



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y
METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



**EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LAS
PROGRESIVAS DEL Km. 18+060 AL Km. 18+180 EN ROCA FIJA
DEL DISTRITO DE YANAHUAYA PROVINCIA SANDIA - PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. GUMERCINDA MAMANI CONDORI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PUNO – PERÚ

2020



DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios poderoso, a mis padres adorables, Julián Mamani Mamani y Lidia Condori Saavedra y a toda mi familia y mis hermanas, compañeros, amigos (as) que me dieron la mayor motivación en mi formación profesional.

GUMERCINDA MAMANI CONDORI



AGRADECIMIENTOS

- En primer lugar, agradezco a Dios por su infinita bondad, por su protección y por el perdón que siempre me da.
- A la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, Alma Mater que me ha acogido durante todos los años de mi formación académica profesional.
- A mis docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, es un privilegio tener docentes que nos han compartido sus conocimientos, consejos y experiencia para desenvolverme en la vida profesión y muchas gracias.
- A mis padres, Julián Mamani Mamani y Lidia Condori Saavedra, por darme todo el apoyo y por ser un ejemplo a seguir, los quiero mucho.
- A mis hermanas, Reyna Verónica, Shirle Mary y Nohemí Lourdes, gracias por motivarme y ser las mejores hermanas.

GUMERCINDA MAMANI CONDORI



ÍNDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN17

ABSTRACT.....18

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....20

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA21

1.2.1 Problema general.....21

1.2.2 Problemas específicos.....21

1.3 HIPÓTESIS21

1.4 OBJETIVOS22

1.4.1 Objetivo general22

1.4.2 Objetivos específicos22

1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN22



CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1	CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE ESTABILIDAD DE TALUDES.....	24
2.2	ESTABILIDAD DE TALUDES	24
2.2.1	El problema de la estabilidad de taludes.....	24
2.2.2	Definición del talud	25
2.2.3	Estabilidad de taludes	25
2.2.4	Obtención del factor de seguridad.....	26
2.2.5	Modificaciones en la geometría del talud	27
2.2.6	Definición de estabilidad	27
2.2.7	Procedimiento de análisis de estabilidad	28
2.2.8	Deslizamientos	28
2.3	CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA.....	32
2.4	GEOLOGÍA REGIONAL.....	32
2.4.1	Grupo San José.....	33
2.5	GEOLOGÍA LOCAL.....	35
2.6	GEOMORFOLOGÍA.....	36
2.6.1	Geomorfología regional.....	36
2.6.2	Geomorfología local	37
2.7	CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL.....	38
2.7.1	Mapeo superficial de estructuras.....	38
2.7.2	Familia de discontinuidades y orientación de las estructuras	40
2.7.3	Proyección Estereográfica.....	43
2.7.4	Espaciamiento de las discontinuidades.....	47



2.7.5	Abertura de las caras de la discontinuidad.....	49
2.7.6	Persistencia o Continuidad de las discontinuidades.	50
2.7.7	Rugosidad de las discontinuidades.....	51
2.7.8	Relleno en las Discontinuidades.....	55
2.7.9	Meteorización de las discontinuidades	56
2.7.10	Agua en las discontinuidades	57
2.7.11	Resistencia de las paredes de las discontinuidades	58
2.7.12	Angulo de fricción básica	61
2.8	PARÁMETROS GEOMECÁNICOS PARA LA CASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO.....	61
2.8.1	Índice de designación de la cantidad de la roca (RQD).....	64
2.8.2	Clasificación geotécnica del macizo rocoso	66
2.8.3	Valoración geotécnico del macizo rocoso	72
2.8.4	Propiedades de las estructuras.....	73
2.8.5	Propiedades de la roca intacta	73
2.9	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES.....	74
2.10	MÉTODOS PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD	75
2.10.1	Métodos empíricos para la estabilidad de taludes.....	76
2.10.2	Método de proyecciones estereográficas o cinemático	78
2.10.3	Modos de equilibrio límite o analítico.....	82
2.11	CONDICIONES SISMICAS PARA ESTABILIDAD DE TALUD.....	89
2.12	DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	90
2.12.1	Macizo rocoso	90
2.12.2	Matriz Rocosa	90
2.12.3	Discontinuidad.....	90



2.12.4 Orientación.....	90
2.12.5 Meteorización.....	91
2.12.6 Alteración.....	91
2.12.7 Factor de seguridad.....	91

CAPÍTULO III

MÉTODOS Y MATERIALES

3.1 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	92
3.1.1 Tipo de investigación.....	92
3.2 MATERIALES Y EQUIPOS.....	92
3.3 SERVICIOS DURANTE LA INVESTIGACIÓN.....	96
3.4 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	97
3.4.1 Etapa I gabinete.....	97
3.4.2 Etapa II trabajos en campo.....	98
3.4.3 Etapa III trabajo en laboratorio.....	98
3.4.4 Etapa IV procesamiento de datos en gabinete II.....	99

CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1 PLANO DE UBICACIÓN Y LUGAR DE ESTUDIO.....	100
4.1.1 Extensión.....	101
4.1.2 Accesibilidad.....	101
4.1.3 Aspecto climático.....	101
4.1.4 Temperatura.....	101
4.1.5 Precipitación.....	102



CAPÍTULO V

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1	EVALUACIÓN Y CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO.....	103
5.1.1	Evaluación geomecánica del macizo rocoso.....	104
5.2	CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO.....	115
5.2.1	Clasificación RMR (Bieniawshi)	115
5.3	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD	118
5.3.1	Método empírico	119
5.3.2	Método estereográfico o cinemático.....	119
5.3.3	Método equilibrio limite o analítico	125
5.3.4	Método de análisis de estabilidad con software, Rockplane.....	125
5.4	UTILIDADES DE LOS RESULTADOS	126
VI. CONCLUSIONES.....		129
VII. ECOMENDACIONES		130
VIII. EFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		131
ANEXOS.....		135

Área : Geología Regional

Tema : Geomorfología, Características sedimentarias

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 26 de diciembre de 2018.



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Representación esquemática de las propiedades geométricas de las discontinuidades (Hudson & Harrison, 2000).....	40
Figura 2. Orientación de las discontinuidades (Wyllie y Mah, 2004).....	42
Figura 3. Orientación de la Discontinuidades, vista en planta del plano (Wyllie y Mah, 2004)	42
Figura 4. Proyección Polar y Ecuatorial en una Esfera (Wyllie & Mah, 2004).....	44
Figura 5. Representación Estereográfica Polar de Igual Ángulo (Priest. 1985) En (Kliche, 1999).....	45
Figura 6. Representación estereográfica ecuatorial de igual ángulo (Priest. 1985) en (Kliche, 1999)	45
Figura 7. Roseta que se muestra la distribución de rumbos de estructuras internas .	46
Figura 8. Medidas de espaciado en una cara expuesta del afloramiento (ISRM. 1981) en (González, 2002)	48
Figura 9. Diagrama de aberturas de las estructuras	49
Figura 10. Esquema que ilustra las condiciones de término que pueden presentar las estructuras de un macizo rocoso (Flores & Kerzulovie, 2003) en (Ramírez & Alejano, 2007).....	51
Figura 11. Caracterización de la rugosidad de las estructuras según las recomendaciones de la ISRM (Barton, 2013)	52
Figura 12. Perfiles de rugosidad y valores asociados del coeficiente JRC.	53
Figura 13. Ábaco para evaluar el coeficiente JRC en función del largo del perfil de la estructura y la amplitud máxima de las asperezas.....	54



Figura 14.	Abaco para la obtención de la resistencia a compresión simple de una roca de una discontinuidad a partir de medidas con el martillo Schmidt ..60
Figura 15.	El flujo de agua en fracturas en condiciones uniformes en macizo rocoso (Read y Stacey, 2009).....64
Figura 16.	Caracterización del macizo rocoso para estimar su resistencia.....71
Figura 17.	Índice de resistencia geológica de resistencia GSI. (geological strength index)71
Figura 18.	Diagrama identificación de roca intacta y la de un macizo rocoso muy fracturado, criterio de (Hoek, 2000)73
Figura 19.	Ángulo de talud versus altura de talud, distinguiendo entre fallas y no fallas (Read y Stacey, 2009).....77
Figura 20.	El éxito y el fracaso de la roca talud designada por resistencia de la roca (SJÖBERG, 1996).....78
Figura 21.	Rotura planar (modificado de Hoek & Bray. 1981) considerado en (González, 2002).....80
Figura 22.	Roturas en cuña debido a la intersección de dos discontinuidades (Hoek & Bray. 1981), considerado en (González, 2002).....81
Figura 23.	Rotura por Vuelco (Hoek & Bray. 1981), considerado en (González, 2002).....81
Figura 24.	Rotura Circular (Hoek & Bray, 1981)82
Figura 25.	Geometría de una análisis estático de una falla plana con grieta tracción .83
Figura 26.	Geometría de un análisis estático de solo fricción de una falla en cuña....86
Figura 27.	Deslizamiento e inestabilidad de bloques por vuelco en un plano inclinado (Hoek & Bray, 1991)88
Figura 28.	Condiciones de equilibrio límite para vuelco y deslizamiento.....88



