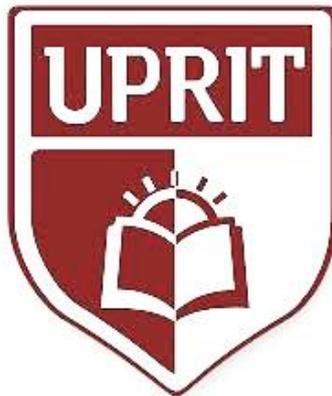


UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**BASES TEORICAS PARA REALIZAR LA INVESTIGACION
ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN LA CARRETERA PE1-NF
TRAMO CONTUMAZÁ -CHILETE - 2019**

**TRABAJO DE INVESTIGACION PARA
OPTAR EL GRADO DE BACHILLER**

AUTOR:

Pablo Cesar Ticona Marca

**TRUJILLO - PERU
2019**

I. INDICE

I.	INTRODUCCION.....	1
1.1.	Delimitación del problema que motiva el estado del arte.....	2
1.1.1.	Campo temático.....	2
1.1.2.	Espacio.....	2
1.1.3.	Tiempo.....	2
1.2.	Formulación del problema.....	3
1.3.	Justificación del tema.....	4
1.3.1.	Realidad Problemática.....	4
1.4.	Objetivos.....	7
1.4.1.	Objetivo General.....	7
1.4.2.	Objetivo específicos.....	7
1.5.	Procedimientos metodológicos seguidos.....	7
1.5.1.	Técnicas de recolección	7
1.5.2.	Instrumentos de recolección	7
1.5.3.	Fuentes de información.....	8
II.	RESULTADOS RESPECTO A LOS ANTECEDENTES ESTADO DEL ARTE O ESTADO DE LA CUESTION.....	8
2.1.	Antecedentes.....	8
2.2.	Bases teóricas.....	13
III.	CONCLUSIÓN.....	34
IV.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35
V.	ANEXOS.....	38

II. RESUMEN

La presente monografía busca obtener información técnica necesaria para elaborar la investigación Estabilización de taludes en la carretera PE1-NF tramo Contumazá –Chilete, en el año 2019.

La presente investigación pretende reunir información necesaria para poder desarrollar un sistema para la estabilización de los taludes en la Carretera PE 1- NF Tramo Contumazá-Chilete, mediante un estudio de sus propiedades y realizando la solución del análisis de la estabilidad mediante los métodos clásicos del equilibrio limite y la solución numérica brindada por el método de los elementos finitos, logrando soluciones adecuadas para la estabilización de los taludes en el área de estudio.

La carretera PE-1NF Contumazá–Chilete, en el departamento de Cajamarca es la única vía pavimentada hacia la capital de la provincia de Contumazá, es por esto que esta vía de aproximadamente 40 Km de longitud es de suma importancia para la provincia. La vía viene sufriendo de distintos cierres parciales y totales en cada temporada de lluvias, debido en su mayoría al deslizamiento de tierras, desde su pavimentación en el año 2014 los daños y los costos de reparación son por ende, más elevados, en el año de 2017 debido a fenómenos climatológicos denominados como Fenómeno del Niño Costero la situación de esta vía llevo a un estado crítico, causando el aislamiento de la ciudad de Contumazá debido a la interrupción del servicio de transitabilidad causado por diversos deslizamientos y bloqueos de esta carretera, llevando a pérdidas económicas,



tanto a los usuarios, como a la población de la provincia en general, perjudicando al comercio, la agricultura y distintas áreas económicas que allí se desarrollan.

PALABRAS CLAVES

- Estabilización
- Taludes
- Carretera

III. ABSTRAC

The present monograph seeks to obtain technical information necessary to elaborate the investigation Stabilization of slopes on the road PE1-NF Contumazá-Chilete section, in the year 2019.

This research aims to gather information necessary to develop a system for the stabilization of the slopes on the Highway PE 1-NF Tranche Contumazá-Chilete, by means of a study of its properties and performing the solution of the analysis of the stability by means of the classical methods of the Limit equilibrium and the numerical solution provided by the finite element method, achieving adequate solutions for the stabilization of the slopes in the study area.

The road PE-1NF Contumazá-Chilete, in the department of Cajamarca is the only paved road to the capital of the province of Contumazá, which is why this route of approximately 40 km in length is of utmost importance for the province. The road has been suffering from several partial and total closures in each rainy season, mostly due to landslides, since its paving in 2014 damages and repair costs are therefore, higher, in the year of 2017 due to weather phenomena called the Coastal Child Phenomenon the situation of this road reached a critical state, causing the isolation of the city of Contumazá due to the interruption of the service of traffic caused by various landslides and blockages of this road, leading to economic losses, both to users, and to the population of the province in general, damaging trade, agriculture and different economic areas that are developed there.

KEYWORDS

- Stabilization
- Slopes
- Highway

I. INTRODUCCION

Según (Palomero, 2017). En el Perú, se introdujo sistemas de estabilización con anclajes en la década de los 80 para la presa Tablachaca, posteriormente en proyectos como la Central Hidroeléctrica de GERA y del Cañón del Pato se introdujo sistemas de anclajes permanentes y retensables, este tipo de estabilización es ahora de uso común en el Perú.

En el Perú existe un incipiente desarrollo del tema, especialmente en el sector minero. El Ing. Luis Raygada señaló que existen varios tipos de soluciones en el Perú, los sistemas de mayor difusión son colocar cobertura vegetal, optimizar el sistema de drenaje, mejoramiento con la construcción de un muro de contención o con ayuda de anclajes. También reducir el tamaño del talud, colocar banquetas, tender la pendiente. (Raygada, 2017)

Esta zona del Perú es de gran susceptibilidad a fenómenos importantes que afectan los taludes; lo que ha desarrollado diversas investigaciones tanto en la evaluación de la estabilidad del talud, así como en el desarrollo de soluciones para la estabilidad, es destacable que haya gran presencia de inestabilidad del macizo rocoso, problema tratado por la mecánica de rocas.

Se han hecho investigaciones en la carretera Muñani-Saytocochoa, carretera Interoceánica Tramo 4 Azángaro – Inamabari, carretera Dv. Cara Cara – Lampa, entre otras. Para el caso concreto de la carretera Interoceánica, en el talud rocoso del cerro Qoñiunu (Soto, 2017) concluyó lo siguiente:

“Se adoptó entonces considerar como sistema de estabilización la introducción de elementos estructurales para mejorar la resistencia del macizo

rocoso del talud, estos elementos son pernos de anclaje puntuales o sistemáticos, shotcrete sin refuerzo puntual o sistemático, shotcrete reforzado puntual o sistemático, mallas metálicas, drenaje superficial y/o profundo” (pág. 145).

