

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN MACIZO ROCOSO DE LA
CARRETERA SINA YANAHUAYA TRAMO III A PARTIR DE LA CARACTERIZACIÓN
GEOLOGICA**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

PRESENTADO POR:

HERNAN CCALLO HANCCO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO - PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

ANALISIS DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN MACIZO ROCOSO DE LA
CARRETERA SINA YANAHUAYA TRAMO III A PARTIR DE LA
CARACTERIZACIÓN GEOLOGICA

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PRESENTADO POR:


HERNAN CCALLO HANCCO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

APROBADO POR:

PRESIDENTE

: 

ING. DAVID VELÁSQUEZ MEDINA

PRIMER MIEMBRO

: 

M.Sc. LUCIO QUEA GUTIERREZ

SEGUNDO MIEMBRO

: 

ING. EMMANUEL HERNAN TUMY GOMEZ

TEMA: Geomecánica

ÁREA: Ingeniería de Minas

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 15 de noviembre del 2019

DEDICATORIA

A mi Papá, Godofredo Callo que está en el cielo que siempre me dio un apoyo incondicional y dedicación hacia mi persona para culminar mis estudios superiores y lograr mi anhelo de ser Ingeniero de Minas. Para mi Mama Lucia Hanco y mis hermanos Ismael, Eloy, Bilma, Sandra, quienes desinteresadamente me apoyaron, alentaron en cada etapa de mi vida estudiantil y así concluir mi anhelo de ser profesional. Con todo cariño y amor a mi pareja Zenayda por su apoyo y comprensión en los momentos más difíciles de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Quisiera expresar mis más profundos y sinceros agradecimientos a:

A Dios nuestro señor, por ser mi guía y compañía en cada momento a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en mis momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizaje y sobre todo felicidad.

Mi agradecimiento a mi alma mater, la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, por haberme dado la oportunidad para formarme como profesional. A la Facultad de Ingeniería de Minas, a sus autoridades, docente y personal administrativo, quienes pudieron guiarme con éxito en mi formación académica.

A mi papá que está en el cielo ,mi mama y hermanos, que siempre han estado allí para apoyarme, alentarme y darme ánimo cuando las fuerzas desfallecen, depositando una confianza en mí.

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<i>H</i>	<i>:Altura del talud</i>
<i>h</i>	<i>:Altura de la dovela en la parte media</i>
<i>b</i>	<i>:Ancho de la dovela</i>
<i>JRC</i>	<i>: Coeficiente de rugosidad de las juntas o estructuras “Joint Roughness Coefficient”</i>
<i>PLT</i>	<i>: Ensayo de carga puntual “Point Load Test”</i>
<i>FS</i>	<i>:factor de seguridad</i>
<i>RQD</i>	<i>:Índice de calidad de roca “Rock Quality Designation”</i>
<i>GSI</i>	<i>Índice de resistencia geológica “Geological Strength Index”RMR:Calidad del macizo rocoso “Rock Mass Rating”</i>
<i>ASTM</i>	<i>:Sociedad Americana para el ensayo de Materiales “American Society for Testing and Materials”</i>
<i>ISRM</i>	<i>:Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas “International Society for Rock Mechanics”</i>

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	8
I. INTRODUCCIÓN.....	9
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	14
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	21
RECOMENDACIONES.....	22
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos de la caracterización de la abertura de las discontinuidades.....	15
Tabla 2. Datos de la rugosidad de las discontinuidades.....	16
Tabla 3. Datos del relleno de las discontinuidades.....	16
Tabla 4. Los resultados obtenidos promedios de los ensayos.....	17
Tabla 5. Resultados de la resistencia a compresión simple por el ensayo de carga puntual km 1+580 al 1+700.....	17
Tabla 6. Resultados de la resistencia a compresión simple por el ensayo de carga puntual km 2+500 al 2+620.....	17
Tabla 7. Resultados de la resistencia a compresión simple por el ensayo de carga puntual km 2+620 al 2+760.....	17
Tabla 8. Resultados de la resistencia a compresión simple por el ensayo de carga puntual km 6+400 al 6+700.....	18
Tabla 9. Valores promedio de JCS km 1+400 al 1+580.....	18
Tabla 10. Valores promedio de JCS km 1+580 al 1+700.....	19
Tabla 11. Valores de JCS km 2+500 al 2+620.....	19
Tabla 12. Valores promedio de JCS km 2+620 al 2+760.....	19
Tabla 13. Valores promedio de JCS km 6+400 al 6+700.....	19
Tabla 14. Valores promedios de cada talud.....	20
Tabla 15. Índice de designación de la calidad del macizo rocoso para cada tramo.....	20
Tabla 16. La calidad geotécnica del macizo rocoso a través de la clasificación geomecánica RMR y GSI en cada tramo de análisis es:.....	21
Tabla 17. Análisis de estabilidad de taludes mediante el equilibrio límite.....	21
Tabla 18. Método de las dovelas el factor de seguridad entre las progresivas del km 6+400 al 6+700.....	22

Análisis de la estabilidad de taludes en macizo rocoso de la carretera Sina – Yanahuaya tramo III a partir de la caracterización geológica.

Analysis of the stability of slopes in rocky massif of the sina - yanahuaya section III road from the geomechanics characterization.

