

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**DISEÑO PRELIMINAR PARA TALUDES EN
ROCA EN EL TRAMO III - SINA YANAHUAYA**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

PRESENTADO POR:

MIDUAR DENNIS YUPANQUI BAILON

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

**DISEÑO PRELIMINAR PARA TALUDES EN ROCA EN EL TRAMO III – SINA
YANAHUAYA**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL, PRESENTADO POR:

MIDUAR DENNIS YUPANQUI BAILON

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

APROBADO POR:

PRESIDENTE:

Dr. Juan Mayhua Palomino

PRIMER MIEMBRO:

Ing. David Velasquez Medina

SEGUNDO MIEMBRO:

M.Sc. Lucio Quea Gutierrez

ÁREA: Ingeniería de Minas

TEMA: Diseño preliminar para taludes

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 30 de octubre del 2019

DEDICATORIA

A mis padres Roger Yupanqui Flores y Elsa Bailon Limachi; A mis hermanos y familia más cercana.

A todos Ustedes, que siempre ha estado pendiente tanto en los momentos hermosos como en los difíciles de mi vida y me ha brindado todo el apoyo y amor que uno puede recibir es una satisfacción y un privilegio dedicarles, con alegría y entusiasmo personal, profesional e intelectual, con mucho amor y cariño hacia ustedes.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a mis padres, que siempre han estado cuando los he necesitado, en los buenos y en los malos momentos, dándome su apoyo incondicional con buenos hábitos y valores.

A la Facultad de Ingeniería de Minas, por brindarme la oportunidad de hacerme profesional y así de esta forma concretizar mi formación profesional y lograr mis grandes anhelos. Así mismo a los docentes por sus enseñanzas, sugerencias y recomendaciones que fueron fundamentales en mi aprendizaje.

A la Universidad Nacional del Altiplano Puno, mi Alma Mater que me tuvo entre sus aulas durante los años de mi formación profesional, otorgándome parte del conocimiento que he adquirido para mi desenvolvimiento profesional.

INDICE GENERAL

Resumen	9
Materiales y metodología	16
Resultados y discusión	16
Conclusión.....	18
Agradecimientos.....	18
Literatura citada.....	18

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades físicas de la roca.....	16
Tabla 2 Compresión simple de la roca	16
Tabla 3 Corte directo de la roca	17

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Talud sin presencia de falla.....	12
Figura 2 Talud con presencia de falla	12
Figura 3 Diagrama de Mohr	12
Figura 4 Fuerza resultante	13
Figura 5 Fuerzas que actúan sobre la superficie deslizante.....	13
Figura 6 Tensiones que actúan sobre una superficie deslizante	13
Figura 7 Vista de falla de cuña.....	14
Figura 8 Estereograma de cuña	14
Figura 9 Vista de la cuña con la definición de los ángulos y los planos deslizantes	15
Figura 10 Sección transversal de la cuña	15
Figura 11 Falla por vuelco	15
Figure 12 Estereograma de falla de cuña	17
Figura 13 Curva del corte directo.....	17
Figura 14 Análisis de cuñas - Swedge	17

INDICE DE ACRONIMOS

ASTM	: American Society for Testing and Materials
Dip Dir	: Dirección de buzamiento
Dip	: Dirección
FS	: Factor de Seguridad
GSI	: Geological Strength Index
ISRM	: Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas
JCS	: Joint Wall Compression Strenght
RMR	: Rock Mass Rating
RQD	: Rock Quality Designation
UCS	: Uniaxial Compression Strenght

**DISEÑO PRELIMINAR PARA TALUDES EN ROCA EN EL TRAMO III –
SINA YANAHUAYA****PRELIMINARY DESIGN FOR ROCK SLOPE IN SECTION III - SINA
YANAHUAYA**

Miduar Dennis Yupanqui Bailon, Bachiller, Laboratorio de Geotecnia & Mecánica de rocas, Facultad de Ingeniería de Minas - UNA - PUNO, miduardennisyuba@gmail.com, 975236988

RESUMEN

El presente estudio se realizó para el proyecto: construcción y mejoramiento de la carretera DV. Vilquechico – Cojata – Sina - Yanahuaya tramo III (Sina-Yanahuaya) sub tramo 03 desde Km 15+840 al 31+200. Ubicado en la provincia de Sandía, en la Región de Puno, con el objetivo de realizar ensayos geomecánicos para el modelamiento de talud puesto que es una arteria, que permitirá mejorar las condiciones socioeconómicas de los pobladores del área de influencia. La metodología empleada en este estudio se sustenta en la investigación no experimental, de tipo descriptivo orientándose al diseño de taludes, recopilación y evaluación de la información existente. Descripción geomecánica en el área de estudio. Ubicación y desarrollo. Toma de muestras alteradas e inalteradas de sub rasante, (roca). Toma de muestras (rocas) en el talud existente. Ensayos de campo y laboratorio (a cargo de un especialista). Análisis y evaluación de la información. Trabajo de gabinete. Preparación del informe realizando la compilación, integración y edición del estudio.