1.1. Delimitación del problema que motiva el estado del arte

El análisis de las bases teórica de la investigación Estabilización de taludes en la carretera PE1-NF tramo Contumazá –Chilete. En esta carretera ubicada, en el departamento de Cajamarca es la única vía pavimentada hacia la capital de la provincia de Contumazá, es por esto que esta vía de aproximadamente 40 Km de longitud es de suma importancia para la provincia. La vía viene sufriendo de distintos cierres parciales y totales en cada temporada de lluvias, debido en su mayoría al deslizamiento de tierras, desde su pavimentación en el año 2014 los daños y los costos de reparación son por ende, más elevados, en el año de 2017 debido a fenómenos climatológicos denominados como Fenómeno del Niño Costero la situación de esta vía llego a un estado crítico, causando el aislamiento de la ciudad de Contumazá debido a la interrupción del servicio de transitabilidad causado por diversos deslizamientos y bloqueos de esta carretera, llevando a pérdidas económicas, tanto a los usuarios, como a la población de la provincia en general, perjudicando al comercio, la agricultura y distintas áreas económicas que allí se desarrollan. Las acciones tomadas por las autoridades son principalmente el despeje y limpieza de la vía, así como reparación de la superficie de rodadura con



maquinaria, acciones que son principalmente de mitigación, sin implementarse un sistema de estabilización del talud, así mismo el INGEMMET ha desarrollado un estudio de riesgos geológicos e hidrológicos en esta zona en el año 2008 mas no se lleva a cabo una ejecución de alguna obra pertinente que permita una solución definitiva estrictamente técnica que permita un servicio continuo hacia los usuarios. De esta forma en este trabajo buscamos soluciones para los problemas de estabilidad de taludes de esta vía, buscando que los deslizamientos y fallas de talud puedan evitarse mediante soluciones que se presenten en cada caso.

Campo Temático

- Estructuras

1.1.1. Espacio

Distrito : Chilete.

Provincia : Contumazá.

Región : Cajamarca

1.1.2. Tiempo

Enero- abril 2019.

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cuál son las bases teóricas que permitirán realizar la investigación estabilización de taludes en la carretera PE1-NF tramo Contumazá – Chilete en el año 2019?

1.3. Justificación del Tema

1.3.1. Realidad Problemática

La estabilización de taludes en la Provincia de Contumazá, Cajamarca tratada desde un punto de vista ingenieril y académico no ha sido realizada, o al menos documentada, en el aspecto de carreteras solo se realizan actividades de mitigación de daños debido a deslizamientos o caída de rocas, son observables técnicas basadas en la experiencia como la cobertura vegetal o disminución del ángulo del talud. Esta investigación busca formar un precedente tanto en el análisis como en el diseño de alguna solución de estabilización del talud.

La estabilización de taludes es un tema regulado específicamente por la norma CE 0.20 Estabilización de Suelos y Taludes, del Reglamento Nacional de Edificaciones, en la cual se brinda los requisitos mínimos mínimos para estabilizar taludes, en ella se brindan opciones mediante métodos físicos y químicos, además la norma establece factores de seguridad mínimos en 1.5 para solicitaciones estáticas y 1.25 para solicitaciones sísmicas. Además, en dicha norma se señala como normas complementarias las normas RNE E.030 y RNE 0.50, hay que mencionar que no se hace una recomendación en cuanto al método de análisis a usar.

(Tupa, 2017) señala que de acuerdo a su estudio encontró que en los taludes de la carretera Muñani-Saytococho las propiedades físico-mecánicas de estos son dependientes de las características geológicas, estructurales y de macizo rocoso; y que dichas características evaluadas en campo presentan alteración y meteorización al evidenciarse rocas fracturadas moderadamente con un grado

de fracturamiento regular, además se concluyó que al realizar el análisis de estabilidad mediante el método de equilibrio limite, el modo de falla de estas estructuras fue una falla por cuña. (pág. 136)

(López, 2016) realiza un diseño de un talud minero con las consideraciones de estabilidad mediante el cálculo usando el software Slide haciendo uso del método del equilibrio limite, muestra que el diseño de un talud de 60° es estable para cada uno de los dominios estructurales determinados en el talud Este de la mina. (pág. 144). El autor también realiza la siguiente conclusión: “El método de elementos finitos, modelización numérica aplicando los modelos elasto-plástico perfectos y elasto-plástico con ablandamiento (considerando las deformaciones del macizo rocoso), resuelve algunas de las deficiencias del método de equilibrio límite en el diseño de taludes.” (López, 2016, pág. 144)

1.3.2. Aspectos diferenciados de justificación

Las obras de infraestructura vial permiten el desarrollo económico y social de una localidad, desde el año de su ejecución en el año 2014 la carretera Contumazá-Chilete ha sido utilizada como la principal vía para la actividad económica realizada en la provincia debido a que es la única vía de acceso asfaltada. La calidad y continuidad del servicio de transitabilidad asegura dicha actividad económica, sin este existen pérdidas económicas y graves consecuencias sociales como aislamiento, atraso, etc. La principal amenaza a la continuidad del servicio son las interrupciones por deslizamientos y otros fenómenos de geodinámica externa debido a la inestabilidad de los taludes. Por lo cual la ejecución de este proyecto es de suma importancia para tener un

servicio de transitabilidad continuo y de calidad además de brindar la seguridad necesaria al usuario. La justificación teórica de este proyecto radica en el establecimiento de metodologías basadas en adecuados fundamentos teóricos y técnicos inexistentes en el lugar de estudio, es fundamental además señalar que será aplicada teorías actuales y consistentes con la realidad como son el modelamiento numérico mediante el método de los elementos finitos (MEF). Este proyecto brindara soluciones específicas a la inestabilidad de taludes, mediante esto podrá evitarse bloqueos por deslizamientos, corrimientos y demás fenómenos que puedan afectar a la infraestructura vial y usuarios de la carretera PE-1NF tramo Contumazá-Chilete. Este trabajo tendrá un impacto económico y social en la provincia de Contumazá, Cajamarca permitiendo al público usuario desarrollar sin pérdidas sus actividades, ya sea comercio, agricultura y los sectores desarrollados en la provincia, otro aspecto valorativo del proyecto es la implementación de una metodología aprovechable por otros investigadores, profesionales y técnicos para solucionar los problemas de estabilidad de taludes en el área de estudio. Contribuirá de forma valiosa en el aspecto de manejo de nuevas tecnologías informáticas, al exponer los procedimientos de uso de nuevas metodologías aplicadas en paquetes de software que permitan una reducción en el tiempo de cálculo referente a la estabilidad de taludes, dichos programas son SLIDE, PLAXIS 2D, PHASE2, de los cuales se hará uso, generando una guía para los interesados, así como una muestra de los resultados obtenidos con cada uno de ellos.