Bach. Hernan Ccallo Hanco

E-Mail: jerman_10_20@hotmail.com/951029766

Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería de Minas

Av. Floral 1153, Ciudad Universitaria

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene por finalidad realizar un análisis de estabilidad de taludes en macizo rocoso de la carretera Sina - Yanahuaya , en la zona correspondiente del Distrito de Sina, Provincia de San Antonio de Putina; durante el año 2017 - 2018. En base a este análisis de estabilidad de taludes surge la necesidad de resolver problemas relacionados a la inestabilidad de este tramo específico, que constituye un estudio de investigación geotécnica para el análisis de estabilidad de taludes, que se realizó en las progresivas que comprenden tres tramos que son: Catarata km 1+400 al 1+700, Mirador km 2+500 al 2+760, y Huancoiri km 6+400 al 6+700. El objetivo principal de este trabajo de investigación es realizar el análisis de estabilidad de taludes en macizos rocosos, de muestras de roca intacta para los ensayos de laboratorio. La clasificación geomecánica se determinó a partir de la caracterización del macizo rocoso y la resistencia a la compresión simple; y el factor de seguridad se realizó aplicando la metodología de la proyección estereográfica; los resultados obtenidos para cada talud analizado es: Catarata km 1+400 al 1+580 RMR=64, Clase II, GSI=59, FS=1.79; km 1+580 al 1+700 RMR=54, Clase III, GSI=49, FS=1.02; Mirador km 2+500 al 2+620 RMR=69, Clase II, GSI=59, FS=1.87; km 2+620 al 2+760 RMR=72, Clase II, GSI=67, FS=3.89; y Huancoiri km 6+400 al 6+700 RMR=43, Clase III, GSI=38; y para las secciones km 6+400 FS=0.93; km 6+540 FS=1.41; km 6+620 FS=0.85 y km 6+660 FS=0.94.

Palabras claves: Estabilidad de taludes, macizo rocoso, clasificación geomecánica, factor de seguridad,

ABSTRACT

The present research work has for purpose to accomplish a stability analysis of slopes in rocky mountain mass of the road Sina Yanahuaya Tramo III, at the zone corresponding to the Sub Tramo 02, Distrito of Sina, Provincia of San Antonio de Putina; during the year 2015 - 2016. The need to solve problems related to the instability of this specific stretch, that a study of investigation constitutes geotécnica for the stability analysis of slopes that came true in the progressive that three stretches that they are understand happens on the basis of this stability analysis of slopes: Catarata km 1+400 to the 1+700, Mirador km 2+500 to the 2+760, and Huancoiri km 6+400 to the 6+700. The principal objective of this research work is to accomplish the stability analysis of slopes in rocky mountain

masses, that geomecánica to determine the quality of the rocky mountain mass of a safety factor and (FS), once a kinematic and analytical stability analysis was gotten from depends on a classification. The characterization of the rocky mountain masses accomplished mapping itself in situ, intervening line of details, of all the present structures in the outcrop of the slope, and the overtaking of intact rock for the essays of laboratory. Classification geomecánica of you determined as from the characterization of the rocky mountain mass and the simple compression strength; And the safety factor came true applying the methodology of the projection estereográfica; The results obtained for each examined slope are: Catarata km 1+400 to the 1+580 RMR=64, Classroom II, GSI=59, FS=1,79; km 1+580 to the 1+700 RMR=54, Classroom III, GSI=49, FS=1,02; Mirador km 2+500 to the 2+620 RMR=69, Classroom II, GSI=64, FS=1,87; km 2+620 to the 2+760 RMR=72, Classroom II, GSI=67, FS=3,89; and Huancoiri km 6+400 to the 6+700 RMR=43, Clase III, GSI=38, and for sections km 6+400 FS=0,93; km 6+540 FS=1,41; km 6+620 FS=0,85 and km 6+660 FS=0,94.

Key words: Stability of slopes, rocky mountain mass, classification geomecánica, safety factor.

I. INTRODUCCIÓN

El análisis de estabilidad de taludes es una de las principales etapas dentro del estudio de sí mismo. Los taludes en macizos rocosos se encuentran presentes en las obras de Ingeniería Civil y de Minería, como carreteras, canales, accesos a puentes, túneles, represas, gaseoductos y oleoductos, excavaciones a cielo abierto así como en las canteras de piedra ornamentales, entre otras.

El enfoque de diseño en las obras civiles es proyectar taludes permanentes y seguros, los criterios de seguridad juegan un papel muy importante y fundamental, ya sea en suelos o rocas, pues la identificación de los modos de falla en un talud es primordial para realizar un posterior análisis de estabilidad, pues en el campo de las obras civiles surgen con frecuencia problemas relacionados con la inestabilidad de taludes naturales o de corte.

En la ingeniería actual existe la tendencia de proyectar taludes cada vez más altos, en las obras civiles, siendo más frecuente el uso de técnicas que permitan determinar el factor de seguridad del talud en función de la caracterización geológica y los modos de rotura.

Los métodos estereográficos y de equilibrio límite son ampliamente utilizados en los análisis de estabilidad de taludes en macizos rocosos y suelos.

(Mamani-Larico, 2016) Los estudios y análisis de la estabilidad de taludes están dirigidos a conseguir un talud final económico y seguro.

investigaciones de campo, análisis de laboratorio, evaluaciones técnicas, un apropiado programa de control en el terreno y experimentación. El interés de aplicación en cualquier obra civil o mina está en saber aprovechar las condiciones de las estructuras rocosas con relación a la

estabilidad y la interacción que existen con los programas de perforación; voladura, seguridad y medio ambiente.