El sector en estudio se caracteriza por presentar una topografía medianamente accidentada con presencia de cadenas de lomas, colinas entre cerros que decrecen en altitud y relieve. El área se encuentra surcado por quebradas y pequeños afluentes.

Para este estudio se han realizado de acuerdo a las características físicas y mecánicas que presenta la caracterización de rocas para ello se ha utilizado la norma ASTM.

Palabras clave: Geomecánica, macizos rocosos, análisis, estabilidad, datos estructurales.

ABSTRACT

The present study was carried out for the project: construction and improvement of the DV highway. Vilquechico - Cojata - Sina - Yanahuaya section III (Sina-Yanahuaya) sub-section 03 from Km 15 + 840 to 31 + 200. Located in the province of Sandia, in the Puno Region, with the aim of conducting geometric tests for modeling of slope since it is an artery, which can improve the socioeconomic conditions of the inhabitants of the area of influence. The methodology used in this study is based on non-experimental, descriptive research oriented to the design of studies, collection and evaluation of existing information. Geometric description in the study area. Location and development. Taking altered and unchanged subgrade samples (rock). Sampling (rocks) in the existing slope. Field and laboratory tests (by a specialist). Analysis and evaluation of the information. Cabinet work Preparation of the report, compilation, integration and editing of the study.

The sector under study is characterized by a moderately rugged topography with the presence of hill chains, hills between hills that descend in altitude and relief. The area is furrowed by gorges and small tributaries.

For this study, the agreement of the physical and mechanical characteristics of the characterization of rocks for the ASTM standard was used.

Keywords: Geomechanics, rock masses, analysis, stability, structural data

INTRODUCCION

El estudio de los materiales que constituye el trazo para la carretera en proyecto, ha permitido determinar las propiedades físico – mecánicas del terreno de fundación o subrasante. Estas características se establecen a través de ensayos de campo y laboratorio, infiriendo el perfil estratigráfico de la vía mediante pozos de exploración, calicatas, que a la vez se van recolectando muestras y transportándolas al laboratorio para ser ensayadas de acuerdo a las normas vigentes. Escobar, (2017) indica que para un análisis de talud se requiere conocimiento sobre la geometría del terreno y las obras de ingeniería proyectadas o ya existentes, la resistencia al corte de los materiales y las condiciones de presión de poros. En caso de inestabilidad actual, es necesario definir el tipo de movimiento de falla del talud, mientras que en la predicción del comportamiento, se debe establecer el tipo de inestabilidad con mayores posibilidades de ocurrir; esto requiere un buen conocimiento y utilización de la geología, la geomorfología, la foto interpretación, el poder de observación y la experiencia. Algunos tipos de inestabilidad, básicos o simples, son susceptibles de análisis convencionales; otros no y por lo tanto debe acudir a técnicas de observación y análisis probabilístico. Bonilla, (2018) define que todo estudio se debe *“realizar con la finalidad de evaluar las características Geológicas y Geotécnicas del área que comprende el proyecto”*, Guerra & Pinzón, (2015) también indica que *“Para el análisis de la estabilidad de*