1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Redactar bases teóricas para realizar la investigación Estabilización de taludes en la carretera PE1-NF tramo Contumazá –Chilete, en el año 2019.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Buscar trabajos académicos referentes que nos permitan tomar como base para la presente investigación.
- Identificar información acerca Taludes y sus casos históricos, clasificación y tipos de taludes.
- Evaluar información acerca estabilización de taludes.

1.5. PROCEDIMIENTOS METODOLIGOS SEGUIDOS

1.5.1. Técnica de recolección

- La técnica utilizada en la presente investigación fue revisión documental y análisis al contenido de la búsqueda de información, clasificación y selección de información de Bases Teóricas, con la consiguiente toma de lectura de las condiciones, procesos y consecuencias observables, servirán de aporte importante a una solución al problema detectado.

1.5.2. Instrumentos de recolección

El instrumento empleado fue la matriz de datos la cual representa el modo y forma que utiliza el investigador para recolectar la información adecuada para su tema, utilizando:

- Ver Anexo 01°, Anexo N° 02.

1.5.3. Fuentes de Información

Corresponde a los instrumentos diferenciados para la toma de conocimientos, búsqueda y acceso a información necesaria.

- **Fuente de datos primaria:**
 - Reglamento Nacional de Edificaciones, la Norma E-060.
 - Investigaciones de artículos científicos en revistas indexadas, libros y tesis acerca de la Estabilización de taludes en carreteras.

II. RESULTADOS RESPECTO A LOS ANTECEDENTES ESTADO DEL ARTE O ESTADO DE LA CUESTION

2.1 Antecedentes:

Existen diversos estudios y trabajos acerca de la estabilización de taludes en carreteras.

2.1.1 “Soluciones para la estabilidad de taludes de la carretera Canta –Huayllay entre las progresivas del km 102 al km 110”

(Sackschewski, 2017) El estudio fue realizado en la carretera Canta-Huayllay, en la cual se produjo problemas de estabilidad de taludes en su construcción, generando fenómenos de geodinámica externa de riesgo medio y elevado, lo que causo problemas en la ejecución de obras, así como perdidas económicas. Se realizó mediante una caracterización geológica, de igual forma se caracterizó el suelo y la roca, procediéndose luego a un análisis retrospectivo, para luego proponer soluciones y aplicar nuevamente el análisis retrospectivo y evaluando si los factores de seguridad eran apropiados. Los resultados obtenidos

mostraban que las soluciones apropiadas eran la modificación de la geometría del talud, así como el drenaje de estos. De esta forma el autor concluyo que la inestabilidad se debía a cortes con pendientes inadecuadas sin estudios previos y que las soluciones presentadas eran satisfactorias.

2.1.2 “Estudio de la inestabilidad y alternativas de solución del talud del cerro Qoñiunu en el distrito de Ollachea”

Un enfoque similar fue desarrollado por (Soto, 2017) denominado, investigación realizada en la UNIVERSIDAD NACIONAL DE PUNO en la cual estudia el problema causado por la inestabilidad del cerro QOÑIUNU debido a que los constantes deslizamientos son un riesgo latente a la infraestructura vial de la carretera interoceánico sur, así como para la población, buscando caracterizar geo mecánicamente el macizo rocoso del cerro para determinar el diseño de estabilización del talud. La investigación consistió en una recopilación de datos, posteriormente se realizaron diversos ensayos de clasificación y caracterización de rocas, así como distintos parámetros del comportamiento mecánico de esta, clasificación RMR, GSI, SMR, luego se utilizó criterio de resistencia Barton - Bandis para las familias de discontinuidades y el criterio de resistencia Hoek - Brown para el macizo rocoso, los cuales fueron introducidos en un análisis MEF, se realizó dicho análisis para las soluciones optimas, obteniéndose factores de seguridad adecuados. Los resultados presentados por los autores caracterizan al talud con condiciones de estabilidad malas, según la clasificación RMR y GSI, mientras que muy pobre a pobre según la clasificación SMR. Los análisis de estabilidad

arrojaron valores de FS de entre 1.03 y 1.31 valores que afirman la inestabilidad del talud rocoso. Concluyendo que no era posible la aplicación de soluciones de reconformación del talud, entonces se adoptó entonces considerar como sistema de estabilización la introducción de elementos estructurales para mejorar la resistencia del macizo rocoso del talud, estos elementos son pernos de anclaje puntuales o sistemáticos, shotcrete sin refuerzo puntual o sistemático, shotcrete reforzado puntual o sistemático, mallas metálicas, drenaje superficial y/o profundo.

2.1.3 “Evaluación geotécnica de los taludes de la carretera Cruz Blanca-El Gavilán”:

A nivel local destacan las investigaciones realizadas por (Montoya, 2014) realizada en la carretera Cruz Blanca - El Gavilán, la cual fuertemente meteorizados física y químicamente, además presentan procesos de erosión, dando lugar a condiciones geodinámicas inestables en los taludes de la carretera, causando constantes interrupciones en la vía Chilate-Cajamarca. Debido a esta situación el autor busco caracterizar geo mecánicamente y geotécnicamente los taludes de la via para generar una evaluación de riesgos de inestabilidad de taludes. Esto se hizo realizándose muestreos en taludes críticos para luego analizarlos y clasificarlos según la clasificación geo mecánica RMR, RQD y GSI, así como evaluar los factores de seguridad, resultando factores de seguridad inadecuado en diversos tramos críticos, clasificándose tres zonas, de Riesgo alto, de riesgo y de riesgo moderado. Concluyendo que el comportamiento litomorfoestructural de la carretera Cruz Blanca - El Gavilán,

es compleja por la presencia por la presencia de estructuras fuertemente disturbadas, que originan plegamientos, fallamientos y alto fracturamiento en los macizos rocosos y condiciones inestables en los depósitos cuaternarios.

2.1.4 “Zonas críticas por peligros geológicos e hidrológicos en la región Cajamarca.”:

De igual forma el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 2007) emitió un estudio motivado por la no existencia de una ubicación de lugares que se puedan tomar como críticas, con riesgos potenciales de peligro acorde a la vulnerabilidad estimada, que describen una frecuencia periódica a excepcional y la cual es necesario tomarlas dentro de las políticas nacionales, regionales y/o locales sobre prevención y atención de desastres, para hallar y permitir identificar, georreferenciar y definir el nivel de peligro de las ocurrencias recientes y antiguas, de desarrollos de movimientos en masa. La información brindada de la metodología destaca que fue realizada mediante evaluación de imágenes aéreas de alta resolución y trabajo en campo por profesionales geólogos en riesgo geológico e identificación de movimientos en masa, áreas sujetas a inundación. El resultado de este trabajo fue Identificación de zonas, poblados e infraestructura en riesgo geológico o hidrológico y mapas detallados de esto. Concluyendo con la identificación de aquellas zonas donde es necesario su integración al sistema nacional de prevención de desastres.