Figura 29. Distribución de ordenadas espectrales para el Perú (Boloños & Monroy, 2004).....	89
Figura 30. Plano de ubicación.....	100
Figura 31. Descripción de factor de seguridad mediante RockPlane	115
Figura 32. Análisis cinemático por modo de falla planar de la progresiva 18+060 al 18+180. En Dips	122
Figura 33. Análisis Cinemático de tipo de falla por Cuña km 18+060 al 18+180. En Dips.....	123
Figura 34. Análisis Cinemático de tipo de falla por Vuelco km 18+060 al 18+180. En Dips.....	124
Figura 35. Análisis cinemático de tipo de falla por vuelco directo km 18+060 al 18+180. En Dips.....	125
Figura 36. Criterio para el diseño de excavación	127
Figura 37. Angulo de buzamiento corregido para el talud del estudio	128



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Columna estratigráfico Regional	35
Tabla 2. Numero de fracturas por metro lineal	43
Tabla 3. Descripción del espaciamiento de las discontinuidades	48
Tabla 4. Descripción de la abertura de las estructuras	50
Tabla 5. Descripción de la continuidad o persistencia	50
Tabla 6. Rugosidad de las discontinuidades ISRM (Barton, 2013)	52
Tabla 7. Descripción de JRC (Joint Ronghness Coefficient)	54
Tabla 8. Relleno de las discontinuidades.....	55
Tabla 9. Descripción de la granulometría del material de relleno	56
Tabla 10. Descripción del grado meteorización.....	57
Tabla 11. Descripción de filtraciones en discontinuidades	58
Tabla 12. Descripción resistencia de las paredes de la discontinuidad	59
Tabla 13. Estimación en campo de la resistencia de la roca mediante un martillo de geólogo	59
Tabla 14. Índice de calidad de roca (RQD)	66
Tabla 15. Calidad del macizos rocosos en relación al índice RMR.....	67
Tabla 16. Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989), Parámetros de Clasificación	69
Tabla 17. Valores referenciales para taludes en corte (relacion h.v)	75
Tabla 18. Factor de seguridad.....	91
Tabla 19. Delimitación del área de investigación	100
Tabla 20. Accesibilidad al área de estudio	101



Tabla 21.	Descripción de buzamiento y Dir/Buzamiento, obtenido de estereograma.....	105
Tabla 22.	Resultados de la compresión simple.....	105
Tabla 23.	Resultado del ensayo compresión triaxial.....	106
Tabla 24.	Descripción de la resistencia de la roca sana	106
Tabla 25.	Descripción de calidad de roca.....	107
Tabla 26.	Descripción del espaciamiento de las discontinuidades	108
Tabla 27.	Descripción de la apertura de las discontinuidades	109
Tabla 28.	Descripción de la continuidad o persistencia	110
Tabla 29.	Descripción de JRC (Joint Roughness Coefficient)	110
Tabla 30.	Descripción de rugosidad.....	111
Tabla 31.	Descripción de relleno	112
Tabla 32.	Descripción de grado de meteorización del macizo rocoso	112
Tabla 33.	Descripción agua en discontinuidad	113
Tabla 34.	Condición estática de factor seguridad	114
Tabla 35.	Descripción de índice de calidad de roca.....	116
Tabla 36.	Clasificación de macizo rocoso	116
Tabla 37.	Parámetro de clasificación RMR.....	117
Tabla 38.	Clasificación de GSI	118
Tabla 39.	Descripción de fallas estructurales de estereogramas (total) de software Dips v.6.0.	120
Tabla 40.	Dimensiones recomendados para la construcción de banquetas	128
Tabla 41.	Manejo, disposición y preservación de capa vegetal y suelo.....	128



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

N	: Norte.
S	: Sur.
E	: este.
W	: Oeste.
ASTM	: American Section of the international Association for testing materials
ISRM	: International Society for Rock Mechanics.
RQD	: Rock Quality Designation
RMR	: Rock Mass Rating
MPa	: Mega Pascal.
KN/m³	: Kilo Newton sobre Metro Cubico
g/cm³	: Gramos sobre Centímetro cubico
mi	: Constante de material (criterio de Hoek – Brown)
W	: Nivel Freatico
Ø	: Angulo de Fricción Interna
Tn/m³	: Tonelada sobre Metro cubico
F.S.	: Factor de Seguridad
Dip	: Buzamiento
Dip Direction	: Dirección de Buzamiento



°	: Grado
+	: Suma
Km	: Kilo metro
m.	: Metro
<	: Menor
>	: Mayor
=	: Iguales
mm.	: Milímetro
B	: Orientación de las discontinuidades
J_v	: Número de juntas por metro cubico
J_n	: Numero de familia, sistema de discontinuidad
J_r	: Factor de rugosidad de las discontinuidades
J_a	: Factor de alteración de las discontinuidades
J_w	: Factor de reducción de las condiciones hidrológicos de la discontinuidad
SRF	: Factor de reducción
GSI	: Geological Strength Index
UCS	: Uniaxial Compressive Strength
JRC	: Joint Roughness Coefficient
JCS	: Joint Well Compressive Strength



%	: Por ciento
&	: Ampersad
T.S.	: Tratamiento superficial
J1	: Junta o familia 1
J2	: Junta o familia 2
J3	: Junta 0 familia 3
DG	: Diseño Geométrico
MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones
Qh – al	: Deposito Aluvial
Os – s	: Formación Sandia
Oi – p	: Formación Purumpata
Oi – i	: Formacion Iparo



RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la Carretera Sina - Yanahuaya, que se ubica en el departamento de Puno, provincia de Sandía, Distrito Yanahuaya, a una altitud de 1980 msnm. La aplicación de la ingeniería de rocas en la solución de problemas de estabilidad de taludes nos presenta distintos métodos, los cuales se han venido desarrollando y aplicando en estructuras mineras y civiles. El presente estudio consistió en la aplicación práctica de los métodos más conocidos para la evaluación de estabilidad de taludes en rocas y también determinara la caracterización del macizo rocoso, el cual se desarrolló en las progresivas Km. 18+060 al 18+180, ubicado en el Distrito de Yanahuaya. Consistente en lo siguiente; revisión, recopilación y elaboración de informes preliminares, caracterización geológica (identificación de la litología), caracterización estructural (mapeo superficial de estructuras expuestas, espaciamiento, continuidad o persistencia, apertura, rugosidad, relleno, meteorización, agua en las discontinuidades y ángulo de fricción básica), caracterización geotécnica (clasificación geotécnica del macizo rocoso, valoración geotécnica del macizo rocoso y finalmente el análisis de estabilidad de taludes en roca fija por siguientes métodos; empírico, estereográfico o cinemático, analítico o equilibrio límite y numérico. Obteniéndose parámetros típicos para cada una de las familias de discontinuidades y zona de mapeo las cuales fueron presentadas en cuadros de resumen y gráficos estadísticos. La valoración geotécnica por $RQD = 73.42$; $RMR = 45$, $GSI = 44$; $UCS = 38.24$; indican que el macizo rocoso es de tipo o clase III de calidad regular, con factor de seguridad $F.S. = 1.0$ significa talud inseguro o inestable.

Palabras clave: Estabilidad de taludes, caracterización geotécnica en roca fija.



ABSTRACT

This research work was carried out on the Sina - Yanahuaya Highway, which is located in the department of Puno, Sandía province, Yanahuaya District, at an altitude of 1980 masl. The application of rock engineering in solving slope stability problems presents us with different methods, which have been developed and applied in mining and civil structures. The present study consisted in the practical application of the best known methods for evaluating the stability of slopes in rocks and also determined the characterization of the rock mass, which was developed in the progressive Km. 18 + 060 to 18 + 180, located in the Yanahuaya District. Consisting of the following; review, compilation and preparation of preliminary reports, geological characterization (identification of lithology), structural characterization (surface mapping of exposed structures, spacing, continuity or persistence, opening, roughness, filling, weathering, water in discontinuities and basic friction angle), geotechnical characterization (geotechnical classification of the rock mass, geotechnical assessment of the rock mass and finally the stability analysis of slopes in fixed rock by the following methods: empirical, stereographic or kinematic, analytical or limit and numerical balance. Obtaining typical parameters for each one of the families of discontinuities and mapping area which were presented in summary tables and statistical graphs. Geotechnical assessment by $RQD = 73.42$; $RMR = 45$, $GSI = 44$; $UCS = 38.24$; indicate that the rock mass is of type or class III of regular quality, with safety factor $F.S. = 1.0$ means unsafe or unstable slope.

Keywords: Slope stability, geotechnical characterization in fixed rock.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La evaluación de estabilidad del talud es una de las principales etapas dentro del presente investigación, el cual se encuentra ubicado en el sector denominado cueva de oso, comunidad Purumpata, Distrito Yanahuaya, Provincia Sandia y Departamento de Puno. La zona de estudio presenta geomorfología muy accidentada.

Para el estudio de rocas se realizó el reconocimiento de campo, luego el muestreo de la roca intacta para su respectivo análisis en laboratorio, del Km. 18+060 y 18+180 que queda en las cercanías del Campamento del Gobierno Regional Puno, en la comunidad de Purumpata del Distrito de Yanahuaya.