un talud, se debe evaluar si se puede realizar un análisis a partir de equilibrio límite considerando una mayor componente al ángulo de fricción en las zonas que se desarrollan longitudes de contacto de bloques, para evaluar su influencia en el factor de seguridad y su validez para definir la estabilidad de una ladera”. Secretaría, (2013) menciona que existe *“la necesidad de ejecutar ensayos para evaluar la resistencia del corte, las propiedades del esfuerzo-deformación y la resistencia de la roca en el sitio”* Díaz & Rodríguez, (2018) menciona que Una vez caracterizados los materiales existentes en el área de estudio se estudia las tipologías de inestabilidad que se puedan producir, los factores de seguridad y sus posibles causas. Vilca, (2019) indica que un buen estudio geotécnico consigue diseñar estructuras seguras que puedan estar por encima de un factor de seguridad mínimo y con ello controlar cualquier eventualidad no deseada y por ende reducir costos. Suárez, (2009) indica que el factor de seguridad es empleado por los ingenieros para conocer cuál es el factor de amenaza para que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se Diseña. Navarro, (2008) indica que el factor mínimo contra la falla por capacidad de carga de un terraplén, talud o muro sobre un suelo blando a corto plazo debe ser mayor que uno ($FS \geq 1.3$). CE, (2016) además indica que el factor de seguridad mínimo del talud deberá ser 1.5 para solicitaciones estáticas y 1.25 para solicitaciones sísmicas, si estos factores de seguridad no son cumplidos, se deberá de

seleccionar un metodo de estabilizacion y probarlos hasta que la solución propuesta alcance la aprobación de ambos factores de seguridad

Mecanismos de falla de taludes en rocas

Fallas por estructuras pre-existentes:

Falla plana:

- Condiciones
- Discontinuidad subparalela al talud (DR < 20°)
- Buzamiento disc. menor que talud ($\psi_p < \psi_f$)
- Buzamiento disc. mayor que ángulo de fricción de la discontinuidad ($\psi_p > \phi$)



Figura 1 Talud sin presencia de falla

Fuente: *Rock Slope Engineering*, Duncan & Mah, (2004)

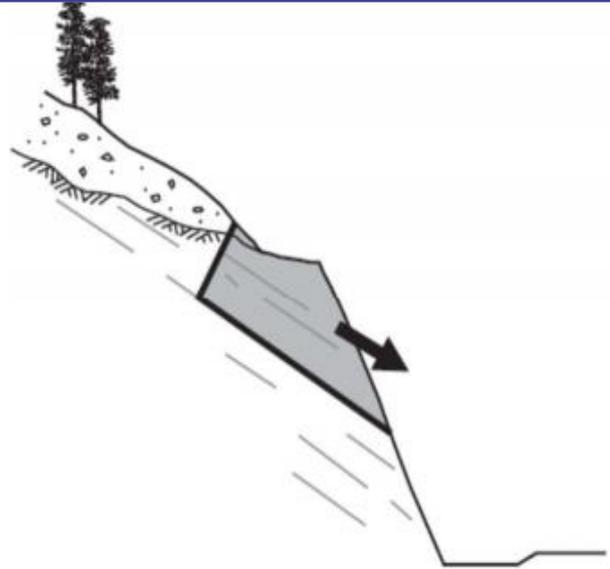


Figura 2 Talud con presencia de falla

Fuente: *Rock Slope Engineering*, Duncan & Mah, (2004)

- Factor de seguridad

Método de cálculo de factor de seguridad en falla planar:

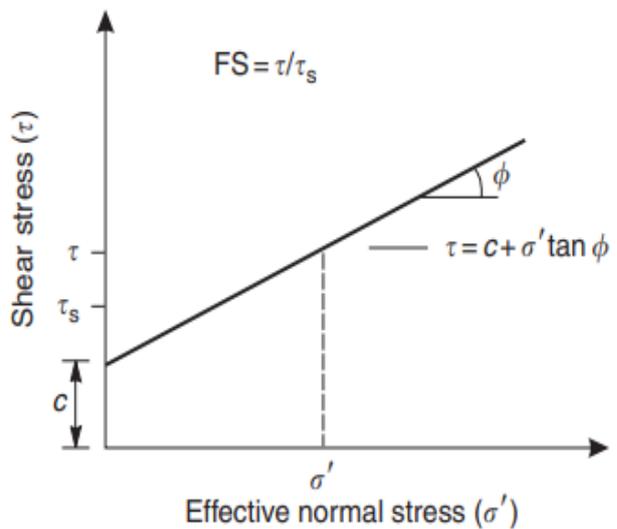


Figura 3 Diagrama de Mohr

Fuente: *Rock Slope Engineering*, Duncan & Mah, (2004)

Se muestra el diagrama de Mohr que muestra la resistencia al corte definido por la cohesión c y el ángulo de fricción ϕ (Figura 3).