2.1.5 “Evaluación de la estabilidad de un talud de carretera por análisis numérico.”:

En el ámbito internacional (Marques & Azoia, 2017) realizaron esta

investigación en la localidad de Guarulhos, São Paulo, Brazil. Ellos buscaron resolver el problema de falta de métodos exactos, ágiles y que permitan introducir diversos parámetros del talud, en este caso se da suma importancia la infiltración por lluvias. En este estudio la exploración del suelo se dio básicamente mediante el ensayo SPT y el análisis con el software Geostudio 2012, posteriormente se hizo un estudio de los periodos de lluvia y finalmente se analizó la variabilidad mediante un análisis de confianza y sensibilidad. El resultado más relevante de esta investigación fue que el análisis de confiabilidad indicó que el factor de la seguridad puede variar entre 0.74 y 1.59. La desviación estándar fue 0.11 y el índice de confiabilidad 1.44, lo que resultó en una probabilidad de falla del 7.7%, este análisis mostró la estabilidad de la sección ser insatisfactorio. Se destaca la conclusión de que el modelado numérico es una herramienta compleja que permite implementación de análisis convencionales de estabilidad de taludes. Además, el factor de seguridad y el índice de confiabilidad deberían ser utilizados como información suplementaria adicional para el desarrollo de un proyecto adecuado.

2.1.6 “Slope stability analysis at highway BR-153 using numerical models.”:

Realizada por (Hundelshausen, Hernan, & Zingano, 2016), A. (2015) en la carretera RS-471/BR-153. Rio Grande do Sul, Brasil, fue realizada por la falta de un modelo que se asemeje a las condiciones reales de campo, además que pueda trabajar y considerar las deformaciones por esfuerzo, buscando mostrar la metodología de trabajo mediante el análisis numérico en taludes mediante el

método Ubiquitous-joint, como una herramienta que representa aceptablemente las condiciones de campo. En análisis se realizó con software numérico FLAC versión 5.00, lo cual arrojo resultados obtenidos son esfuerzos en cada punto de la masa, los cuales se presentan grafico de colores, observándose el comportamiento predicho. Los autores concluyeron que, uusando el modelo, ha sido posible obtener una representación muy cerca de las condiciones reales para la pendiente estudiada, definido por los siguientes procesos:

- Rotura superficial de la rolita.
- Rotura superficial de la brecha de origen volcánico.
- Cuando se consideró la capa de rolita como continuo, no fue posible simular ambos procesos simultáneamente.

2.2 Bases teóricas

2.2.1. Definición de talud y casos históricos:

Podemos definir un talud como “Una superficie de tierra expuesta que se encuentra en un ángulo con la horizontal, se denomina talud sin restricciones” (Braja M. D., 2015, pág. 577). Dicha masa de suelo podrá constituirse ya sea de suelo o roca, o en algunas situaciones, una mezcla heterogénea de ambas, de igual forma podrá ser un talud natural o hecho por acción del hombre.

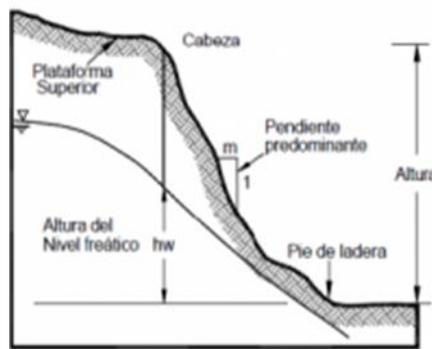


FIG. 1: Partes de un talud.

Fuente: Estabilidad-de-taludes7.webnode.es

El estudio de la estabilidad de taludes es entonces una acción realizada para asegurar con cierto grado de probabilidad que el talud no fallara bajo las circunstancias o condiciones de la obra. La inestabilidad del talud trae como consecuencia inmediata o prolongada en el tiempo una falla del talud, dicha falla es un peligro para las personas, así como para la infraestructura cercana, existen numerosos casos de falla de talud, con consecuencias desastrosas, tanto en pérdidas humanas como económicas. Un claro ejemplo es el deslizamiento en el río Mantaro, uno de los más grandes de que se tenga registro, ocurrido en abril de 1974, conteniendo aproximadamente 2 millones de yardas cúbicas de tierra (Lee & Duncan, 1975). Este deslizamiento generó un represamiento del río que almacenó sus aguas durante un mes, generando una pared de tierra de 165 m de altura, la cual falló generando una avenida que arrasó en todo el valle del Mantaro, el poblado de Mayunmarca fue arrasado junto con sus 450 habitantes.

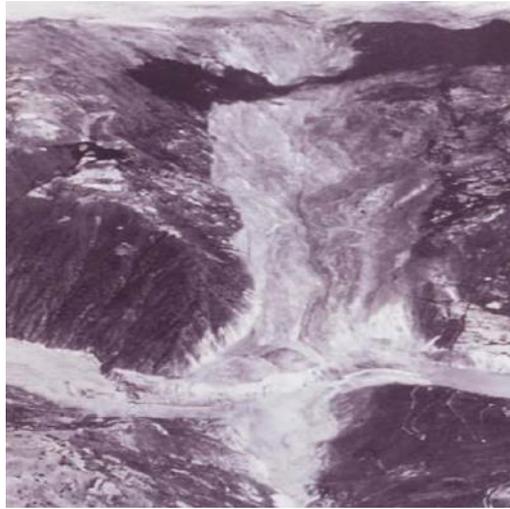


FIG. 2: Deslizamiento del Rio Mantaro ocurrida en 1974.

Fuente: Duncan, Soil strength and slope Stability.2014.

I.2.2 Clasificación y tipos de talud:

Para comprender este fenómeno podemos clasificar los tipos de fallas en 4 grupos, los que se describirán a continuación (Braja M. , 2014)

- **Caída de Rocas:**

Esta falla es un caso especial de taludes que contienen rocas o segmentos de esta, los cuales situados en la cabeza del talud se desprenden, rodando a través del cuerpo del talud por efecto de la gravedad, constituyendo un riesgo elevado de accidentes, especialmente cuando se encuentran por encima de vías.



FIG. 3: Ejemplo de caída de rocas en talud.

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/derrumbe-cauce-rio-esteli>.