(Angel-Christopher, 2017) menciona que “Para mejorar la Estabilidad del talud se debe realizar una caracterización geomecánica de las condiciones in-situ lo que nos permitirá conocer las propiedades geomecánicas del macizo rocoso, así como el comportamiento debido a aguas subterráneas y superficiales, esta caracterización determinará el diseño de un sistema de estabilización óptimo para el talud, el cual debe verificarse según los factores de seguridad después de aplicada la estabilización”.

(García-Aristizábal, Aristizabal-Giraldo, Marín-Sánchez, & Guzman-Martinez, 2018) indica que a pesar del avance investigativo en las metodologías de evaluación de la amenaza, en Colombia ha sido poco el uso de los modelos con base física en la zonificación de la amenaza por movimientos en masa. En el presente trabajo se emplea el modelo determinístico con base física denominado TRIGRS (Transient Rainfall Infiltration and Gridbased Slope-Stability), con un análisis de confiabilidad FOSM (First Order Second Moment), que permite incorporar la incertidumbre de los parámetros del suelo, para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa superficiales detonados por lluvias en las zonas montañosas tropicales, como insumo para la actualización de los Planes de Ordenamiento

Territorial, con el propósito de armonizar la gestión del riesgo con la planificación territorial.

(Camacho-Orozco, Ramos-Cañón, Escobar-Vargas, & Garzón-González, 2016) Wysocki y Schoeneberger describen un comportamiento divergente de las líneas de flujo en formas convexas y un comportamiento convergente en formas cóncavas que afecta directamente la estabilidad del talud.

(Mora-Ortiz & Rojas-González, 2011) Por lo genera indica, las fallas estructurales de talud que ocurren durante la época de lluvia tienen el mismo detonante. Para las fallas poco profundas, la superficie crítica de deslizamiento puede originarse por una de tres opciones: humedecimiento de la superficie del talud, incremento del nivel de agua subterránea o humedecimiento de la interfaz suelo-roca (Xie et al., 2004). Este tipo de fallas están relacionadas con periodos largos de lluvia con moderada intensidad y pueden generar presiones de poro positivas en el cuerpo del talud (Flores et al., 2003). Las fallas más profundas están relacionadas con la disminución de la succión (Collins y Znidarcic, 2004) y se deben a precipitaciones de corta duración, pero de gran intensidad (Casagli et al., 2005). Es importante señalar que una gran parte de los deslizamientos de taludes tiene lugar en zonas tropicales, es decir, con precipitaciones frecuentes durante el año (Bujang, 2006); y pueden ocurrir en una gran

variedad de suelos en climas tropicales y subtropicales (Tohari et al., 2007), presentándose tanto en taludes arenosos (Ching-Chuan et al., 2008) como en arcillosos (Cancelli, 1981).

(Chura-Lope, 2016) indica la caracterización de la zona de estudio en muchos casos está asociada a determinar zonas que presentan alteración que tienen impacto sobre la resistencia del macizo rocoso circundante, su estabilidad y auto sostenimiento esto además influenciado por las precipitaciones fluviales, infiltración a aguas subterráneas, mínimos 0.2 mm y máximos 17.3 en épocas de lluvia, que existe en la zona cuyos datos obtenidos en meteorología e hidrología de (SENAMHI, 2014), el cual altera así sus operaciones mineras en el desarrollo de, túneles, tajeos, cortadas, cruceros, chimeneas, que finalmente converge en accidentes de equipos y del personal colaborador, incrementando los costos operacionales.

(Juan-Gualberto, 2011) indica que un conocimiento adecuado del comportamiento de los taludes frente a las posibles roturas que pueda presentar, repercute enormemente en los costes y la seguridad de la obra; por ello, las investigaciones de campo (in situ) y los realizados en el laboratorio, deben ser lo suficientes, como para poder caracterizar en la medida de lo posible las características geomecánicas del terreno, así como los posibles mecanismos de rotura, para que al final se de una

recomendación en el sistema de refuerzo que se requiera para lograr la estabilidad en dichos taludes.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

En este sitio se realizó la extracción de dos muestras in- alteradas representativas del suelo que conforma el cuerpo del talud. De este material se obtuvieron las propiedades índices, peso específico de sólidos, relación de vacíos, contenido de agua, grado de saturación, conductividad hidráulica, granulometría por vía seca y húmeda, esfuerzo de preconsolidación y parámetros de resistencias (ángulo de fricción (φ), cohesión (c))

Métodos de equilibrio límite o analítico.

Los métodos de equilibrio límite para el cálculo de estabilidad de taludes son los más utilizados en la práctica común por su gran sencillez y porque, a expensas de otras incertidumbres, el coeficiente de seguridad que proporcionan se asemeja enormemente al real. Se acude al cálculo de estabilidad empleando un factor de seguridad (FS) que reduce los parámetros de resistencia para llevar el talud al estado de equilibrio límite.

Existen dos procedimientos de aplicación dentro de este grupo:

- Métodos que suponen una superficie de deslizamiento predeterminada de la que se calcula su factor de seguridad, y

- Métodos en los que se busca la superficie de deslizamiento pésima y su factor de seguridad.