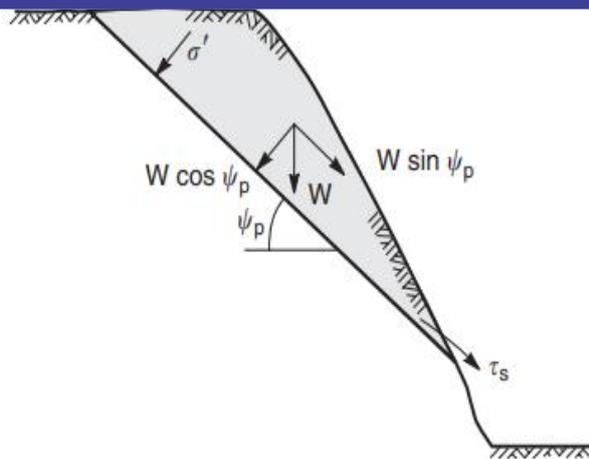


Figura 4 Fuerza resultante

Fuente: Rock Slope Engineering, Duncan & Mah, (2004)

Resultante de la fuerza W debido al peso del bloque en los componentes paralelo y perpendicular al plano deslizante ($Bz \psi_p$) en la Figura 4.

La estabilidad del bloque en la Figura 4 puede ser cuantificado por la relación de las fuerzas de resistencia y desestabilizantes, que se denomina factor de seguridad, FS. Por lo tanto, la expresión para el factor de la seguridad es:

$$FS = \frac{\text{resisting forces}}{\text{driving forces}}$$

$$FS = \frac{cA + W \cos \psi_p \tan \phi}{W \sin \psi_p}$$

- Efecto del agua

El efecto del agua subterránea y las fuerzas de los pernos en el factor de seguridad del talud de roca:

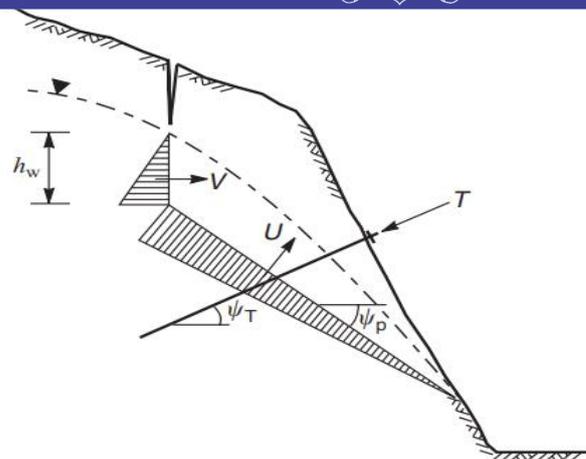


Figura 5 Fuerzas que actúan sobre la superficie deslizante

Fuente: Rock Slope Engineering, Duncan & Mah, (2004)

agua subterránea y fuerzas del perno que actúan sobre la superficie deslizante en la Figura 5.

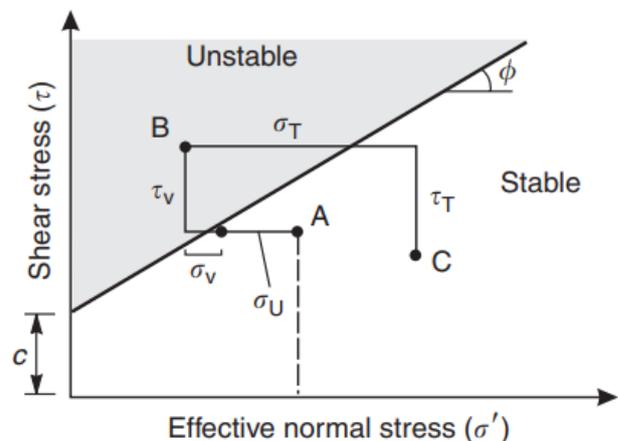


Figura 6 Tensiones que actúan sobre una superficie deslizante

Fuente: Rock Slope Engineering, Duncan & Mah, (2004)

Diagrama de Mohr de tensiones que actúan sobre una superficie deslizante (Figura 6) que muestra condiciones de estabilidad e inestabilidad.