- **Deslizamiento:**

En este caso existe una superficie de falla, generalmente adoptada de forma circular, en donde el esfuerzo generado al suelo será mayor que el que este puede soportar, generando que este se deslice, pero la característica de este modo de fallas es que existirá rotación y traslación a través de la superficie de falla. Este modo es el más común de falla.



FIG. 4: Ejemplo de falla por deslizamiento.

Fuente: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/rt/printerFriendly/48179/59380>

- **Volcamiento:**

En esta falla existe solo rotación de la masa de suelo, siempre con su eje de rotación por debajo del centro de masa del suelo, generando que este vuelque hacia el lado libre del terreno. Una falla poco común en taludes de tierra, pero bastante distribuida en taludes rocosos.

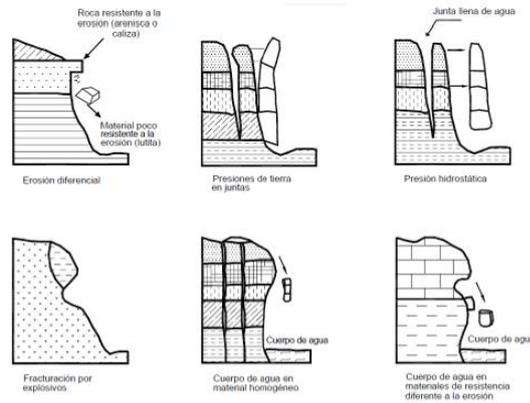


FIG. 5: Falla por volcamiento.

Fuente: <https://estabilidad-de-taludes7.webnode.es/news/marco-teorico/>.

- **Reptación de suelo:**

Consiste en un movimiento horizontal del suelo mas no incluye rotación de este. Genera un movimiento lento y agrietamiento, sucede en taludes con pendientes bajas.

I.2.3 Factor de seguridad:

Ahora analizaremos el concepto de factor de seguridad, para ello definiremos como sigue:

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_d}$$

Donde τ_f representa el esfuerzo cortante que podrá resistir el suelo, determinado por ensayo, mientras que τ_d representa el esfuerzo cortante desarrollado en la masa de suelo.

Este valor representara entonces la relación entre la capacidad de un suelo frente a el esfuerzo desarrollado a través de el en la superficie de falla. Según la experiencia un valor de FS=1.5 será suficiente para asegurar la estabilidad del talud. Como vimos anteriormente, la superficie de falla será adoptada, ahora por consiguiente tendremos diversos valores de FS para cada superficie de falla, lo cual nos llevará a poder establecer un histograma, del cual podremos ajustar a una distribución de probabilidad y establecer con ello un riesgo de falla, considerando que esta se dará a partir de cierto valor de FS. Como vemos en la Fig. 6. Como vemos podremos establecer la probabilidad de falla en el talud. (Hoek, 2007)

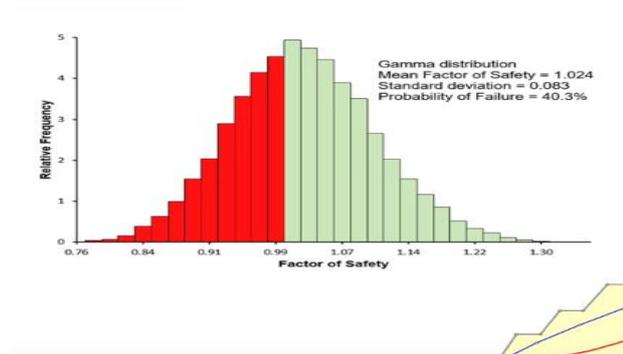


FIG. 6. Distribución Gamma de los valores de FS en un talud con filtración.

Fuente: Rock slope engineering. Hoek. 2007.

Ahora desarrollaremos formas para poder calcular dicho valor de seguridad, debido a que el valor τ_d es variable, y será en general imposible evaluarlo, por lo cual debe establecerse un sistema para calcularlo a través de las características físicas del talud.

Del criterio de falla de Mohr-Coulumb estableceremos que:

$$\tau = c' + \sigma tg(\varphi')$$

Donde de símbolo σ' representa valores efectivos del suelo, y como recordamos c representa la cohesión y φ el ángulo de fricción.

$$\sigma' = \sigma - u$$

Con lo cual:

$$FS = \frac{c'_f + \sigma' tg(\varphi'_f)}{c'_d + \sigma' tg(\varphi'_d)}$$

Además, asumiremos que:

$$Fd = \frac{c'_f}{c'_d}$$

$$F\varphi = \frac{(\varphi'_f)}{(\varphi'_d)}$$

Y que en $FS=1$ es el estado crítico:

$$FS = Fd = F\varphi = 1$$

Considerando un talud infinito con infiltración puede escribirse que:

$$FS = \frac{c'}{\gamma_{sat} H \cos^2(\beta) tg(\beta)} + \frac{\gamma}{\gamma_{sat}} \frac{tg(\varphi')}{tg(\beta)}$$

Dónde:

C' : Cohesión del suelo.

γ_{sat} : P. específico del suelo saturado.

γ : P. específico del suelo seco.

β : Angulo del talud respecto a la horizontal.

Una vez que tenemos la idea de factor de seguridad y su forma de cálculo podremos particularizar esta definición a casos de taludes reales. Una forma muy extendida en su uso es el método de las dovelas, comenzaremos explicándolo con el método más simplificado, denominado método ordinario.

Consideremos:

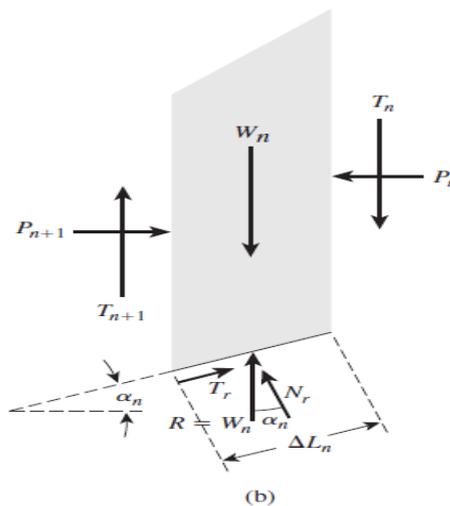


FIG. 7. Fuerzas actuantes en una dovela.

Fuente: Fundamentos de ingeniería geotécnica. Braja, 2014.