Los métodos de equilibrio límite (los más utilizados) analizan el equilibrio de una masa potencialmente inestable, y consisten en comparar las fuerzas tendentes al movimiento con las fuerzas resistentes que se oponen al mismo a lo largo de una determinada superficie de rotura. (González de Vallejo, 2002) Se basan en:

- La selección de una superficie teórica de rotura en el talud.
- El criterio de rotura de Hoek-Brown.
- El criterio de rotura de Mohr-Coulomb.
- El criterio de rotura de Barton-Bandis.
- La definición de coeficiente de seguridad.

En la ingeniería de taludes en roca, este método es de gran significancia en la detección de fallas de bloques simples a lo largo de distintas discontinuidades. Todos los métodos están basados en la comparación de fuerzas resistentes a la inestabilidad de la masa y otros que causan inestabilidad. Las secciones son analizadas en dos dimensiones asumiendo condiciones en un plano de esfuerzos. (Gundewar, 2014)

Se basan exclusivamente en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable.

No tienen en cuenta las deformaciones del terreno. Suponen que la resistencia al corte se moviliza total y simultáneamente a lo largo de la superficie de corte. En los métodos de equilibrio límite, la seguridad de un determinado talud se cuantifica por medio del factor (o coeficiente) de seguridad, FS, que se define como el cociente entre la resistencia al corte en la superficie de deslizamiento y la necesaria para mantener el equilibrio estricto de la masa deslizante. En la obtención del factor de seguridad se le supone constante en toda la superficie de deslizamiento. (Instituto Geológico y Minero de España, 2006)

Técnicas de recolección de datos

Las investigaciones de campo constituyen la parte más esencial e importante en los análisis de estabilidad de taludes. La técnica usada en la presente investigación es la observación y la caracterización; que es una técnica que consiste en observar atentamente el afloramiento, fenómeno, hecho o caso, tomar información y registrarla para un posterior análisis. Los instrumentos usados en esta etapa son para la obtención de los datos en campo in situ, mediante el método de línea de detalles.

De ellos se obtienen características, parámetros y propiedades que definen las condiciones del macizo rocoso, la topografía y geometría del talud de análisis. En esta etapa se realizaron las siguientes actividades:

- Reconocimiento del área de análisis de la investigación.
- Levantamiento topográfico (proporcionado por la obra), para la elaboración de los planos de ubicación, geológico, planta, perfil, y secciones.
- Caracterización preliminar mediante el mapeo línea de detalles de aspectos geológicos estructurales y geotécnicos.
- Muestreo de rocas para la realización de ensayos en laboratorio

Técnicas para el procesamiento de la información

Los datos fueron procesados con la utilización de software especializados mediante la aplicación de programas computacionales; la caracterización geológica estructural de los macizos rocosos fueron almacenados en el software Microsoft Excel y expresados en histogramas, los datos relacionados con la orientación de la estructura y el análisis de los modos de falla presentes en los taludes de investigación de la carretera Sina Yanahuaya, se realizaron con la utilización de del software Dips v.6.0, y finalmente el análisis de estabilidad por el método de equilibrio límite para el cálculo del factor de seguridad, se utilizó el software RocData v.3.0, RocPlane v.2.0, Swedge v.4.0 y Slide v.6.0 de la compañía de Rocscience.

El programa Dips es un software diseñado para identificar, estimar y analizar las orientaciones

medias de las familias de todas las discontinuidades medidas en el macizo rocoso basado en datos geológicos recolectados en campo y nos permite realizar un análisis cinemático mediante proyección estereográfica los posibles mecanismos de rotura.

El software RocData, es un programa de computación que permite determinar los parámetros de resistencia del macizo rocoso, de acuerdo al criterio de rotura generalizado de Hoek-Brown, es uno de los mayores obstáculos que se encuentran en el campo de los modelos en la mecánica de rocas, es el problema de la definición de datos referentes a las propiedades de los macizos rocosos; el programa también puede ajustar al criterio de falla lineal de Mohr-Coulomb, y otros criterios de falla, tales como: el criterio de falla no lineal, Barton-Bandis y el modelo de Power-Curve de esfuerzo para poner a prueba los datos.

La resolución de problemas de rotura plana, que se puede realizar de manera relativamente sencilla manualmente, también ha sido implementada en algunos programas de cálculo como el denominado RocPlane, la principal ventaja que presenta este programa es la posibilidad de resolver problemas, que permiten aplicar técnicas de cálculos de este tipo desde el punto de vista de la rapidez de la realización de los cálculos, y de la calidad de la presentación de los resultados.

La resolución de problemas de rotura en forma de cuña que a veces resulta algo complicado realizar de manera manual y ha sido implementada en algunos programas de cálculo como el denominado Swedge. Este programa tiene la ventaja de que permite realizar cálculos de manera bastante sencilla y rápida; se obtienen rápidamente tanto los resultados y la representación en perspectiva de la cuña en cuestión, como la proyección estereográfica de los planos que afectan el estudio.

El Slide es un programa de estabilidad de taludes en 2D para la evaluación de la estabilidad de superficies de falla circulares o no circulares en suelos y macizos rocosos, el programa analiza la estabilidad de las superficies de deslizamiento utilizando el criterio de dovelas verticales de los métodos de equilibrio límite, que implementa todos los métodos de fajas como fellenius, bishop y janbu, además permite realizar análisis de probabilidad introduciendo los datos como variables aleatorias; es bastante sencillo de utilizar, con buenas capacidades gráficas y las

superficies de deslizamiento individuales pueden ser analizadas por secciones que pueden ser aplicados para localizar la superficie de deslizamiento crítico para un talud dado.