Falla en cuña:

La geometría de la cuna para analizar la mecánica básica del deslizamiento se define según lo siguiente:

- Condiciones
- Dos discontinuidades que se intersecten
- Inclinación línea intersección menor que el buzamiento aparente del talud ($\psi_i < \psi_{fi}$)
- Incl. mayor que ángulo de fricción ($\psi_i > \phi$)

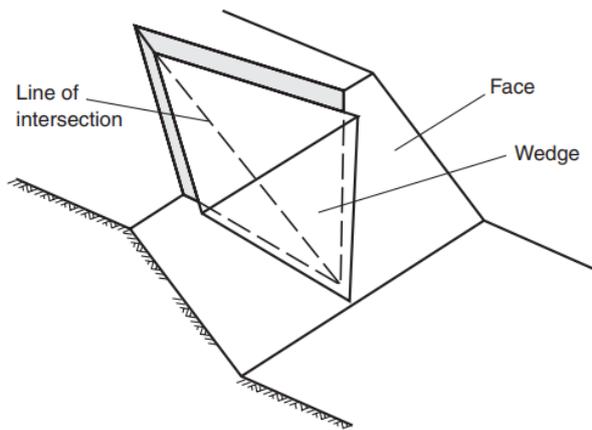


Figura 7 Vista de falla de cuña

Fuente: Rock Slope Engineering, Duncan & Mah, (2004)

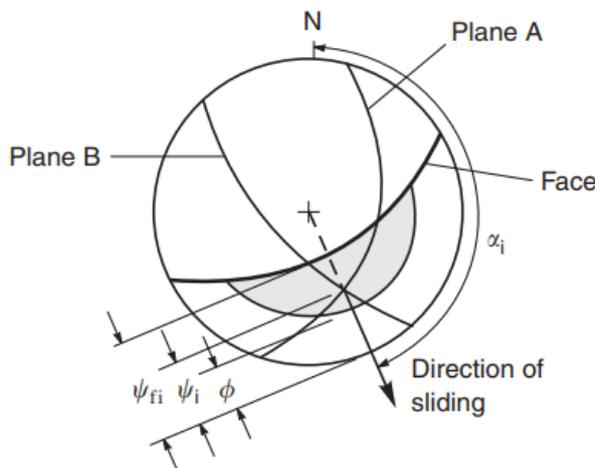


Figura 8 Estereograma de cuña

Fuente: Rock Slope Engineering, Duncan & Mah, (2004)

Estereograma donde se muestra la línea de intersección, y el rango de caída donde la falla es factible (Figura 8).

En general, el deslizamiento puede ocurrir si los puntos de intersección entre los dos grandes círculos de los planos deslizantes se encuentran dentro del área crítica.

- Factor de seguridad
- Cálculo dirección e inclinación línea intersección

$$\alpha_i = \tan^{-1} \left[\frac{\tan[\psi_A] \cos[\alpha_A] - \tan[\psi_B] \cos[\alpha_B]}{\tan[\psi_B] \sin[\alpha_B] - \tan[\psi_A] \sin[\alpha_A]} \right]$$

$$\psi_i = \tan[\psi_A] \cos[\alpha_A - \alpha_i] - \tan[\psi_B] \cos[\alpha_A - \alpha_i]$$

Donde α_A y α_B son las direcciones de buzamiento, ψ_A y ψ_B son buzamientos de los dos planos. La segunda ecuación da dos soluciones separadas 180 °; el el valor correcto se encuentra entre α_A y α_B .

- Cálculo de las fuerzas R

Las fuerzas R_A y R_B se encuentran resolviendo en componentes normales y paralelos a la dirección a lo largo de la línea de intersección de la siguiente manera:

$$R_A \sin[\beta - \xi / 2] - R_B \sin[\beta + \xi / 2] = 0$$

$$R_A \sin[\beta - \xi / 2] + R_B \sin[\beta + \xi / 2] = W \cos[\psi_i]$$

Donde R_A y R_B son las reacciones normales proporcionado por los planos A y B como se muestra en la Figura 8, y el componente del peso que actúa debajo de la línea de intersección es ($W \sin \psi_i$).

- Cálculo del factor de seguridad

$$R_A + R_B = \frac{W \cos[\psi_i] \sin[\beta]}{\sin[\xi/2]}$$

$$FS = \frac{(R_A + R_B) \tan[\phi]}{W \sin[\psi_i]}$$

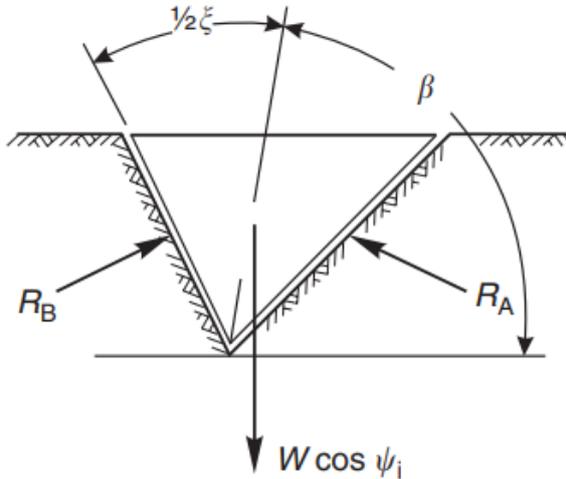


Figura 9 Vista de la cuña con la definición de los ángulos y los planos deslizantes