Aquí el método establece una simplificación que será de gran ayuda, las fuerzas actuantes P_n y P_{n+1} se consideraran de igual magnitud y actuando en la misma línea de acción, de igual forma T y T_{n+1} , con lo cual estas fuerzas no será necesario calcular,

Ahora, se presentará el método de Bishop Simplificado, en el cual la fuerza T_n no será despreciada, pero no se incluirá el equilibrio de fuerzas.

$$Tr = Nr \left(\frac{Tg\varphi'}{FS} \right) + \left(\frac{C'\Delta Ln}{FS} \right)$$

Además, que:

$$Nr = \frac{Wn + \Delta Tn - \left(c'\Delta Ln \frac{\text{sen}(\alpha n)}{FS} \right)}{\cos(\alpha n) + \left(\frac{tg(\varphi') \sin(\alpha n)}{FS} \right)}$$

De lo cual:

$$FS = \frac{\sum(c'b + Wn tg(\varphi'))}{\sum(Wn \sin(\alpha n)) m(\alpha)}$$

Donde:

$$m = \cos(\alpha) + \frac{\tan(\varphi') \text{sen}(\alpha)}{FS}$$

Para filtración:

$$FS = \frac{\sum(c'bn + (Wn - u * bn) tg(\varphi'))}{\sum(Wn \sin(\alpha n)) m(\alpha)}$$

Donde:

Tr : Fuerza tangencial en el punto de contacto.

Nr : Fuerza normal en el punto de contacto.

bn : Ancho horizontal de dovela.

Podemos ver de esta forma que para la solución de la estabilidad del talud por el método de Bishop simplificado existe una ecuación implícita para el valor de FS, por ello debe generarse un cálculo

iterativo, este procedimiento será hecho en la presente investigación mediante el Software Slide V.6.0, en el cual existe además otros métodos más exactos, los cuales serán de gran utilidad. Estos son: Jambu, Jambu simplificado, Bishop, Spencer, Michalowski, los cuales incluyen otras variables como el equilibrio de fuerzas en ambas direcciones.

2.2.4 Estabilización de suelos

2.2.4.1 Estabilización.

Berry, (1993) Aduce que:

La elaboración de ésta investigación es necesario ahondar en muchos planteamientos que se hallan con respecto a la estabilización de suelos, a partir del desarrollo de nuevo producto químico que opere en óptimo desempeño de las características mecánicas y físicas de dicho suelo; en consecuencia, se investiga acerca de este tema.

Fernández, (1998) Afirma que:

Los principios en ciertos planteamientos teóricos de la estabilización de suelos, señalan que la estabilización es un procedimiento mediante la cual se trata de cambiar un suelo o un agregado procesado para hacerlo apto o mejorar su comportamiento como material conformante de un pavimento. El procedimiento busca, principalmente, elevar la capacidad portante del material y hacerlo más reducido en sensibilidad a la acción

del agua. El propósito es también que el material llegue a una elevada rigidez y, en principio capacidad para absorber tensiones de tracción. De ahí que, también es necesario reconocer que la estabilización no es una herramienta mágica que nos ayude a mejorar todas las propiedades del suelo, por ende, se precisa tener una basta apreciación de las características que se desee mejorar, pues este requisito específico es un elemento muy importante para llegar a la decisión correcta, acerca de la conveniencia de la estabilización.

Berry, (1995) Afirma que:

Las características de un suelo se modificarían con los diferentes procedimientos de estabilización:

- a) Estabilización por drenaje.
- b) Estabilización con medios eléctricos, por ejemplo la electroósmosis y el empleo de pilotes electro metálicos son posiblemente los más conocidos.
- c) Estabilización a través de temperatura y calcinación.
- d) Estabilización por medios químicos, mayormente alcanzada por el agregar agentes estabilizantes determinados, como el cemento, la cal, el asfalto u otros.

Fernández, (1993) Asegura que:

Las características de un suelo que son de interés para su estudio.



a) Estabilidad volumétrica: bastantes suelos se dilatan y se recogen debido a los cambios de humedad los cuales se pueden describir de manera rápida o incluido a intervalos estacionales. Las presiones de dilatación que se elaboran en una adición en la humedad no se regulan de cualquier manera, estas presiones logran levantar pavimentos, declinar postes, fisurar muros, reventar tubos de drenaje, etc. Por lo cual es de suma importancia relevar los suelos dilatantes, su conformación y el tratamiento más adaptado para rehuir lo anterior.

b) Resistencia mecánica: al analizar los resultados de una estabilización, se tiene presente al fin que se busca, ya que si el suelo estabilizado mantendrá húmedo en las limitaciones de trabajo, entonces la definición de la resistencia bajo estas circunstancias sería la óptimo, pero si el suelo se mantiene seco y rajado posiblemente sea mejor hacer pruebas, con cargas repetitivas para analizar resultados de disgregación y pulverización. En otro punto, debe tenerse en mente la manera como se va a emplear el suelo, puesto que si se va a utilizar como se halla in situ puede ser más apropiado emplear ensayos de resistencias in situ, en el modo de suelos remoldados donde los ensayos realizados en laboratorio si deban servir para estimar los valores de resistencia.

c) Permeabilidad: Se propone dos problemas principales, con respecto a la disipación de presiones de poro y el relacionado con el flujo del agua a través del suelo. El tener presiones de poros saturados que originan deslizamientos, y el flujo de agua deba dar origen a turificaciones y arrastres.

d) Durabilidad: Similarmente con todos los materiales de construcción, un parámetro muy deseable en los suelos estabilizados es la durabilidad, determinada como la resistencia a los procesos de intemperización, erosión y abrasión, la durabilidad está ligada con las capas superficiales de los pavimentos en formación de baches y/o disgregaciones, erosiones en los taludes y cortes y cambios en la textura de los agregados de las carpetas.

e) Compresibilidad: Las variaciones en volumen o compresibilidad, de suma importancia e influencia en las características de los suelos, pues altera la permeabilidad, se cambian las fuerzas que existe en partículas tanto en magnitud y sentido, Es así que tiene una importancia decisiva en la transformación resistiva del suelo al esfuerzo cortante provocando desplazamientos.

(pág. 36).

Peter, (1993) Afirma que:

Se tiene presentes los cambios que se espera lograr con respecto a las características mencionadas. En estabilización de suelos se hallan diversas metodologías, que condiciona el suelo a tratar y del procedimiento del mismo; principalmente se encuentran tres métodos:

- Estabilización química. Basado en incluir un agente químico estabilizante en los poros o rajaduras del suelo; o también se mezcla al suelo un agregado químico para luego compactar. Empleado de vez en cuando para estabilizar suelos de grano fino; y se efectúa con el fin de obtener uno o más de las siguientes optimizaciones del suelo el aumento de la resistencia y durabilidad del suelo.
- La impermeabilización del suelo para impedir la entrada del agua disminuyendo el potencial de variación de volumen del suelo debido a una contracción o una expansión.
- La manejabilidad del suelo.

b) Inyecciones. En el proceso de inocular lo que persigue es introducir a presión en el suelo un aditivo estabilizante con la finalidad de que ingrese en el mismo a través de los poros y rajaduras mejorando la resistencia del mismo.