Los materiales empleados en la presente investigación son los siguientes :

- Brújula

- Martillo de geólogo
- GPS
- Estación total
- Flexómetro.
- Cinta métrica.
- Libreta de notas.
- Útiles de escritorio.
- Cámara.
- Laptop.
- Impresora.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La descripción y caracterización del macizo rocoso se realizó en los afloramientos que presenta cada tramo de talud una identificación general, para lo cual se realizó un mapeo superficial de estructuras expuestas in situ, utilizando el método de línea de detalle (mapeo lineal), este método fue seleccionado por tratarse de una obra civil aplicado a una carretera; que son las estructuras que se presentan a modo de aberturas o grietas en el afloramiento del macizo rocoso, estas estructuras predominantes son las rocas metamórficas que comprende las pizarras, pizarras cuarzosas, cuarcitas y pizarras esquistas de la Formación Sandía, los afloramientos más notorios se encuentran en los tramos de investigación, los cuales fueron mapeados y caracterizados, pues estas estructuras son las que controlan la estabilidad y rotura de un talud.

El muestreo de roca intacta (matriz) o inalterada se realizó a partir de un reconocimiento visual que se establecieron zonas representativas de cada tramo muestras de bloques de roca, haciendo una selección de las mismas, la extracción de estos bloques de roca se realizó en el pie del talud a lo largo de la vía sin fisuras y grietas con dimensiones mayores a 20 x 20 cm, pues las probetas talladas o extraídas en laboratorio deben ser cilíndricas con diámetros mayores a 54 mm y su altura debe ser 2.0 veces igual o mayor el diámetro de la probeta, para obtener ensayos óptimos de compresión simple, carga puntual, tilt test y propiedades físicas según las normas establecidas.

Mapeo de la estructuras geológicas

La caracterización de las estructuras geológicas se realizó con el mapeo lineal, en los tres tramos de investigación que se disponen en el pie del talud a lo largo del eje de vía.

En cada una de ellas se realizó una descripción cuantitativa de todas las estructuras presentes, los parámetros tomados en consideración son los siguientes: Orientación, número de familias (sistemas) espaciamiento, persistencia o continuidad, abertura, meteorización o alteración, rugosidad, relleno, resistencia de las paredes de las discontinuidades, agua en las discontinuidades (condiciones hidrogeológicas). De los datos tomados en campo, son agrupados en familias de discontinuidades principales a

través del análisis estereográfico realizado con la ayuda del software Dips v.6.0, cada uno de los parámetros ya agrupados a una familia estos pueden ser procesados estadísticamente, teniendo como resultado parámetros y características típicas para cada una de las familias.

Abertura de las estructuras

La abertura de las discontinuidades en campo fueron medidas y mapeadas con la ayuda de una cinta métrica. Los valores de abertura obtenidos en campo in situ; se muestran en el Anexo A-2, estos fueron medidos perpendicular a las paredes adyacentes de una discontinuidad para cada uno de los tramos, cada una de estas tienen características diferentes, los cuales se representan a través de gráficos estadísticos, representados por histogramas.

La abertura de las estructuras presentes en cada tramo del talud, se muestran en el siguiente cuadro.

Tabla 1. Datos de la caracterización de la abertura de las discontinuidades

Tramo	Espaciamiento (mm)				
	-1	-2	-3	-4	-5
< 20	2	1	1	0	12
20 a 60	35	23	10	4	115
60 a 200	127	71	43	60	160
200 a 600	80	55	131	91	62
600 a 2000	8	1	38	55	0
2000 a	1	0	0	0	0
> 6000	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Rugosidad

La rugosidad presente en cada una de las discontinuidades se caracterizó en fichas del mapeo lineal in situ, que se muestran en el este artículo, la rugosidad la pared o labio de las discontinuidades fueron medidos con la clasificación de perfiles típicos de rugosidad y valores asociados al coeficiente de rugosidad JRC.

Del mapeo realizado en campo y datos procesados, los resultados se muestran en la tabla, representados en histogramas para cada uno de los tramos; este parámetro es muy importante ya que controla la estabilidad estructural de los bloques presentes en el talud.

Tabla 2. Datos de la rugosidad de las discontinuidades

		Rugosidad				
Tramo	-1	-2	-3	-4	-5	
I	0	0	0	0	0	
II	0	0	0	0	0	
III	0	0	0	0	0	
IV	0	6	4	1	2	
V	10	12	41	6	128	
VI	42	71	49	31	181	
VII	94	62	86	90	38	
VIII	107	0	39	73	0	
IX	0	0	4	9	0	

Fuente: Elaboración propia

Relleno

La caracterización de relleno en las estructuras presentes en cada tramo se realizó en campo in situ, tomando en consideración el material que se encuentra separando las paredes adyacentes de

una discontinuidad; los rellenos fueron reconocidos según el material de relleno que presentan las discontinuidades.

También es importante recalcar que los rellenos se encuentran en las aberturas de las discontinuidades, cuando no existe relleno alguno en la abertura es porque las juntas están completamente cerradas.