Las formas topográficas y geomórficas son abruptas y accidentadas en toda su dimensión, influenciados por los medios geográficos y climáticos en la zona del proyecto.

Estratigráficamente las formaciones geológicas de la zona de estudio, pertenecen al Paleozoico Inferior al Cuaternario, en Paleozoico Inferior Ordovícico Inferior, están representados por las rocas del Grupo San José, cuyo afloramiento se encuentra en el Puente San José, por la Correlación Geológica del Perú (Bellido 1979 e INGEMMET, 1996); estas formaciones están conformadas por las rocas: lutitas, pizarras, filitas y cuarcitas.

En la ingeniería actual existe la tendencia de proyectar taludes cada vez más altos, en las canteras de roca y suelo, siendo más frecuente el uso de técnicas que permitan determinar el factor de seguridad del talud en función de la evaluación geomecánica.



Los métodos estereográficos o cinemático, de equilibrio límite y software, rockplane son ampliamente utilizados en los análisis de estabilidad del talud en macizos rocosos de la carretera Sina - Yanahuaya.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los trabajos de ingeniería, tienen una serie de dificultades en el proceso constructivo de la carretera Sina – Yanahuaya, año tras año se viene presentando problemas de inestabilidad de taludes en los frentes de corte, especialmente en épocas de lluvia (diciembre, enero, febrero, marzo y abril), también por la altura de taludes que no son adecuados o por no contar con un ángulo de talud adecuado; los afloramientos de roca en su totalidad, están cubiertas por una vegetación densa y por depósitos coluviales de muy baja consistencia. Además, las condiciones climatológicas no son adecuadas para el normal desarrollo de las actividades programadas, en la construcción de la carretera.

En la estabilidad de talud es importante tener en cuenta en los tipos o clases de rocas y su correcta clasificación.

La inestabilidad de talud provoca deslizamiento (traslación) sobre los frentes de trabajo, sin embargo, los problemas generales se presentan por roturas globales.

La calidad del macizo rocoso, en los cortes de taludes ejecutadas, entre las progresivas Km. 18+060 – 18+180, presenta inestabilidad de los bloques o cuñas de caída libre, es el más esperado; porque el comportamiento geomecánica del macizo rocoso está sujeto a las condiciones geológicas locales de desplazamiento, fracturamiento; en las que los sistemas de discontinuidades dominantes, están sumamente intemperizados en las cumbres de los cerros y con relleno de arcillas y limo entre los espacios entre juntas.



En el área del proyecto (cueva de oso); se ha identificado diferentes tipos de inestabilidad; en especial los deslizamientos de suelos y rocas; de tipo remoción en masas puntuales y colectivos. Estas superficies de deslizamiento en esta área son visibles; por que ocurren en el corte del talud; en algunos tramos se observan deslizamientos por mal uso de voladura de rocas; que debilitan la estabilidad del talud natural del terreno, afectado por la deformación de la tectónica Andina. Recientemente el uso de los programas informáticos ha ayudado a mejorar los diseños de los taludes, dando un mejor factor de seguridad para el diseño de taludes.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema general

¿Cuál es la estabilidad de taludes del macizo rocoso, de la carretera Sina - Yanahuaya progresiva Km. 18+060 al 18+180?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es la clasificación geomecánica en las cortes de taludes durante el proceso constructivo de la Carretera Sina - Yanahuaya progresiva Km. 18+160 al 18+180?
- ¿Cuál es la calidad del macizo rocoso, en los taludes de la carretera Sina – Yanahuaya progresiva Km. 18+160 al 18+180?
- ¿Cuál es el factor de seguridad de las taludes, en la carretera Sina – Yanahuaya progresiva Km. 18+160 al 18+180?

1.3 HIPÓTESIS

Los taludes del macizo rocoso, de la carretera Sina Yanahuaya progresiva Km. 18+060 al 18+180 no son estables.



1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Determinar la estabilidad de taludes del macizo rocoso, de la carretera Sina Yanahuaya progresiva Km. 18+060 al 18+180

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar la clasificación geomecánica en los cortes de taludes durante el proceso constructivo de la Carretera Sina - Yanahuaya progresiva Km. 18+160 al 18+180?
- Identificar la calidad del macizo rocoso, en los taludes de la carretera Sina – Yanahuaya progresiva Km. 18+160 al 18+180?
- Determinar el factor de seguridad de los taludes, en la carretera Sina – Yanahuaya progresiva Km. 18+160 al 18+180?

1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La carretera de penetración a la selva, tiene la finalidad de unir los Distritos de Sina, Yanahuaya, San Juan del Oro, Putina Punco; entre otros aspectos, el intercambio comercial, la explotación de los recursos naturales de manera sostenible, el desarrollo cultural para conocer la biodiversidad en esta parte de la Región de Puno.

La calidad del macizo rocoso evaluado en el tramo durante el proceso constructivo; determinará la zonificación del tipo de roca y la prevención de las medidas de sostenimiento, que serán necesarios instalarlos, durante su vida útil de esta vía de acceso y penetración al valle Tambopata. La clasificación geomecánica de roca pizarra de la Formación Iparo, Purumpata y Sandía, sirven como base, para diseñar el tipo de



corte de talud y el uso de maquinaria pesado, para el movimiento de escombros y voladura de rocas correspondientes en los diferentes frentes de avance de la obra.



CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE ESTABILIDAD DE TALUDES

Casi todas las fallas en taludes en roca se producen a lo largo de fallas pre-existentes, predeterminadas, como discontinuidades o planos de debilidad, tales como una falla o una zona de cizalla, por ejemplo. En los problemas de estabilidad de taludes en roca, la falla real o superficie de deslizamiento depende de la orientación espacial, la frecuencia y distribución de las discontinuidades, y la resistencia al corte a lo largo de las discontinuidades. Tras el corte, la formación rocosa geológica se desbloquea, lo que resulta en el deslizamiento (Hoek & Bray, 1991).

En la mayor parte de los casos, el estudio de la estabilidad de taludes no puede realizarse a nivel general, sino talud por talud, ya que las inestabilidades suelen ir asociadas a la presencia de discontinuidades concretas con orientaciones determinadas. Cuando el coeficiente de seguridad de un talud bien calculado sea inferior a 1, es probable que se produzca su falla o deslizamiento (Eberhardt, 2003).

2.2 ESTABILIDAD DE TALUDES

2.2.1 El problema de la estabilidad de taludes

El Problema de la inestabilidad de taludes puede ser abordado desde distintos aspectos. Cuando se habla de estabilidad, se trata de encontrar la altura crítica del talud o la carga de colapso aplicada sobre una porción del talud, para una geometría y características de rocas dados. Evaluar la estabilidad de un talud implica un estudio en el



cual se debe considerar el tipo de roca que se tienen y otros eventos: caracterizar la resistencia del suelo, establecer el perfil del talud así como las condiciones de filtración y agua, seleccionar una superficie de deslizamiento o falla y calcular su factor de seguridad, finalmente, a partir de este factor de seguridad (el cual se elige en base al destino del talud) se deberá determinar la superficie de falla crítica (Moller, 2011).

2.2.2 Definición del talud

Se entiende por talud a cualquier superficie inclinada respecto de la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las estructuras de roca y suelo. No hay duda que el talud constituye una estructura compleja de analizar debido a que en su estudio coinciden los problemas de mecánica de suelos y de mecánica de rocas, sin olvidar el papel básico que la geología aplicada desempeña en la formulación de cualquier criterio aceptable.

Cuando el talud se produce en forma natural, sin intervención humana, se denomina ladera natural o simplemente ladera. Cuando los taludes son hechos por el hombre se denominan cortes o taludes artificiales, según sea la génesis de su formación; en el corte, se realiza una excavación en una formación térrea natural (desmontes), en tanto que los taludes artificiales son los lados inclinados de los terraplenes (De Matteis, 2003).

2.2.3 Estabilidad de taludes

El principal problema que se plantea a la hora de proyectar cualquier tipo de expansión es asegurar la estabilidad de sus taludes, ya que las características resistentes de ese suelo de nada servirán si se producen continuos deslizamientos que pongan en peligro la funcionalidad de la carretera a la que sirven de soporte.

Parece claro que la estabilidad de un talud depende tanto de su geometría pendiente y altura como de las características Intrínsecas del propio suelo que conforma el ángulo de rozamiento interno y cohesión y que definen su resistencia a cizalla.

En este sentido, un suelo sin cohesión por ejemplo, una arena limpia y seca será estable siempre y cuando su ángulo de rozamiento Interno (q) sea superior al ángulo que forma el talud con la horizontal (P). En suelos cohesivos este valor aumenta, dado que a la fuerza de rozamiento interno que se opone al movimiento se suma la producida por la cohesión entre las partículas del suelo (Bañon, 2000).

2.2.4 Obtención del factor de seguridad

El estado tensional de la totalidad de la masa de suelo, a lo largo de la aplicación de la carga es obtenido mediante el análisis por elementos finitos donde las tensiones normales y de corte son computadas en relación a una superficie de falla seleccionada, utilizando un procedimiento para combinar un análisis de tensiones por elementos finitos en un talud con los conceptos del método de análisis por equilibrio límite, obteniendo un factor de seguridad general que expresa la estabilidad del talud basándose en las tensiones calculadas en la masa de suelo.