Peter Berry, (1993) expone:

Principalmente los propósitos que se desean son los siguientes:

- Encementar la superficie del suelo o de la roca elevando la resistencia.
- Saturar los vacíos y las rajaduras para minimizar la compresión y la permeabilidad de la masa.
- Esta estabilización se efectúa mayormente con lechada, debido a que además de ser material de cemento, tiene la soltura de ingresar en las rajaduras del suelo.

c) Geosintéticos: Dichos productos han descrito un fuerte adelanto geotécnico y es el uso de telas poliméricas de propósitos de estabilización de suelos.

Hoy en día estos geosintéticos se emplean en el planeta acorde a necesidades peculiares que se muestran; son utilizadas para la construcción de autopistas, canales, presas, etc.

A Posterior veremos que se hallan tratamientos por intermedio las cuales puede optimizar diversas características varias características de manera paralela. De otro lado, no debe imaginarse el empleo de la estabilización solo como medida correctiva sino así mismo como una medida de prevención o de seguridad frente a condiciones adversas que se efectuó durante la construcción o la vida útil de la estructura.

2.2.4.2 Estabilización y mejoramiento.

Loaiza, (1993) Afirma que:

Fomentar un buen estudio en la estabilización que en la realización de todas las actividades suficientes para la construcción de una a varias capas estructurales de pavimentos, conformadas por materiales resultantes de la escarificación de la capa superficial existente, o por material de préstamo, o mezcla de ambos, elevando su nivel de trabajo mecánico y durabilidad mediante procedimientos físico-químicos, con la reducción del deterioro ambiental y reduciendo los riesgos en la salud de los seres vivientes, así al igual acorde con los lineamientos y secciones determinados en documentos del proyecto o identificados por el encargado, los gruesos de capa serán los indicados en las características técnicas particulares y se comprenderán medidos en el nivel capa estabilizado.

(pág. 38).

2.2.4.3 Generalidades sobre la estabilización de suelos.

Loaiza, (1993) Señala que:

Modificar sus características físico mecánicas, elevando su durabilidad y resistencia con el propósito de tener un material que satisfice los requerimientos. Los materiales más empleados hoy en el planeta con propósitos en la construcción de carreteras son: el cemento, la cal, el asfalto y la arena, etc. Ha habido cierta polémica de manera especial entre los ingenieros que inclinan por estabilizar con cemento y otros que prefieren con cal, lo que es

cierto que la eficiencia en los procedimientos empleados, alguno de estos materiales y en consecuencia sacar el mayor provecho a los materiales.

(pág. 41).

De la misma forma el diseño de estabilizaciones con aditivos se debe llevar a una óptima selección del suelo con fundamento en lo cual se define el tipo y cantidad de agente estabilizante, así como el proceso para realizar la estabilización.

Por consiguiente, se presentan algunos de los procedimientos más comunes e indicados recomendado por instituciones o empresas que representan a los productos empleados.

2.2.4.4 Estabilización de suelos mediante su mezclado con Cal.

Fonseca (1998) considera que:

La cal hidratada es aditivo estabilizador que se ha empleado más en la historia, sin embargo, recientemente se han hecho investigaciones científicas con respecto a su uso como estabilizador de suelos y se han cuantificados sus excelentes resultados. Cuando existen arcillas muy plásticas se puede reducir dicha plasticidad y por ende las variaciones volumétricas de la misma relacionados a los cambios en los contenidos de humedad con el solo hecho de sumarle una minúscula proporción de cal.

(pág. 99).

De acuerdo al estudio que muestra este contenido, es un método económico para reducir la plasticidad de los suelos y proporcionarle aumentar en la resistencia. Los porcentajes por aditivar intercalan del 2 al 6% con relación al suelo seco del agregado a estabilizar; Con estos porcentajes persigue estabilizar el movimiento de las arcillas extrayéndose una baja en el índice plástico y elevar la resistencia.

Será conveniente no usar más del 6%, pues que se aumenta la consistencia, así también obtenemos elevar la plasticidad. Las investigaciones que se deban efectuar a suelos estabilizados con cal son: límites de Atterberg, granulometría, valor cementante, equivalente de arena, VRS, compresión.

Se ha definido que el mezclar la cal apagada y la arcilla los iones de calcio reemplazan ciertos iones metálicos hallados en la superficie de agua que bordea a la partícula de arcilla y son los que ocasionan los cambios volumétricos, Si el suelo trabajado mantiene suficiente sílice y alúmina, pueden reaccionar componiendo silicatos de calcio y alúmina. Teniendo los silicatos un gran poder cementante, lo que compromete que al adicionar cal también se pueda adicionar la resistencia del suelo.

2.2.4.5 Estabilización de suelos mediante su mezclado con Cemento.

Instituto Nacional de Vías, (1997) Señalan que:

Los efectos químicos que acontecen entre el suelo y elemento cuando se combinan con el contenido adecuado de aguas, desembocan en reacciones de los componentes silíceos de los suelos con el cemento y dan resultado conglomerante que ligan a las gravas, arenas y limos y el hidrato de calcio que se forma

como consiguiente del contacto del cemento con el agua libera iones de calcio muy ávidos de agua, que la describen como asistente en las láminas de arcilla. (pág. 29).

Se logra que se tenga en cuenta que una reacción satisfactoria del suelo con el cemento se vea alterada, cuando el primero tiene materia orgánica; los ácidos orgánicos poseen gran avidez por los iones de calcio que libera la reacción original del cemento. Es recomendable contrarrestar los efectos de la materia orgánica y cementos de alta resistencia y cuando la mezcla con el suelo se efectúa y expande a baja temperatura, puede resultar los de fraguado rápido.

Instituto Nacional de Vías (1997), estipula que:

Suelen fundamentarse en criterios de durabilidad y resistencia. La resistencia a la compresión inconfiada sobre probetas cilíndricas compactadas con la humedad óptima y la máxima densidad del ensayo normal de compactación y tratada bajo condiciones normalizadas según la Norma de Ensayos INV E – 809 y la 807 y otras como I.N.V.E. 123 Análisis Granulométrico del suelo por tamizado , I.N.V.E. 125 – 126 Limite liquido e índice de plasticidad de los suelos, I.N.V.E. 233 Composición química en proporción de sulfatos de suelo, I.N.V.E. 218 Resistencia a la abrasión, I.N.V.E. 142 Proctor modificado, I.N.V.E. 148 Relación del soporte del suelo en el laboratorio (CBR), normas que aplicaron en el desarrollo ingenieril de este proyecto.