Tabla 3. Datos del relleno de las discontinuidades

		Relleno				
Tramo	-1	-2	-3	-4	-5	
Sin	109	27	92	95	0	
Arcilla	120	101	104	93	58	
Grava	19	21	13	8	290	
Óxidos	5	2	14	14	1	

Fuente: Elaboración propia

Ensayos de carga puntual (PLT)

Los ensayos fueron realizados cumpliéndose todos los procedimientos y protocolos de trabajo en laboratorio normados por la ASTM D 5731-02, el equipo de laboratorio utilizado para realizar los ensayos de carga puntual fue una prensa hidráulica manual de 5000 Tn de capacidad.

Los resultados obtenidos promedios de los ensayos de carga puntual para cada tramo de análisis se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 4. Los resultados obtenidos promedios de los ensayos

Km 1+400 al 1+580 Catarata	
Parámetros Estadísticos	Is (MPa)
Numero de resultados	5
Valor máximo, MAX	4.2
Valor mínimo, MIN	2.61
Mediana, MED	3.25
Valor promedio, MEAN	3.33
Desviación estándar, SDEV	0.71
Coefficiente de variación, CV	0.23

Fuente: Elaboración propia

Resultados de la resistencia a compresión simple por el ensayo de carga puntual km 1+400 al 1+580.

Tabla 5. Resultados de la resistencia a compresión simple por el ensayo de carga puntual km 1+580 al 1+700.

Km 1+580 al 1+700 Catarata	
Parámetros Estadísticos	Is (MPa)
Numero de resultados	5
Valor máximo, MAX	4.78
Valor mínimo, MIN	2.78
Mediana, MED	3.49
Valor promedio, MEAN	3.7
Desviación estándar, SDEV	0.79
Coefficiente de variación, CV	0.43

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Resultados de la resistencia a compresión simple por el ensayo de carga puntual km 2+500 al 2+620.

Km 2+500 al 2+620 Mirador	
Parámetros Estadísticos	Is (MPa)
Numero de resultados	3
Valor máximo, MAX	7.98
Valor mínimo, MIN	6.96
Mediana, MED	7.81
Valor promedio, MEAN	7.58
Desviación estándar, SDEV	0.55
Coefficiente de variación, CV	-1.53

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Resultados de la resistencia a compresión simple por el ensayo de carga puntual km 2+620 al 2+760.

Km 2+620 al 2+760 Mirador	
Parámetros Estadísticos	Is (MPa)
Numero de resultados	3
Valor máximo, MAX	9.54
Valor mínimo, MIN	7.48
Mediana, MED	8.26
Valor promedio, MEAN	8.43
Desviación estándar, SDEV	1.04
Coefficiente de variación, CV	0.71

Fuente: Elaboración propia

Estos ensayos de carga puntual también conocido como el ensayo tipo Franklin, se realizaron para cada tramo de análisis en el laboratorio de mecánica de rocas y suelos de la facultad de Ingeniería de Minas; obteniéndose el

índice de resistencia a partir de muestras cilíndricas en forma axial con un factor de corrección de 24.

Tabla 8. Resultados de la resistencia a compresión simple por el ensayo de carga puntual km 6+400 al 6+700.

Km 6+400 al 6+700 Huancoiri	
Parámetros Estadísticos	Is (MPa)
Numero de resultados	7
Valor máximo, MAX	2.71
Valor mínimo, MIN	1.08
Mediana, MED	2.16
Valor promedio, MEAN	2
Desviación estándar, SDEV	0.58
Coefficiente de variación, CV	-0.57

Fuente: Elaboración propia

Estos ensayos de carga puntual se realizaron con la finalidad de correlacionar y corroborar con datos obtenidos por ensayos de compresión uniaxial, sin embargo los datos del índice carga puntual no se tomaron en cuenta por tratarse de un ensayo de manera indirecta; los datos de compresión uniaxial son los más confiables y utilizados.

Resistencia de las paredes de las discontinuidades

Para la determinación de los valores de resistencia de las paredes de las discontinuidades, se tomaron datos en el campo

con el martillo de Schmidt tipo L, aplicando directamente sobre los labios de las discontinuidades, estos datos se muestran en el Anexo A-2, en las fichas del mapeo lineal.

Los valores de JCS fueron calculados con la ecuación 2.1, para cada tramo de análisis, a partir del índice de rebote del martillo de Schmidt y el peso específico de la roca obtenido en el laboratorio, a continuación se muestran en las siguientes tablas del 4.8 al 4.12, para cada uno de los tramos de análisis.

Tabla 9. Valores promedio de JCS km 1+400 al 1+580.

Km 1+400 al 1+580			
Resist. de las Discontinuidades			
#	Rprom.	γprom.	JCS (MPa)
1	44.8	25.71	105.58
2	41.6	25.71	89.37
3	44.4	25.71	103.4
4	39.6	25.71	80.53
5	40.6	25.71	84.83
6	41.2	25.71	87.53
7	41.4	25.71	88.44
8	40	25.71	82.22
9	40.6	25.71	84.83
Promedio JCS			89.64

Fuente: elaboración propia

En la tabla anterior se muestra una resistencia promedio de 89.64 MPa, este valor indica una roca R4 - roca dura, para las progresivas del km

1+400 al 1+580; y entre las progresivas del km 1+580 al 1+700 se tiene también una roca R4 - roca dura con una resistencia promedio de 86.08 MPa

Tabla 10. Valores promedio de JCS km 1+580 al 1+700.

Km 1+580 al 1+700			
Resist. de las Discontinuidades			
#	Rprom.	γprom.	JCS
1	44.2	25.59	101.24
2	40.4	25.59	83.13
3	40	25.59	81.43
4	40.6	25.59	84
5	39.8	25.59	80.59
Promedio JCS			86.08

Fuente: elaboración propia

Tabla 11. Valores de JCS km 2+500 al 2+620.