El factor de seguridad general se define en concordancia con el método de elementos finitos para estabilidad de taludes descrito por Kulhawy (1969) y se expresa como la relación entre la suma de la resistencia incremental de la fuerza cortante S_r , y la suma de la fuerza movilizadora al corte, S_m , a lo largo de la superficie de falla: (Beneyto *et al.*, 2011).

$$F_{fem} = \frac{\sum S_r}{\sum S_m}$$



2.2.5 Modificaciones en la geometría del talud

Esta es una de las actuaciones más económicas en la estabilización de taludes, cuando es posible, ya que, al fin y al cabo, una vez producido el movimiento, es muy frecuente tener que acudir con maquinaria de movimiento de tierras para retirar el terreno deslizado.

Suavización de pendiente. Es un principio básico y casi intuitivo que, en un terreno homogéneo con cohesión, el coeficiente de seguridad disminuye a medida que aumentan la pendiente o la altura del talud. Por lo tanto, cuando se desea aumentar el grado de seguridad, se intenta diseñar taludes menos altos y más suaves.

El efecto de la suavización de pendiente se complica en cierta medida cuando se trata de excavar un desmonte en una ladera de fuerte pendiente. En estas circunstancias el retaluzado, que tiende a aumentar el coeficiente de seguridad, implica directamente un aumento de la altura del talud, que a su vez tiende a reducirlo (Bañon, 2000).

2.2.6 Definición de estabilidad

Se entiende por estabilidad a la seguridad de una masa de tierra contra la ruptura del material o deslizamiento del material. Como primera medida es necesario definir criterios de estabilidad de taludes, entendiéndose por tales algo tan simple como el poder decir en un instante dado cuál será la inclinación apropiada en un corte o en un terraplén; casi siempre la más apropiada será la más escarpada que se sostenga el tiempo necesario sin caerse. Este es el centro del problema y la razón de estudio.

A diferentes inclinaciones del talud corresponden diferentes masas de material térreo por mover y por lo tanto diferentes costos. Podría imaginarse un caso en que por alguna razón el talud más conveniente fuese muy tendido y en tal caso no habría motivos



para pensar en “problemas de estabilidad de taludes”, pero lo normal es que cualquier talud funcione satisfactoriamente desde todos los puntos de vista excepto el económico, de manera que las consideraciones de costo presiden la selección del idóneo, que resultará ser aquél al que corresponda la mínima masa de tierra movida, o lo que es lo mismo el talud más empinado (De Matteis, 2003).

2.2.7 Procedimiento de análisis de estabilidad

El estudio de la estabilidad de un talud considera la determinación de un factor de seguridad al deslizamiento. Para esto es necesario conocer los parámetros tanto geométricos del talud, como geotécnicos del material que compone el talud. Una vez determinada la cinemática de falla del talud, el siguiente paso es realizar un análisis de estabilidad utilizando el método del equilibrio límite para comparar las fuerzas resistentes, con las fuerzas que actúan a favor del movimiento. Conocido el rango o diferencia entre estos dos grupos de fuerzas se podrá establecer el factor de seguridad para la estabilidad del talud (Sobarzo, 2011).

2.2.8 Deslizamientos

Se denomina deslizamiento a la rotura y al desplazamiento del suelo situado debajo de un talud, que origina un movimiento hacia abajo y hacia fuera de toda la masa que participa del mismo.

Los deslizamientos pueden producirse de distintas maneras, es decir en forma lenta o rápida, con o sin provocación aparente, etc. Generalmente se producen como consecuencia de excavaciones o socavaciones en el pie del talud. Sin embargo existen otros casos donde la falla se produce por desintegración gradual de la estructura del suelo, aumento de las presiones intersticiales debido a filtraciones de agua, etc. (Muelas, 2005).



Los tipos de fallas más comunes en taludes son:

- Deslizamientos superficiales (creep).
- Movimiento del cuerpo del talud.
- Flujos.

2.2.8.1 Deslizamientos superficiales (creep)

Cualquier talud está sujeto a fuerzas naturales que tienden a hacer que las partículas y porciones de suelo próximas a su frontera deslicen hacia abajo. Se refiere esta falla al proceso más o menos continuo, y por lo general lento, de deslizamiento ladera abajo que se presenta en la zona superficial de algunas laderas naturales.

Existe dos deslizamientos: el estacional, que afecta solo a la corteza superficial de la ladera que sufre la influencia de los cambios climáticos en forma de expansiones y contracciones termicas o por humedecimiento y secado, y el masivo, que afecta a capas de tierra más profundas, no interesadas por los efectos ambientales y que, en consecuencia, solo se puede atribuir el efecto gravitacional. El primero en mayor o menor grado siempre existe, variando su intensidad según la época del año; en cambio el segundo los movimientos son prácticamente constantes (De Matteis, 2003).

a. Criterios para el diseño de los taludes

La estabilidad de los taludes en la carretera tiene una gran importancia para la seguridad y efectividad económica de la misma por lo que debe ser considerada desde el inicio del proceso de diseño.

Los aspectos más importantes que afectan la seguridad en los frentes y operaciones son los siguientes: (Bañon, 2000).



- Caída o deslizamiento de rocas sueltas.
- Colapso parcial de un banco

b. Modelos de deslizamiento

El deslizamiento de un talud se produce por la rotura y posterior desplazamiento de una cuña de suelo a lo largo de un plano de debilidad, lo que ocasiona un desmoronamiento total o parcial de dicho talud. Las causas que producen este deslizamiento son muy diversas filtraciones de agua, vibraciones, socavaciones lo que hace difícil su encuadre analítico.

El Ingeniero sueco Pettersson, tras estudiar con detenimiento este problema, concluyo que el deslizamiento de un suelo se produce a lo largo de una superficie de curvatura variable, que posteriormente asimilo a un arco de circunferencia dada su mayor simplicidad de cálculo, En honor a la nacionalidad de su descubridor, estas superficies de rotura reciben el nombre de círculos suecos (Bañon, 2000).

2.2.8.2 Movimiento del cuerpo de talud

En contraste con los movimientos superficiales lentos, pueden ocurrir en los taludes movimientos bruscos que afectan a masas considerables de suelo, con superficies de falla que penetran profundamente en su cuerpo.

Estos fenómenos reciben comúnmente de deslizamiento de tierras. Dentro de estos existen dos tipos claramente diferenciados. En primer lugar, un caso en el cual se define una superficie de falla curva, a lo largo de la cual ocurre el movimiento del talud; estas son las fallas llamadas por rotación. En segundo lugar, se tienen las fallas que ocurren a lo largo de superficies débiles, asimilables a un plano en el cuerpo de talud o en su terreno de cimentación. Las fallas por rotación pueden presentarse pasando la superficie de falla



por el pie del talud, sin interesar el terreno de cimentación o pasando adelante del pie (Flores, 2003).

a. Tipo de falla por flujos

Se refiere este tipo de falla a movimientos más o menos rápidos de una parte de la ladera natural, de tal manera que el movimiento en sí y la distribución aparente de velocidades y desplazamientos recuerda el comportamiento de un líquido viscoso. La superficie de deslizamiento o no es distinguible o se desarrolla durante un lapso relativamente breve; es también frecuente que la zona de contacto entre la parte móvil y las masas fijas de la ladera sea una zona de flujo plástico.

Según Watson (2005) el material susceptible de fluir puede ser cualquier formación no consolidada, y así el fenómeno puede presentarse en fragmentos de roca, depósitos de talud, suelos granulares finos o arcillas francas; son frecuentes los flujos en lodo.

b. Tipo de falla por erosión

Estas también son fallas de tipo superficial provocadas por arrastres de viento, agua, etc., en los taludes. El fenómeno es tanto más notorio cuando más empinadas sean las laderas de los taludes. Una manifestación típica del fenómeno suele ser la aparición de irregularidades en el talud, originalmente uniforme. Desde el punto de vista teórico esta falla suele ser imposible de cuantificar detalladamente, pero la experiencia ha proporcionado normas que la atenúan grandemente si se las aplica con cuidado (Sobarzo, 2011).



2.3 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA

La caracterización geológica debe permitir no solo definir la geometría de superficie, en lo que dice relación con los contactos entre los diversos entre geológicos, sino también permitir una definición de los distintos tipos de unidades geotécnicas básicas que aparecen en el área de investigación (González, 2006).

La preparación de modelo es fundamental para el proceso de diseño del talud y requiere un entendimiento básico de los conceptos esenciales de la geología física.

Recomienda hacer una descripción geológica local ya que muchos estudios de ingeniería de rocas no consideran esta importante fase, y saltan de la fase de la descripción geológica regional hacia la fase de investigación de ingeniería, situación que hace perder valiosa información al nivel de escala necesaria, que será de gran utilidad para entender el estado de conservación del macizo rocoso y en especial la configuración de las discontinuidades (Herrera, 2007).

