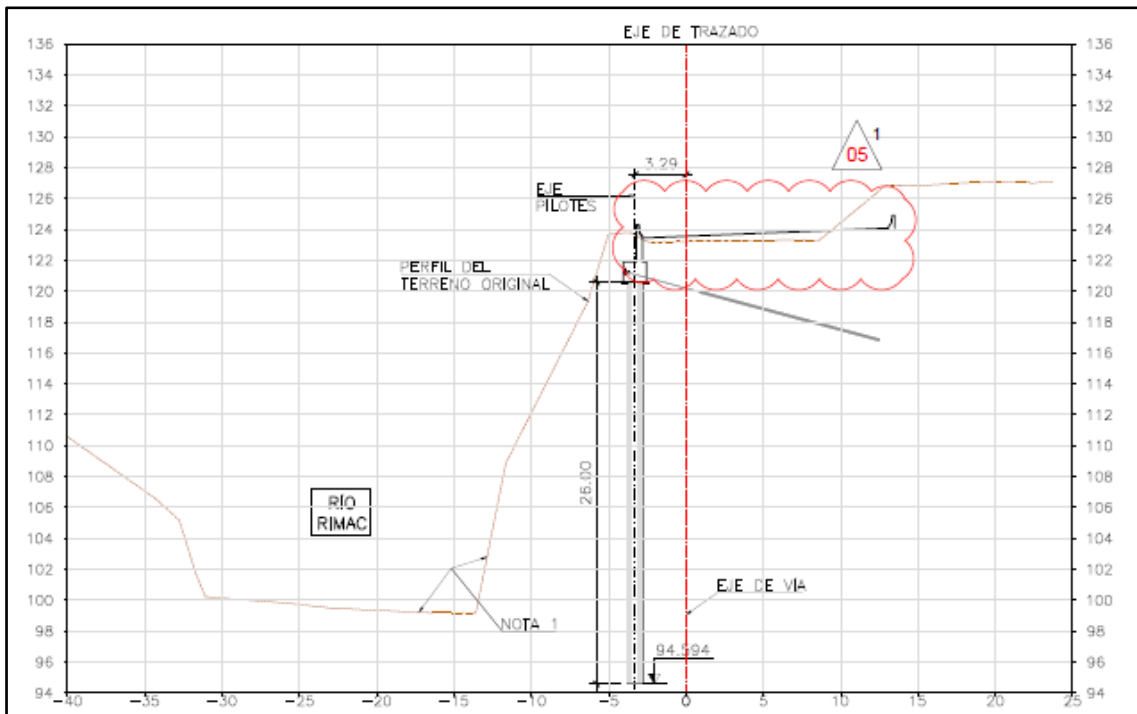
Fuente: Oficina técnica por la supervisión de obra Nippon Koei LAC

### Eje de trazo sección transversal p.k. 6+000.00



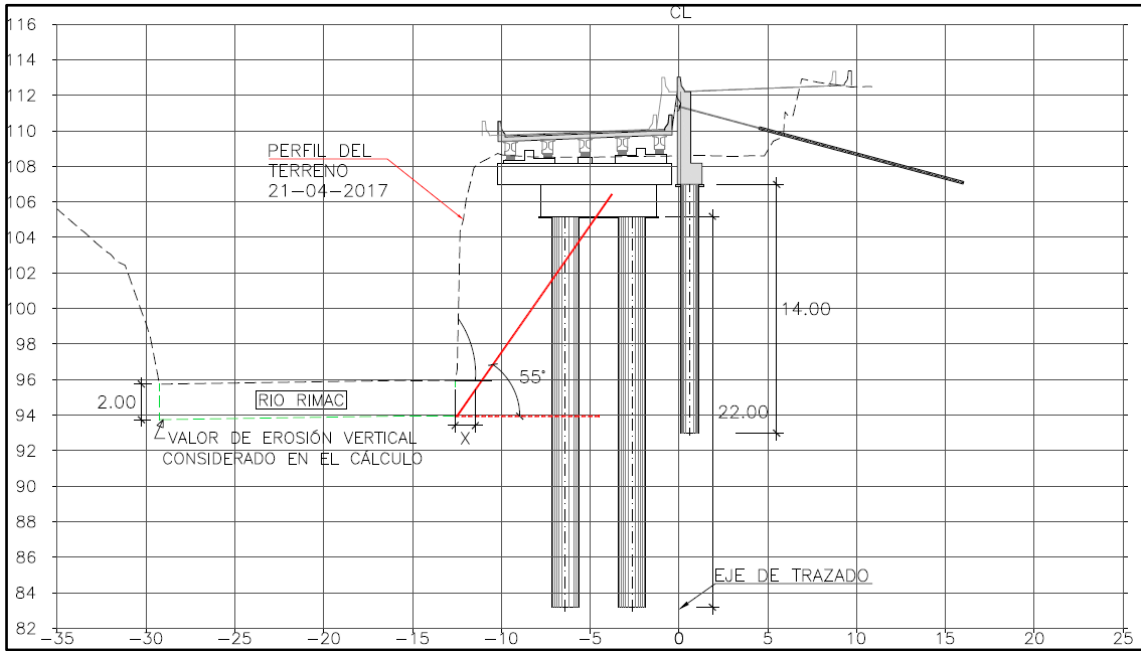
Fuente: Oficina técnica por la supervisión de obra Nippon Koei LAC