Fuente: Rock Slope Engineering, Duncan & Mah, (2004)

Se muestra la cuña mirando a la cara que muestra la definición de los ángulos β y ξ las reacciones de los planos deslizantes R_A y R_B .

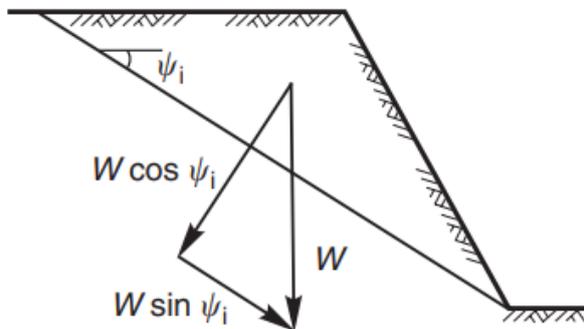


Figura 10 Sección transversal de la cuña

Fuente: Rock Slope Engineering, Duncan & Mah, (2004)

Sección transversal de la cuña que muestra la resolución del peso de la cuña W

Falla por vuelco:

- Condiciones

-Buzamiento de discontinuidades opuesto al talud

- Relación de lados de los bloques desfavorable
- Cinemática posible (corte o falla al pie)

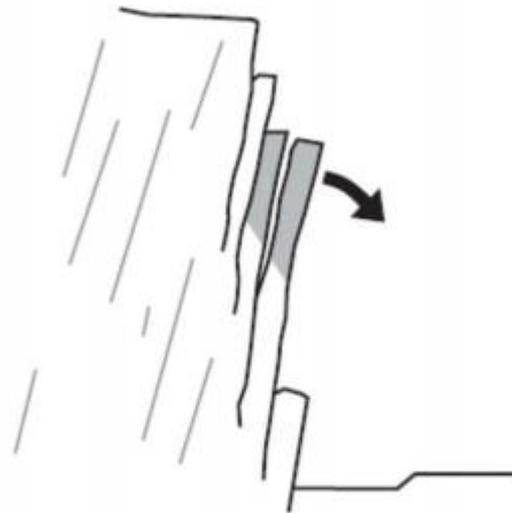


Figura 11 Falla por vuelco

Fuente: Rock Slope Engineering, Duncan & Mah, (2004)

Se propone hacer un diseño preliminar para taludes en roca en el tramo III Sina – Yanahuaya, mediante datos estructurales y ensayos de laboratorio.

- mediante los datos estructurales se propone diseño preliminar para taludes en roca en el tramo III – Sina Yanahuaya.
- Modelar para el diseño preliminar de taludes de roca de la carretera Sina-Yanahuaya.

Aplicando procedimientos geotécnicos se determinará el diseño y la estabilidad de talud

1. MATERIALES Y METODOLOGIA

La metodología empleada en este estudio está basada en varias etapas: Recopilación y evaluación de la información existente. Descripción geotécnica en el área de estudio. Ubicación y desarrollo. Toma de muestras (rocas) Km. 24+370 en el talud existente. Ensayos de campo y laboratorio (a cargo de un especialista). Análisis y evaluación de la información. Trabajo de gabinete. Preparación del informe realizando la compilación, integración y edición del estudio, análisis y modelamiento de talud y cuña.

El análisis de la estabilidad geomecánica de los macisos rocosos está condicionado por un conjunto de limitaciones de orden práctico y económico, por lo que las evaluaciones se efectuarán de acuerdo a una metodología relativamente sencilla que proveerá de respuestas razonables a nivel de anteproyecto. Para este fin la mecánica ha desarrollado un conjunto de técnicas, basadas en características cualitativas e índices numéricos que inciden en el comportamiento del macizo rocoso.

Los métodos propuestos por Bieniawski (1979) y Romana (1993) para obtener el RMR y SMR respectivamente, requieren de la determinación de parámetros básicos que involucran aspectos de campo, laboratorio y gabinete, que seguidamente se describen.