2.4 GEOLOGÍA REGIONAL

La zona de estudio está constituida principalmente por pizarras, cuarcitas y lutitas. Las edades de estas rocas están comprendidas entre el Ordovícico Inferior hasta el Holoceno, las rocas Ordovicianas conforman la base de la secuencia estratigráfica.

La secuencia estratigráfica más antigua es el Grupo San José, compuesto de pizarras, cubierta en aparente concordancia por metalutitas, seguida por una secuencia de estratos de cuarcitas interestratificadas con pizarras cuarzosas, sedimentos fliishoides que constituyen la Formación Sandía y lutitas pizarrosas de la Formación Ananea.

Los depósitos plio-pleistocénicos y recientes afloran en áreas restringidas formando terrazas antiguas y depósitos recientes. En su conjunto, estos sedimentos



forman el flanco Nororiental de la Cordillera Oriental el que a su vez está fuertemente disectado por la acción erosiva de los ríos de la zona y otros afluentes menores (De la Cruz, 1996).

2.4.1 Grupo San José

Definido en el valle de Sandia por Laubacher (1978) con el rango litoestratigráfico de formación en base a una litología monótona de pizarras sin cambio litológico en toda su secuencia, posteriormente fue elevada a la categoría de Grupo por (De La Cruz, 1996).

2.4.1.1 Formación iparo (Oi-i)

Está conformada por estratos sedimentarios finos, piritosos con esquistosidad cortante al plano de estratificación, que presenta fauna de graptolites, típica del periodo Cámbrico y Ordovícico. Se parte en lajas planas entre los 20 a 5 cm. de grosor en algunos tramos en los afloramientos entre el río Huaccapata. Las pizarras están acompañadas de lentes de cuarcitas en la base de cada capa. La roca tiene un color gris-oscuro, a veces azulado, siendo algunos sectores bien laminados por lo que en otras partes es conocido como lutitas bandeadas. El grosor aproximado de la Formación Iparo es de 2110 m. Cronoestratigráficamente se ubica entre las series Arenigiano inferior y el Llanvirniano inferior. El primero podría corresponder al piso Bendigoniano al Yapeniano (superior), mientras que el segundo al piso Darriginiano, donde las variaciones litológicas comienzan a variar, correlaciones que son propuestas por INGEMMET, actualmente.

Se hallaron fósiles marcadores entre los valles de Sandia y Tambopata como: *Expansograptus hirundo* (Salter) y *Expansograptus nitidus* (Hall), el nivel más inferior estaría marcado por niveles con *Didymograptus v-deflexus* (Harris) que estaría representando a las secuencias más antiguas en Perú, que representan la vida durante la formación de estos depósitos de metasedimentos en la Cordillera Oriental.



2.4.1.2 Formación purumpata (Oi-p)

Sobreyacente litoestratigráficamente en una concordancia erosional a la Formación Iparo se presenta una secuencia de pizarras grises con estratos uniformes de 5 a 10 cm. Aflora en el valle de Sandía, observándose excelentemente entre el distrito de Yanahuaya en la Comunidad de Purumpata; para esto existe una carretera bien conservada en dirección SO-NE, presentando las rocas una expansión de aprox. 4 km. Está constituida por pizarras gris claras, con niveles de areniscas en estructura "flaser". La presencia de pirita disminuye subiendo litoestratigráficamente. En general su textura es más arcillosa habiéndose incrementado significativamente, la abundancia de fauna graptolífera. El grosor aproximado de la Formación Purumpata es de 1809 m. Cronoestratigráficamente se ubica entre las series Llanvirniano inferior al Llandeiliano, abarcando el piso Darriviliano. Según Boletín A 82.

2.4.1.3 Formación sandia (Os-s)

Caracterizado por pizarras, sumamente fracturada, con planos de fallas y brechada, que sobreyascen a la Formación Iparo. Hacia la quebrada del río Purumpata; estas rocas se encuentran descompuestas, esporádicamente son cubiertas por depósitos coluviales y bloques de rocas; en la mayoría de los casos tienen una cobertura de vegetación de arbusto y pajonales. Según Según Cuadrangulo de Sandia y San Ignacio 29y.

2.4.1.4 Deposito aluviales (Ql-al)

Estos depósitos se observan en la Comunidad de Purumpata, han sido formado por los actuales cauces de los ríos y quebradas, se encuentran ubicados en los flancos de los valles y quebradas encontrándose también formando superficies subhorizontales.

Los depósitos aluviales están constituidos por gravas con bordes angulosos a subangulosos de compacidad moderada. Según Según Cuadrangulo de Sandia y San Ignacio 29y.

Tabla 1. Columna estratigráfico Regional

ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRAFICA		
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	DEPOSITO ALUVIAL	Qh - al	
PALEOZOICO	ORDOVICIANO	CARADOCIANO	FORMACION SANDIA	Os - s	
		LLANVIRNIANO	GRUPO SAN JOSE	FORMACION PURUMPATA	Oi - p
		ARENIGIANO	FORMACION IPARO	Oi - i	

Fuente: Ingemmet carta 29y.

2.5 GEOLOGÍA LOCAL

2.5.1.1 Formación iparo (Oi-i)

Está conformada por estratos sedimentarios finos, piritosos con esquistosidad cortante al plano de estratificación, que presenta fauna de graptolites, típica del periodo Cámbrico y Ordovícico. Se parte en lajas planas entre los 20 a 5 cm. de grosor en algunos tramos en los afloramientos entre el rio Huaccapata. Las pizarras están acompañadas de lentes de cuarcitas en la base de cada capa. La roca tiene un color gris-oscuro, a veces azulado, siendo algunos sectores bien laminados por lo que en otras partes es conocido como lutitas bandeadas.

2.5.1.2 Formación purumpata (Oi-p)

Formacion Purumpata aflora en todo tramo de estudio, presentando las rocas con foliación laminar con coloracion gris claras. En general su textura es más arcillosa habiéndose incrementado significativamente, la abundancia de fauna graptolífera. El grosor aproximado de la Formación Purumpata es de 1809 m. Cronoestratigráficamente



se ubica entre las series Llanvirniano inferior al Llandeiliano. Según Cuadrangulo de Sandia y San Ignacio 29y.

2.6 GEOMORFOLOGÍA

2.6.1 Geomorfología regional

2.6.1.1 Cordillera oriental

Las formas de relieve de superficie más característico corresponden a la unidad geomorfológica del tipo valle profundo, caracterizados por quebradas y cañones surcados por los ríos, Juccuchani, San Martín, Auquitolando, Purumpata. La unidad más resaltante es la Cordillera Oriental con sus nieves perpetuas de las últimas glaciaciones datada en la zona de acceso a las obras de apertura de la carretera, de superficies bien escarpadas; los mismos que son afectos por grietas y deslizamientos por meteorización física; con transporte de sólidos en suspensión y materiales detríticos causados por movimientos y agrietamiento del hielo; materiales detríticos que son depositados en los valles profundos del Comunidad Purumpata. Estos depósitos cuaternarios se acumulan como conos aluviales, escarpas y acantilados en los taludes de los valles profundos.

2.6.1.2 Valles profundos

Son profundos socavaciones por los ríos San Martín y Auquitolando, en rocas metamórficas de pizarras, depósitos cuaternarios; además estos valles profundos, son el resultado fallamientos causados por la deformación de la tectónica Andina en sus diferentes periodos. Entre los flancos de estos valles son muy empinados; por estas características geológicas, no presta mayor consistencia a los depósitos cuaternarios y coluviales que se encuentran depositados; más por el contrario se generan movimientos de masas por cambios de las condiciones climáticas severas.



2.6.1.3 Escarpas y acantilados

Estos depósitos cuaternarios se acumulan como conos aluviales, escarpas y acantilados en los taludes de los valles profundos; los cuales son cortadas por el movimiento constante de los ríos que influyen en la zona del desarrollo de las obras de apertura. Los afloramientos de rocas metamórficas de pizarras y esquistos son cortados y desplazadas por fallas regionales en la dirección noreste y noroeste que predominan en dominio andino.

2.6.2 Geomorfología local

2.6.2.1 Valles profundos

Son profundos socavaciones por los ríos San Martín y Auquivilando, en rocas metamórficas de pizarras, depósitos cuaternarios; además estos valles profundos, son el resultado fallamientos causados por la deformación de la tectónica Andina en sus diferentes periodos. Entre los flancos de estos valles son muy empinados; por estas características geológicas, no presta mayor consistencia a los depósitos cuaternarios y coluviales que se encuentran depositados; más por el contrario se generan movimientos de masas por cambios de las condiciones climáticas severas.

2.6.2.2 Montañas

Una montaña es una eminencia topográfica (elevación natural de terreno) superior a 700 m respecto a su base. Las montañas se agrupan, a excepción de los volcanes, en cordilleras o sierras. Todos los ríos mayores nacen en áreas montañosas y más de la mitad de la humanidad depende del agua de las montañas. Que puede filtrar aguas abajo y causar desprendimientos de rocas en la roca estudio.

2.7 CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL

El análisis estructural procura representar la orientación espacial de las diferentes estructuras geológicas, con el objetivo de entender los mecanismos de deformación en el área de investigación y también pudiéndose definir una distribución de tensiones. El objetivo principal de hacer un levantamiento geotécnico, con datos geológicos y estructurales, las estructuras presentes en el macizo rocoso y obtener la orientación de todas las estructuras geológicas como fallas, juntas diques, brechas, discontinuidades, grietas de tracción, entre otras para posteriormente, con la información se realicen análisis de cinemático para resolver problemas estructurales (Suárez, 2013).