(pág. 38).

Las estabilizaciones con cal y cemento requieren para su ejecución compactarlo, Aplicación de un riego de curado para estar seguro que la capa capta lo apropiado en agua para que el estabilizante siga su hidratación, como para minimizar la contracción de la capa compactada e impedir la carbonatación de su parte superior. Esta recomendación es importante, entre más caliente y seco esté el clima de la región donde se labora.



III. CONCLUSION

- Se redactaron las bases teóricas para realizar la investigación estabilización de taludes en la carretera PE1-NF tramo Contumazá – Chilete y se encontró la información suficiente para poder realizar el trabajo de investigación.
- Se encontraron trabajos académicos referentes que nos permitieron tomar como referencia para la realización del trabajo de investigación.
- Se identificó toda la información necesaria acerca de taludes, sus casos históricos en la zona, su clasificación y tipos de taludes.
- Se evaluó información acerca de estabilización de suelos.

IV. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

- Hundelshausen, R., Hernan, J., & Zingano, A. (2016). *Slope stability analysis at highway BR-153 using numerical models*. Mining Minerario, 69(2), 185-192.
- Abramson, L., Lee, T., Sharma, S., & Boyce, G. (2002). *Slope Stability and Stabilization Methods*. Nueva York: Jhon Wiley & Sons.
- Becerra, G. (2011). *Estudio geológico geotécnico para el pronóstico modelamiento y control de dos inestabilidades de talud a escala general en los tajos la quinua y el tapado de minera yanacocha*. (Tesis de pregrado). UNI, Lima.
- Braja, M. (2014). *Principles of Geotechnical Engineering* (8° ed.). Stamford, EEUU: Cengage Learning.
- Braja, M. D. (2015). *Fundamentos de Ingenieria Geotecnica*. Mexico: Cengage Learning Editores S.A. de C.V.
- Changwei, Y., Jingyu, Z., Jing, L., Wenying, Y., & Jianjing, Z. (2017). *Slope Earthquake Stability*. Beijing: Science Press and Springer Science.
- Hoek, E. (2007). *Practical Rock Engineering* (1 ed.). Toronto, Canadá: Rocscience.
- Hossain, S., Khan, S., & Kibria, G. (2017). *Sustainable Slope Stabilisation using Recycled Plastic Pins*. Londres: Taylor & Francis Group.
- INGEMMET. (2007). *Zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos en la región Cajamarca*. Lima: ingemmet.

-
- Lee, K., & Duncan, J. (1975). *Landslide of April 25, 1974 on the Mantaro River, Peru*. Washington, DC: National Academy of Sciences.
- López, E. (2016). *Estudio geotécnico y diseño del talud final de una mina a cielo abierto aplicando modelos numéricos*. (Tesis de Pregrado). UNMSM, Lima.
- Marques, G., & Azoia, J. (2017). *Evaluation of the stability of a highway slope through numerical modeling*. DYNA, 200, 121-128.
- Montoya, F. (2014). *Evaluación geotécnica de los taludes de la carretera cruz blanca • el gavián*. (Tesis de pregrado). UNC, Cajamarca.
- Palomero, V. (Octubre de 2017). *Soluciones para estabilizar taludes*. (P. CONSTRUYE, Entrevistador)
- Raygada, L. (Octubre de 2017). *Soluciones para estabilizar taludes*. (P. CONSTRUYE, Entrevistador)
- Sackschewski, C. (2017). *Soluciones para la estabilidad de taludes de la carretera canta – huayllay entre las progresivas del km 102 al km 110*. (tesis de pregrado). Unmsm, Lima.
- Soto, Á. (2017). *Estudio de la inestabilidad y alternativas de solución del talud del cerro qoñiunu en el distrito de ollachea*. (tesis de pregrado). Unap, Puno.
- Towhata, I. (2008). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Berlin: Springer-Verlag.



Tupa, P. (2017). *Evaluación geologica-geotecnica para la estabilidad de taludes en la carretera muñani-saytococho tramo km. 14+700 al 30+00*. (tesis de pregrado). Unap, puno.

Zhang, L., Li, J., Li, X., Zhang, J., & Zhu, H. (2016). *Rainfall-Induced Soil Slope Failure*. Shangai: Taylor & Francis Group.

V. ANEXOS

ANEXO N° 1

Ítems	TEMA	AUTOR	FUENTE
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

Anexo 2

Matriz de datos

Ítems	TEMA	AUTOR	FUENTE
1	Slope stability analysis at highway	Hundelshaussen, R., Hernan, J., & Zingano, A. (2016)	www.scielo.br/scielo.php?script=sci...44672016000200185
2	Slope Stability and Stabilization Methods	Abramson, L., Lee, T., Sharma, S., & Boyce, G. (2002)	https://www.wiley.com/.../Slope+Stability+and+Stabilization+Met...
3	Estudio geológico geotécnico para el pronóstico modelamiento y control de dos inestabilidades de talud a escala general en los tajos la quinua y el tapado de minera yanacocha	Becerra, G. (2011)	http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/11101
4	<i>Principles of Geotechnical Engineering</i> (8° ed.). Stamford, EEUU: Cengage Learning.	Braja, M. (2014)	https://www.google.com/aclk?sa=l&ai=DChcSEwju7oz8ltPhAhVGQYYKHUv3DbwYABAAGgJ2dQ&sig=AOD64_0Ss8Aw-4UAFCCnZipPD0y84jFxFQ&q=&ved=2ahUKEwIU14H8ltPhAhUmx1kKHabwD5QQ0Qx6BAgKEAE&adurl=
5	<i>Practical Rock Engineering</i> (1 ed.). Toronto	Hoek, E. (2007)	Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2007 - ascelibrary.org

6	<i>Zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos en la región Cajamarca.</i>	INGEMMET. (2007)	file:///C:/Users/Usuario/Downloads/%E2%80%9CACTIVIDAD%20MINERA%20DE%20LA%20EMPRESA%20YANACOCCHA%20EN%20LA%20PROVINCIA%20DE%20CAJAMARCA%20Y%20EL%20NIVEL%20DE%20IMPACTO%20EN%20L.pdf
7	Evaluación geotécnica de los taludes de la carretera cruz blanca • el gavián. (<i>tesis de pregrado</i>). Unc, Cajamarca.	Montoya, F. (2014)	repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/118
8	Soluciones para la estabilidad de taludes de la carretera canta – huayllay entre las progresivas del km 102 al km 110. (<i>Tesis de pregrado</i>). UNMSM, Lima.	Sackschewski, C. (2017)	cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/5743