Km 2+500 al 2+620			
Resist. de las Discontinuidades			
#	Rprom.	γprom.	JCS (MPa)
1	55.4	27.33	219.98
2	51	27.33	172.41
3	53.8	27.33	201.33
4	50.8	27.33	170.51
5	49.6	27.33	159.55
6	51.2	27.33	174.33
7	53.2	27.33	194.75
8	53.4	27.33	196.92
Promedio JCS			186.23

Fuente: elaboración propia

Tabla 12. Valores promedio de JCS km 2+620 al 2+760.

Km 2+620 al 2+760			
Resist. de las Discontinuidades			
#	Rprom.	γprom.	JCS (MPa)
1	53.2	26.89	185.73
2	52.6	26.89	179.76
3	53	26.89	183.72
4	53.4	26.89	187.77
5	52	26.89	173.97
6	49.8	26.89	154.32
7	51.6	26.89	170.22
Promedio JCS			176.5

Fuente: elaboración propia

La resistencia de las rocas para las progresivas entre los tramos del km 2+500 al 2+620 y km 2+620 al 2+760, la resistencia promedio es de 186 Mpa y 176 Mpa, nos indica una R5 - roca muy dura

Tabla 13. Valores promedio de JCS km 6+400 al 6+700.

Km 6+400 al 6+700			
Resist. de las Discontinuidades			
#	Rprom.	γprom.	JCS (MPa)
1	36.2	27.31	75.86
2	38.4	27.31	85.68
3	36.8	27.31	78.42
4	35.2	27.31	71.77
5	36.4	27.31	76.7
6	37.4	27.31	81.06
7	35	27.31	70.98
8	35.2	27.31	71.77
9	35	27.31	70.98
10	33.6	27.31	65.69
11	35.6	27.31	73.38
12	35	27.31	70.98
Promedio JCS			74.44

Fuente: elaboración propia

En este tramo entre las progresivas del km 6+400 al 6+700 se realizó mediante la aplicación de índice de rebote del martillo de Schmidt en todo el eje de la vía sobre los pies de los taludes obteniéndose una resistencia promedio de 74.44 MPa roca dura a moderadamente dura - R4.

Coefficiente de rugosidad de las juntas

El JRC es un parámetro necesario para la valoración geotécnica de las discontinuidades por los criterios de resistencia, este indica un coeficiente de la rugosidad de las juntas, el cual es fundamental en la estabilidad de taludes en roca estructuralmente controlados.

Para estimar la rugosidad en términos de índice de JRC; se tomaron en cuenta los diferentes valores de la rugosidad obtenidos por el mapeo lineal, por observaciones y medidas en campo, con la comparación de perfiles típicos de rugosidad de las discontinuidades, pues estos valores están asociados con JRC, en la siguiente tabla 4.13 se muestran los valores promedios de cada talud.

Tabla 14. Valores promedios de cada talud.

Tramo	JRCprom.	
Catarata km 1+400 al 1+580	2 a 4	4
Catarata km 1+580 al 1+700	6 a 8	6
Mirador km 2+500 al 2+620	4 a 6	5
Mirador km 2+620 al 2+760	4 a 6	4
Huancoiri km 6+400 al 6+700	6 a 8	7

Fuente: elaboración propia

Índice de designación de la calidad de la roca (RQD)

Para la determinación del RQD se utilizó el criterio de Priest y Hudson que consideran la medición del número de fisuras por metro lineal determinadas al realizar el levantamiento litológico-estructural, y por mapeo lineal (línea de detalles), calculados con la ecuación 2.4; los resultados obtenidos del RQD calculados a partir del número de fisuras por metro (espaciamiento de las discontinuidades), este muestra los valores de RQD característicos para cada una de las zonas de análisis del mapeo geotécnico realizado.

Tabla 15. Índice de designación de la calidad del macizo rocoso para cada tramo.

Tramo	RQDprom	
Catarata km 1+400 al	4	94
Catarata km 1+580 al	6	88
Mirador km 2+500 al 2+620	4	94
Mirador km 2+620 al 2+760	3	96
Huancoiri km 6+400 al	12	66

Fuente: elaboración propia

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Tabla 16. La calidad geotécnica del macizo rocoso a través de la clasificación geomecánica RMR y GSI en cada tramo de análisis es:

Tramo	RMR	GSI	Clase	Descripción	Condición
Catarata:				Regular	
km 1+400 al 1+580	64	59	II - III	Regular	Estable
Catarata:				Regular	
km 1+580 al 1+700	54	49	III - III	Regular	Estable
Mirador:				Buena	
km 2+500 al 2+620	69	64	II - III	Regular	Estable
Mirador:				Buena	
Km 2+620 al 2+760	72	67	II - II	Buena	Estable
Huancoiri:				Regular	
km 6+400 al 6+700	43	38	III - IV	Mala	Inestable

Fuente: elaboración propia

1. El análisis de estabilidad de taludes mediante el equilibrio límite, por métodos exactos se determinó el tipo de rotura y factor de seguridad para cada uno de los tramos analizados: km 1+400 al 1+580 FS=1.79; km 1+580 al 1+700 FS=1.02; km 2+500 al 2+620 FS=1.87; km 2+620 al 2+760 FS=3.89.