2.7.1 Mapeo superficial de estructuras

Los métodos de mapeo estructural que examinarán sistemáticamente todas las características geológicas importantes son el mapeo “lineal” y “cuadrícula”. El mapeo lineal consiste en estar una cinta métrica a lo largo de la cara del talud y mapear toda que intersectan con la línea; las longitudes de línea son generalmente entre 50 y 100 m. si se estudian los extremos de la línea, entonces la ubicación de todas las discontinuidades se puede determinar. El mapeo de ventana comprende realizar un mapeo de todas las discontinuidades dentro de un segmento representativo o “cuadros” de 10 m. aproximadamente un tamaño fijo espaciados a intercalar a lo largo de la cara del talud. Las áreas que intervienen se examinan por similitud de estructura (Wyllie & Mah, 2004).

En los métodos sugeridos por la ISRM para la descripción cuantitativa de discontinuidades en macizo rocoso se reseñan 10 parámetros que se precisó describir para lograr este tipo de caracterización (González, 2002). Estos parámetros se ilustran en el esquema de la Figura 1. Y son los siguientes:



- a. Número de familias o sistema de estructuras que aparecen en el macizo rocoso.
- b. Orientación de cada familia (definida por valores característicos del buzamiento y de la dirección de buzamiento).
- c. Espaciamiento entre estructuras de una misma familia o set estructural (puede ser verdaderos si se mide en la dirección normal al plano de las estructuras, o aparente si se mide en otra dirección).
- d. Persistencia o extensión de las estructuras de cada familia de discontinuidad.
- e. Rugosidad de las estructuras de cada familia.
- f. Apertura (estructuras abiertas) o potencia (estructuras selladas) de las estructuras de cada familia.
- g. Tipos de rellenos presentes en las estructuras de cada familia.
- h. Resistencia de la roca para cada estructura (si bien el tipo de roca puede ser el mismo, distintos estructura puede presentar distintas características de alteración, afectando de diferente forma a la roca).
- i. Características de la percolación de agua observada en las estructuras de cada familia.
- j. Tamaño de los bloques que definen las estructuras en el macizo rocoso.



Figura 1. Representación esquemática de las propiedades geométricas de las discontinuidades (Hudson & Harrison, 2000)

Los datos recolectados de campo se realizó con la ayuda de fichas geomecánica especialmente diseñadas para la toma de los datos mencionados, La utilización de métodos de proyección estereográfica es la mejor forma de representar los datos geológicos estructurales (Hoek & Bray, 1991). Permitiendo un estudio estadístico de la distribución de los datos por métodos gráficos. Este estudio estadístico de distribución de las discontinuidades es efectuado con software, como Dips v.6.0 y Rocplane, que fue utilizado en esta investigación.

2.7.2 Familia de discontinuidades y orientación de las estructuras

Una familia de discontinuidades está constituida por aquellas que tienen orientaciones similares y el mismo origen. Por ello la familia se pueden determinar, representando los polos de las discontinuidades observadas en el macizo rocoso en una red de polar equilátera mediante la plantilla de Schmidt, que se tornearan utilizando una plantilla de conteo equilátera para obtener la distribución de polos que representara toda las discontinuidades medidas en el macizo rocoso y donde se tratara de identificar y



estimar las orientaciones medias de las familias de discontinuidades (Ramírez & Alejano, 2007).

La orientación de un plano de discontinuidad en el espacio queda definida por su dirección de buzamiento (dirección de la línea de máxima pendiente del plano de discontinuidad respecto al norte) y por su buzamiento (inclinación hacia debajo de dicha línea, respecto al plano horizontal). El instrumento que se emplea para la medida directa de la dirección de buzamiento y buzamiento con la Brújula. La notación que se usa para especificar estos dos valores es de escribir lo primero la dirección de buzamiento, representado por tres dígitos seguidos de un quebrado tendido hacia adelante que se representa (DBz/Bz), para luego especificar el buzamiento del plano, representado por dos dígitos (Suárez, 2013).

La orientación de las discontinuidades es el primer factor geológico que incluye en la estabilidad de taludes, la terminología recomendada para los datos de orientación de discontinuidades es el buzamiento y dirección de buzamiento Figura 2 (Wyllie y Mah, 2004).

La dirección de números de familias o sistemas de estructuras está relacionada directamente con la orientación de cada familia; lo cual se hace analizando la información estructural mediante proyecciones estereográficas, para representar cada estructura (plano) por un punto (polo) y luego, mediante técnicas, estadísticas analizadas las agrupaciones de polos y definir así las familias o sistemas principales y la familias o sistemas secundarios. En el campo de investigación se utilizan programas de computacionales para esta evaluación e interpretación de la información estructural (Arzúa & Alejano, 2016).

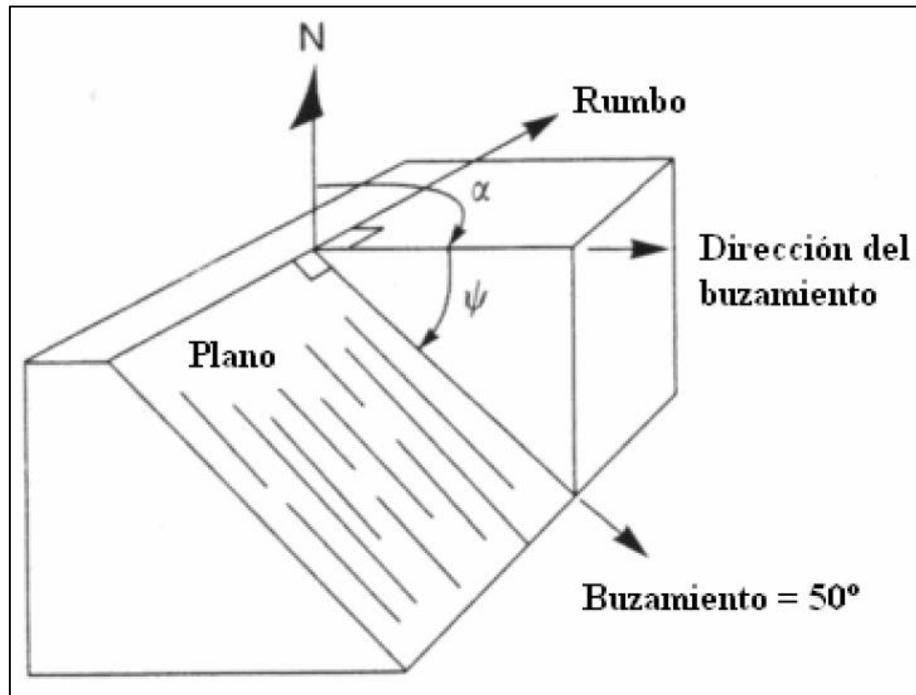


Figura 2. Orientación de las discontinuidades (Wyllie y Mah, 2004)

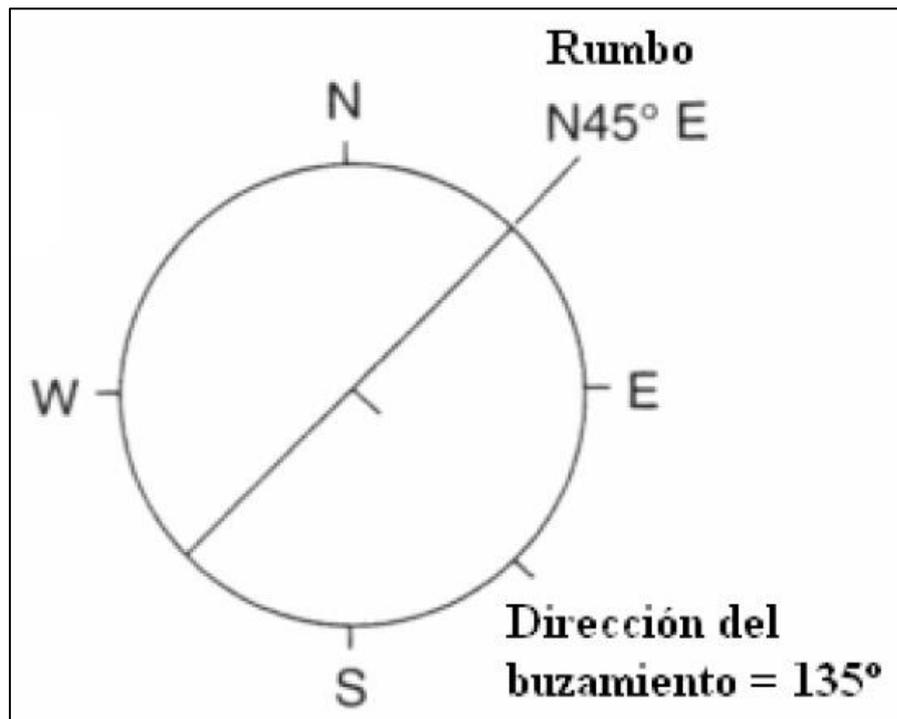


Figura 3. Orientación de la Discontinuidades, vista en planta del plano (Wyllie yMah, 2004)



Teniendo en cuenta las orientaciones de las discontinuidades y sus posiciones son relativas respecto al plano del talud se puede deducir cual es el modo de falla más probable en el talud.