### Eje de trazo sección transversal p.k. 6+000.00



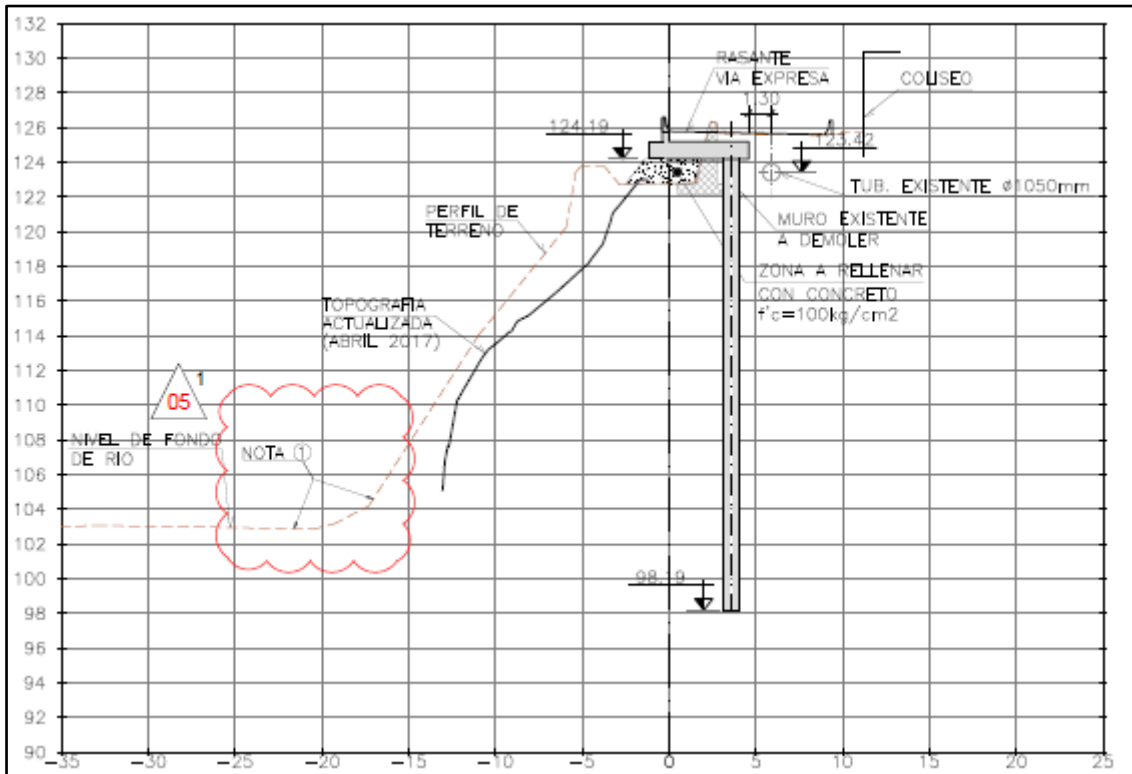
Fuente: Oficina técnica por la supervisión de obra Nippon Koei LAC