2. RESULTADOS Y DISCUSION

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos para las diferentes fases desarrolladas.

• ENSAYOS DE PROPIEDADES FÍSICAS

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM C 97-02, obteniéndose los siguientes resultados: (Tabla 1)

Tabla 1 Propiedades físicas de la roca

Tara	Densidad seca (g/cm ³)	Porosidad aparente (%)	Peso específico aparente (KN/m ³)
24+370	2.30	0.13	22.58
Numero de resultados		1 1	1
Valor máximo, MAX		2.30 0.13	22.58
Valor mínimo, MIN		2.30 0.13	22.58
Mediana, MED		2.30 0.13	22.58
Valor promedio, MEAN		2.30 0.13	22.58

Fuente: Elaboración propia.

• ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D 2938-95, obteniéndose los siguientes resultados, indicando sus respectivas resistencias a la compresión simple (Tabla 2):

Tabla 2 Compresión simple de la roca

ID	Relación L/D	Carga (Kg-f)	UCS (MPa)
M-01 (Km. 24+370)	2.0	3200.0	27.24
M-02 (Km. 24+370)	2.0	2250.0	19.15
M-03 (Km. 24+370)	2.0	1040.0	8.85
Número de resultados			3

Valor máximo, MAX	27.24
Valor mínimo, MIN	8.85
Mediana, MED	19.15
Valor promedio, MEAN	18.41
Desviación estándar, SDEV	9.22
Coeficiente de variación, CV	-0.36

Fuente: Elaboración propia.

• **ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN DISCONTINUIDADES**

Los ensayos se realizaron según las normas ISRM y aplicando el criterio de Barton - Bandis, obteniéndose los siguientes resultados (Tabla 3):

Tabla 3 Corte directo de la roca

ϕ_r (°)	JRC _n	JCS _n (MPa)	sign _{max} (MPa)	ϕ (°)	cohesión (MPa)
28	9	60	12.08	33.47	0.44

Fuente: Elaboración propia.

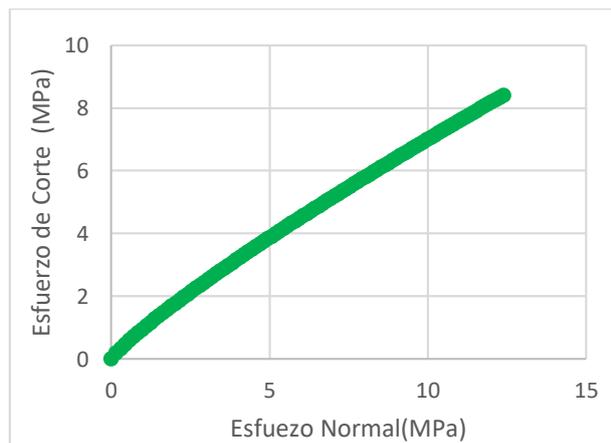


Figura 13 Curva del corte directo

Fuente: Elaboración propia.

• **PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA**

Se muestra un estereograma (Figura 12). con una probabilidad de 16.5% para falla de tipo cuña con un ángulo de fricción de 33.47°,

buzamiento con 75°, dirección de buzamiento con 175°.

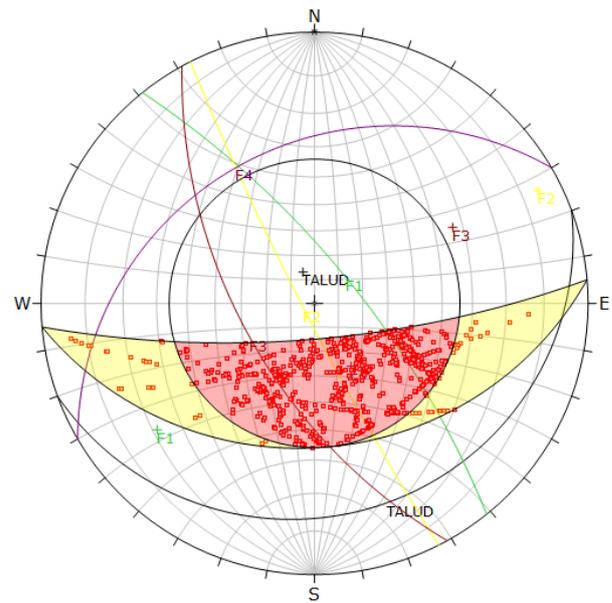


Figure 12 Estereograma de falla de cuña

Fuente: Elaboración propia.