Tabla 2. Numero de fracturas por metro lineal

ORDEN	SIMBOLO	NUMERO DE FRACTURAS / m.	GRADO DE FRACTURAMIENTO
1	F – 1	≤ 1	Poco fracturado
2	F – 2	1 – 5	Fracturado
3	F – 3	6 – 10	Muy fracturado
4	F – 4	11 – 20	Altamente fracturado
5	F – 5	≥ 20	Triturado

Fuente: En (Merino, 2001).

2.7.3 Proyección Estereográfica

Las proyecciones estereográficas hacen que los datos de orientación en tres dimensiones sean representados y evaluados en dos dimensiones. Una importante limitación de las proyecciones estereográficas es que ellas consideran relaciones angulares entre líneas y planos, y no representan la posición y el tamaño de las formas (Wyllie y Mah, 2004).

Los dos tipos proyección estereográfica usados en geológica estructural son las proyecciones polar y ecuatorial ver Figura 4. La proyección polar solo se utiliza para el ploteo de polo, mientras la proyección ecuatorial puede ser utilizada para el ploteo de planos mayores y polos (Wyllie & Mah, 2004).

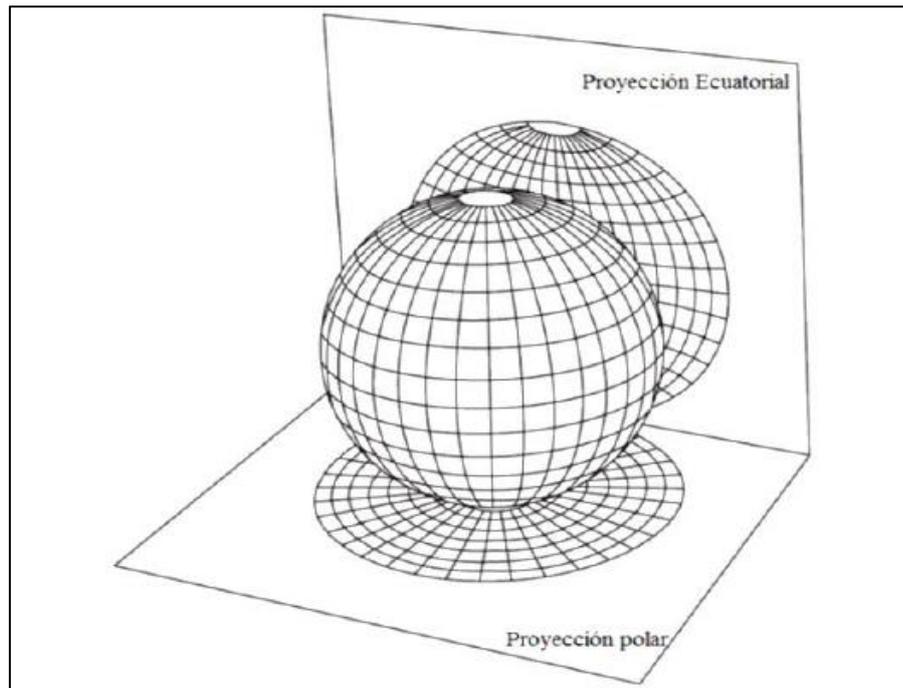


Figura 1. Proyección Polar y Ecuatorial en una Esfera (Wyllie & Mah, 2004)

En la práctica de la geología geotécnica se ha hecho común el uso de proyecciones estereográficas equiángulares con proyección en el hemisferio inferior, por lo que se recomienda este método. Para definir las densidades de polos se emplean comúnmente las distribuciones de Schmidt. Cuando la cantidad de datos es suficientemente grande ambas distribuciones producen contornos muy similares; sin embargo, cuando, la cantidad de datos es limitada la distribución de Schmidt produce contornos algo irregulares y pueden inducir a errores, ya que cada dato se considera totalmente preciso y cualquier error se ya que cada dato se considera totalmente preciso y cualquier error se acentúa.

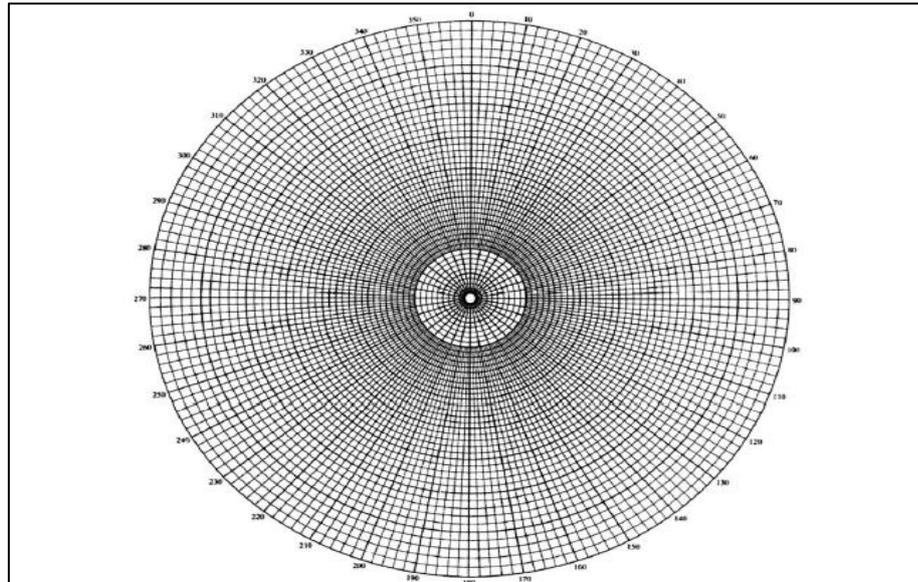


Figura 5. Representación Estereográfica Polar de Igual Ángulo (Priest. 1985) En (Kliche, 1999)

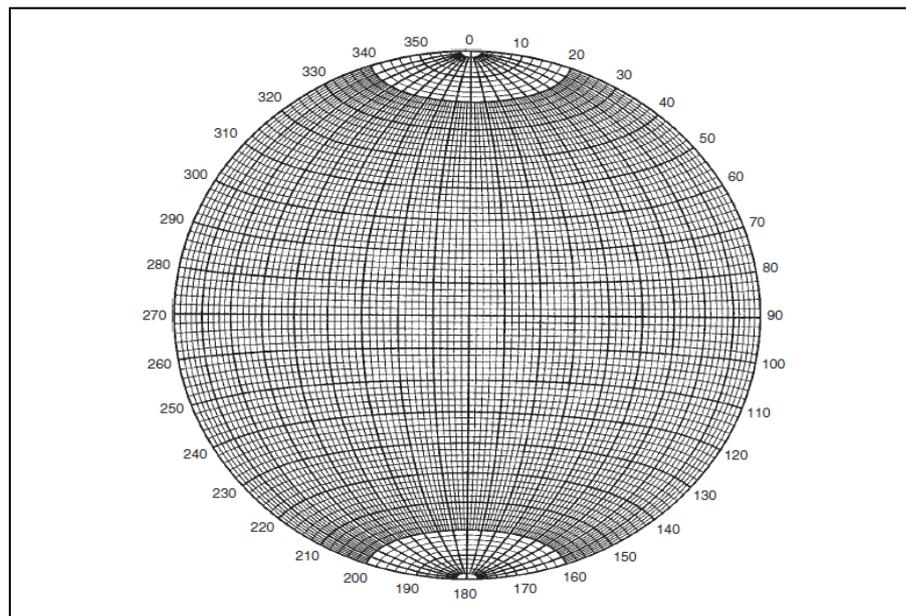


Figura 6. Representación estereográfica ecuatorial de igual ángulo (Priest. 1985) en (Kliche, 1999)

Cuando la superficie de mapeo es normal al plano de las estructuras de un determinado set o familia estructural, esta aparece con su frecuencia propia, λ . Esta condición no se cumple y la normal al plano de mapeo forma un ángulo ξ con el plano de

las estructuras, estas aparecen con una frecuencia aparente, λ_a , mayor que su frecuencia propia o verdadera.

$$\lambda_a = \lambda \sin \xi$$

Esto índice un sesgo, por lo que se recomienda considerar la corrección de Terzaghi al definir la familia de polos.

La definición de la cantidad de datos necesaria y suficiente para lograr una adecuada representación del patrón estructural requiere bastante experiencia y depende de cada caso en particular (Hoek & Bray, 1991).

Las proyecciones estereográficas pueden complementarse con rosetas como la que se muestra en el ejemplo de la Figura 7. La roseta convencional considera la proyección sobre un plano horizontal, por lo que se representa un histograma radial del rumbo de las estructuras.