### Eje de trazo sección transversal p.k. 5+920.00



Fuente: Oficina técnica por la supervisión de obra Nippon Koei LAC

### Eje de trazo sección transversal p.k. 5+920.00

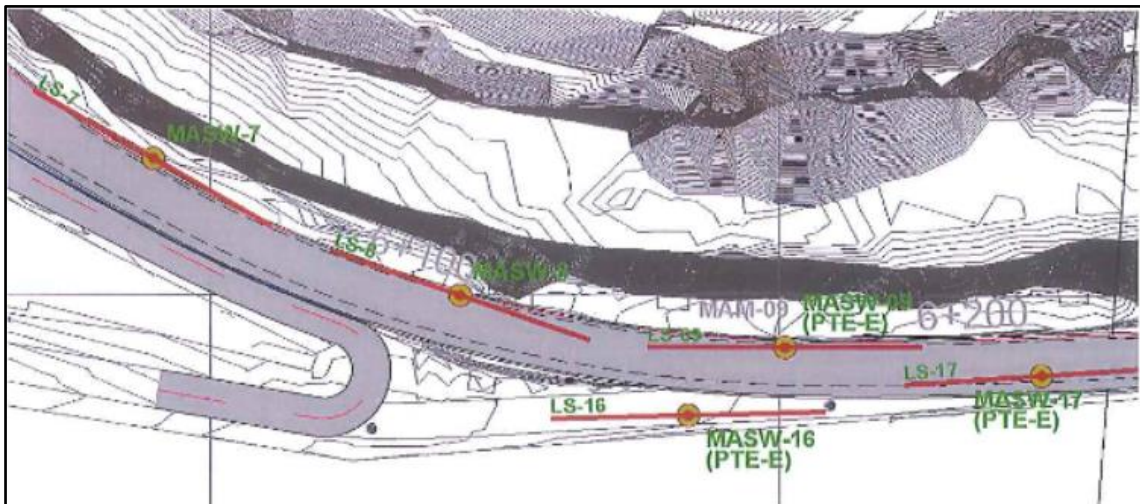


Fuente: Oficina técnica por la supervisión de obra Nippon Koei LAC

### Estudio de suelo de la zona estudiada

En la siguiente figura se puede observar la ubicación de las prospecciones realizadas. En total se han evaluado 2 ensayos geofísicos (MASW6-TSP1- y MASW7), y una calicata (CC-04-T). El resto de calicatas que aparecen en la figura se han utilizado para la caracterización del firme de la vía. El estudio de suelos lo realizó la empresa Hebert Sotelo & Asociados. Concluyó que los parámetros de las gravas que se encontraron en el estudio de suelo son del tipo grava granular (GW).

### Plano de ubicación de ensayos de corte directo a gran escala en la zona de estudio



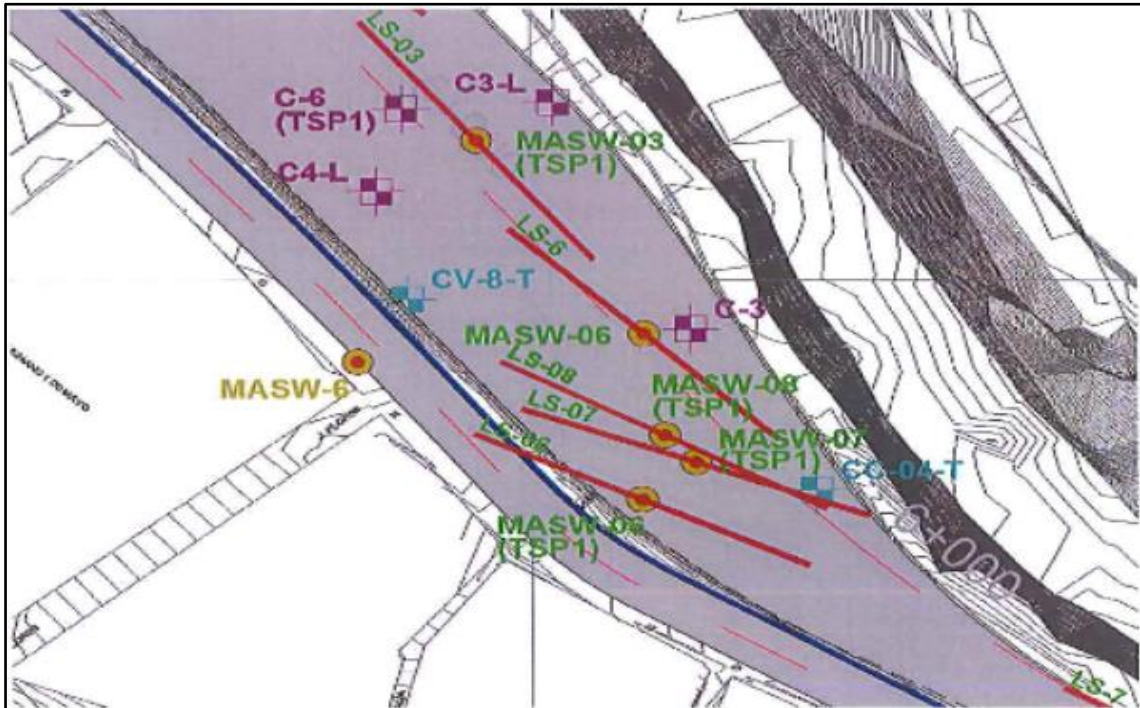
Fuente: Hebert Sotelo & Asociados.