Tabla 17. Análisis de estabilidad de taludes mediante el equilibrio límite

Tramo	Progresiva	Rotura	F.S.	Condición
	km 1+400 al 1+580	Planar	1.79	Estable
Catarata	km 1+580 al 1+700	Cuña/Vuelco	1.02	Inestable
	km 2+500 al 2+620	Cuña	1.87	Estable
Mirador	km 2+620 al 2+760	Caña	3.89	Estable

Fuente: elaboración propia

Y por el método de las dovelas el factor de seguridad entre las progresivas del km 6+400 al 6+700, para diferentes secciones de corte se obtuvo los siguientes resultados que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 18. Método de las dovelas el factor de seguridad entre las progresivas del km 6+400 al 6+700

F.S.					
Tramo	Secciones	Fellenuis	Bishop	Janbu	Condición
Huancoirasi	km 6+400	0.92	0.93	0.92	Inestable
	km 6+540	1.38	1.41	1.38	Estable
	km 6+620	0.81	0.85	0.81	Inestable
	km 6+660	0.94	0.94	0.94	Inestable

Fuente: elaboración propia

RECOMENDACIONES

1. En el tramo km 1+580 al 1+700; el RMR es menor a 60, pertenece al clase III, y GSI igual a 49; presenta una descripción regular del macizo rocoso, para lo cual se sugiere realizar medidas de estabilización en el talud.

Para tramo km 6+400 al 6+700 el RMR es muy inferior a 60; casi igual a 40, de clase III, con un GSI igual a 38; el talud presenta una descripción geotécnica de regular a mala, es por eso que se

considera un talud parcialmente inestable; ante esta condición se recomienda realizar una corrección del talud.

2. Para el tramo km 1+400 al 1+580, el factor de seguridad es ligeramente superior a 1.50, es estable; sin embargo se recomienda por medidas de seguridad una protección superficial como la instalación de mallas metálicas estáticas en el pie del talud, desde el km 1+485 al 1+540; como una barrera para proteger de la caída de bloques de roca sobre la vía.

contención de concreto armado del tipo muros con contrafuertes de 20 m de largo.

Dado que el factor de seguridad para el tramo km 2+500 al 2+620 y km 2+620 al 2+760 es superior a 1.50 este talud se encuentra totalmente estable, se sugiere realizar en el tramo analizado un rociado de mortero de cemento, agua y agregado fino, sobre la superficie de talud para evitar caídas de rocas.

Y siendo el factor de seguridad en las secciones analizadas del tramo km 6+400 al 6+700; muy inferior a 1.20, se considera como inestable y se recomienda realizar una corrección por modificación de la geometría del talud mediante banquetas, eliminando el material en la parte superior y disminuyendo la pendiente del talud hasta (V:H) 1:1, con una altura máxima de talud

de 45 m y un ancho de 10 m. esto desde el km 6+585 al 6+700, debido a que el

Las recomendaciones adoptadas para esta investigación, proponen una alternativa de solución al problema de inestabilidad y probabilidad de falla en taludes de macizo rocoso analizados.

3. Se sugiere realizar un estudio de hidrología y drenaje debido a que el lugar de estudio no cuenta con estaciones meteorológicas; usando la mayor cantidad de estaciones meteorológicas cercanas o parecidas al lugar de análisis, para tener un drenaje adecuado en los taludes analizados.

4. Se continúe con la investigación aplicando un análisis de estabilidad de taludes en roca y suelos en los tramos posteriores de carretera Sina Yanahuaya; debido a que se encuentra en la etapa de construcción. El factor de seguridad para el tramo km 1+580 al 1+700, es menor de 1.20, se califica como inestable, para lo cual se plantea muros de macizo rocoso se encuentra totalmente fracturado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angel-Christopher, S. V. (2017). *Universidad Nacional Del Altiplano* (universidad nacional del altiplano). Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6088>
- Camacho-Orozco, S., Ramos-Cañón, A. M., Escobar-Vargas, J. A., & Garzón-González, A. F. (2016). Análisis cuantitativo en la influencia de la geomorfología en la estabilidad de taludes. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 16(30), 1–16. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75054207002>
- Chura-Lope, W. (2016). Diseño de sostenimiento en el túnel Wayrasencca – Ollachea (universidad nacional del altiplano). Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4489>
- García-Aristizábal, E. F., Aristizabal-Giraldo, E. V., Marín-Sánchez, R. J., & Guzman-Martinez, J. C. (2018). Implementación del modelo TRIGRS con análisis de confiabilidad para la evaluación de la amenaza a movimientos en masa superficiales detonados por lluvia. *TecnoLógicas*, 22(44), 1–19. Retrieved from <https://www.redalyc.org/jatsRepo/3442/344259166008/html/index.html>
- Juan-Gualberto, T. U. (2011). *Universidad Nacional Del Altiplano* (universidad nacional del altiplano). Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4765>
- Mamani-Larico, R. R. (2016). "Análisis de la

estabilidad de taludes en macizo rocoso de la carretera Sina Yanahuaya tramo III , a partir de la caracterizacion geologica y resistencia a la compresion simple”

(Universidad Nacional del Altiplano).

Retrieved from

<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2976>

Mora-Ortiz, R. S., & Rojas-González, E. (2011).

Efecto de la saturación en el deslizamiento de talud en la comunidad San Juan de Grijalva, Chiapas. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 13(marzo), 1–14. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/404/40423210006.pdf>