• **ANÁLISIS DE CUÑA**

Se realizó una simulación en el software Swedge para el análisis de cuñas (Figura 14), donde el factor de seguridad calculado es de 2.1.

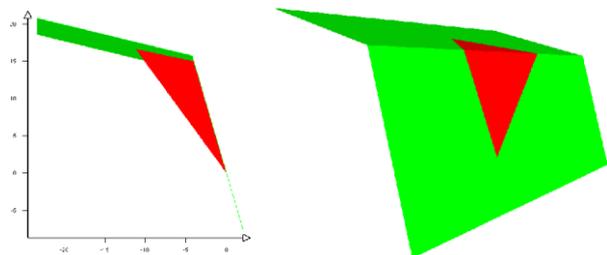


Figura 14 Análisis de cuñas - Swedge

Fuente: Elaboración propia.

Se dio por prioridad analizar a la falla de tipo cuña ya que el porcentaje de probabilidad es alto a comparación de las demás fallas. Para la falla planar en la zona existe un porcentaje de

1.47%, para falla por vuelco en la zona existe un porcentaje de 0.74%. Con un RMR promedio de 61 de clase II con un macizo rocoso bueno y GSI con 56. Es decir que para el diseño preliminar de talud en roca en el tramo III se debe analizar por falla de tipo cuña en cada progresiva del tramo la zona ya que es una zona accidentada constituida por Pizarras, Esquistos Arenos arcillosos y Lutitas negras con Cuarcitas las que pertenecen al Grupo San José, Formación Sandía, Formación Ananea y cubiertos por suelo cuaternario.

3. CONCLUSIÓN

- Se concluye que el diseño preliminar para taludes de roca con el análisis de cuña nos da un factor de seguridad de 2.1 para el talud a 75°.
- Como el mecanismo de falla es de tipo cuña se optó por aplicar el análisis de cuña con el software swedge.

4. AGRADECIMIENTOS

El principal agradecimiento que expresamos es a Dios, quien nos ha cuidado, guiado y mantenido firmes en esta ardua labor universitaria que hoy culmina con la elaboración del presente artículo de investigación.

A mis padres de quienes recibí no solamente un apoyo económico sino también un apoyo moral y ético, un ejemplo de responsabilidad y

compromiso, necesario para poder llegar hasta este punto de nuestras vidas. Gracias a ustedes por la confianza que depositaron en mí para poder alcanzar una meta más en mi vida.

5. LITERATURA CITADA

- Bonilla-Huere, R. M. (2018). *Estudio geológico y geotécnico en el mejoramiento de la carretera DV. Alcas, Acobama, Huayruro - Region Huanuco* (Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- CE-020. (2016). *Estabilización de suelos y taludes*. Retrieved from http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Normalizacion/normas/NORMACE020.pdf
- Díaz Rodas, M. A., & Rodríguez Salazar, J. G. (2018). *Estudio de la estabilidad de taludes en roca entre los kilómetros 95 al 97 de la carretera Ciudad de Dios - Cajamarca* (Universidad Privada del Norte). Retrieved from <http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/12738>
- Duncan-C, Wyllie & Mah-W, C. (2004). Rock slope engineering. *Civil y Minería, 4th*, 456. <https://doi.org/10.1201/9781315274980>
- Escobar-Potes, C. E. & D.-E. G. (2017). *Geotecnia para el trópico andino* (Universidad Nacional de Colombia). Retrieved from

<http://www.bdigital.unal.edu.co/53560/>

- Guerra-Guevara, C. I., & Pinzón-Hernández, J. J. (2015). *Modelación numérica multiescala de Bimrocks para el análisis de estabilidad de taludes*. Pontificia Universidad Javeriana, Colombia.
- Navarro, S. (2008). *Estabilidad De Taludes Introducción*. 54. Retrieved from <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/09/estabilidad-de-taludes.pdf>
- Secretaría de Estado de Obras Públicas y Comunicaciones. (2013). *Criterios básicos para estudios geotécnicos de carreteras* (Republica Dominicana). Retrieved from www.mopc.gob.do/media/1946/r-011.pdf
- Suárez-Díaz, J. (2009). *Deslizamientos: Análisis geotecnico*. 127–172.
- Vilca-Arredondo, A. C. (2019). *Estudio geotecnico para la estabilidad del talud del deposito de desmonte Santa Rosa del proyecto Santa Rosa- Arequipa*. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.