### Resultado de los estudios de suelo (EMS)

Humedad natural	55.58%
Limite líquido	20.10%
Limite plástico	15.86%
Índice de plasticidad	10.05%
Índice de liquidez	10.02%
Índice de consistencia	95.85%

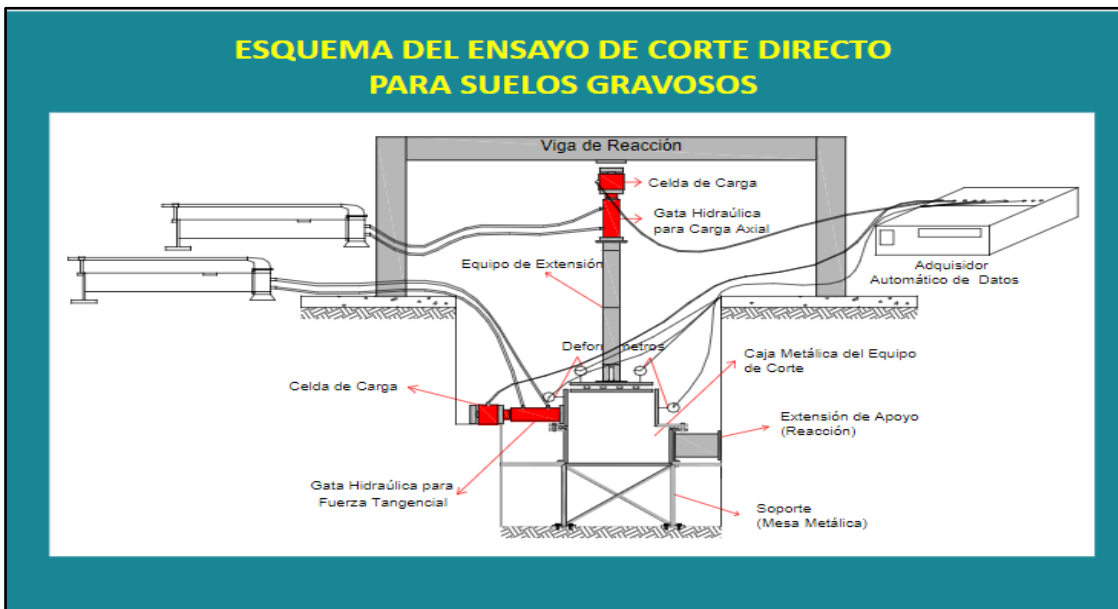
Fuente: Laboratorio constructora OAS.

## Plano de ubicación de calicatas en la zona de estudio



Fuente: Hebert Sotelo & Asociados.

## Esquema del ensayo de corte directo para suelos gravosos



Fuente: Fotografía elaborada de Google



**Ensayo del corte directo a gran escala en la zona de estudio sección pk  
5+920 al pk 6+000**



Fuente: Hebert Sotelo & Asociados.