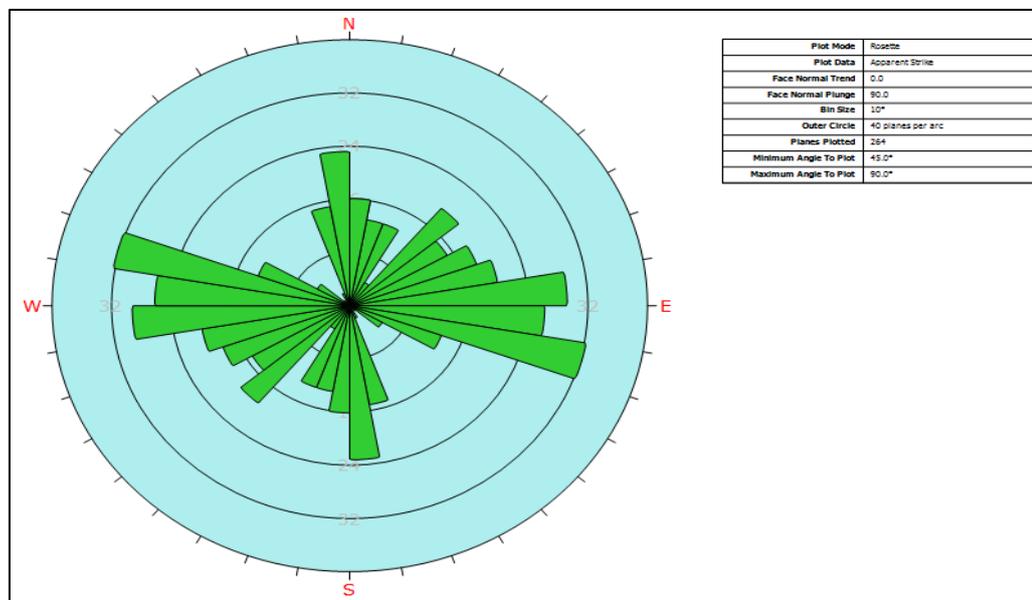


Figura 7. Roseta que se muestra la distribución de rumbos de estructuras internas

(Juntas, Discontinuidades y Vetilla) mapeadas en un dominio estructural de una mina (Rocsience Inc. 1999).



2.7.4 Espaciamiento de las discontinuidades

Es la distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes, Figura 8. Este determina el tamaño de los bloques de roca intacta. Cuanto menos espaciado tengan, los bloques serán más pequeños y cuanto más espaciado tengan, los bloques serán más grande.

El espaciado de las discontinuidades es el promedio entre los planos de debilidad en el macizo rocoso en la dirección perpendicular al plano de la discontinuidad (Bieniawski, 1989).

Para medir el espaciamiento se utiliza una cinta métrica de medida de 3 m. de longitud, con divisiones en milímetros, y la brújula. El procedimiento a seguir es el siguiente, para cada familia de discontinuidad (Suarez, 2013).

- Elegir una superficie de afloramiento o una pared excavada y medir la orientación de cada una de las superficies.
- Definir una línea de trabajo, donde se colocara en forma paralela la cinta métrica, de tal manera que las trazas de familia de discontinuidades a ser medidas sean lo más perpendiculares a ella.

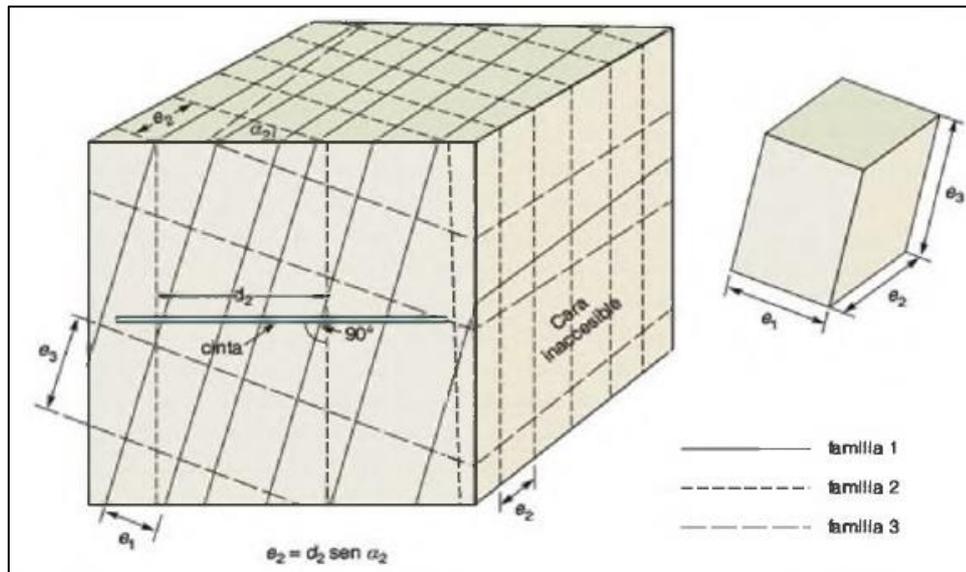


Figura 8. Medidas de espaciado en una cara expuesta del afloramiento (ISRM. 1981) en (González, 2002)

Se tomó la muestra una cara de un afloramiento en la que únicamente se pueden medir los espacios aparentes de tres familias de discontinuidades. Colocando la cinta métrica perpendicular a las trazas de los plenos de cada familia, de tal manera, para calcular la distancia d , que deberá ser corregida para el cálculo correspondiente el espaciado real.

$$e = d \cdot \text{sen} \alpha$$

Tabla 3. Descripción del espaciamiento de las discontinuidades

DESCRIPCION	ESPACIADO DE LAS JUNTAS	TIPO DE MACIZO ROCOSO	VALORACION
Muy separadas	> 2 m.	Solido	20
Separadas	0.6 - 2 m.	Masiva	15
Moderadamente juntas	200 - 600 mm.	En bloque	10
Juntas	60 - 200 mm.	Fracturado	8
Muy juntas	< 60 mm.	Machacado	5

Fuente: En (Bieniawski, 1979).

2.7.5 Abertura de las caras de la discontinuidad

En consideración de la abertura es la distancia perpendicular que separa las paredes adyacentes de la roca de una discontinuidad abierta, en la que el espacio que interviene tiene agua o aire. Por consiguiente, se distingue el término “abertura” de “espesor de relleno”. Figura 9 (Ramírez & Alejano, 2007).

En la mayoría de los macizos rocosos las aperturas que existen en profundidad son pequeñas, probablemente inferiores a medio milímetro, comparadas con las aperturas de decenas, centenas o incluso miles de milímetros de aquellas que han sido lavados por las lluvias (Rodríguez, 2002).

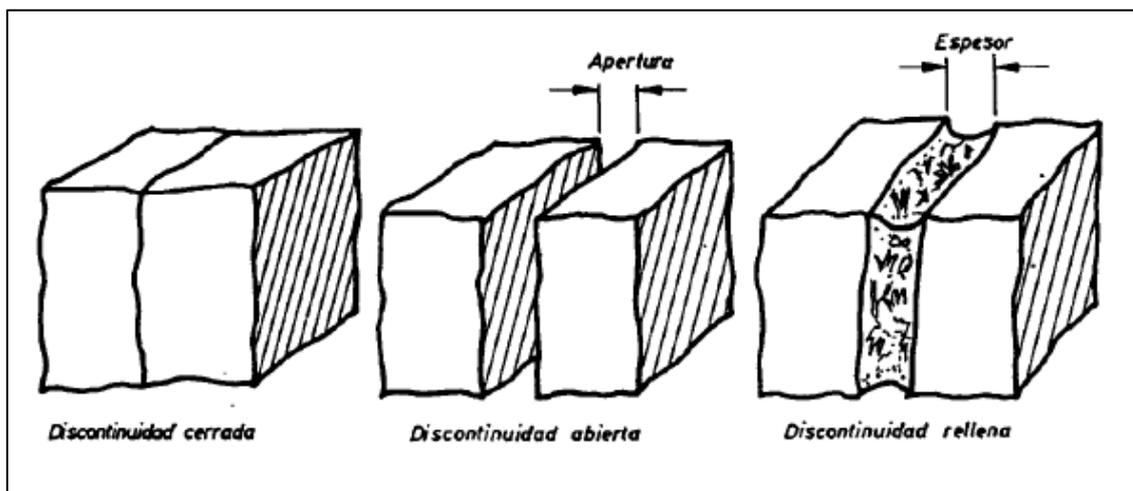


Figura 9. Diagrama de aberturas de las estructuras

Nota: Diagramas que muestran la definición de la abertura de las discontinuidades y el ancho de las discontinuidades rellenas. De izquierda a derecha discontinuidad cerrada, discontinuidad abierta y discontinuidad rellena, en (Ramírez & Alejano, 2007).

Tabla 4. Descripción de la abertura de las estructuras

GRADO	DESCRIPCION	SEPARACION DE LAS JUNTAS	VALORACION
1	Abierta	> 5mm	0
2	Moderadamente abierta	1 - 5 mm	1
3	Cerrada	0.1 - 1mm	4
4	Muy cerrada	< 0.1 mm	5
5	Ninguno	0	6

Fuente: Abertura para estructura en (Bieniawski, 1979).

2.7.6 Persistencia o Continuidad de las discontinuidades.

Las medidas de la continuidad se realizan con una cinta métrica. El afloramiento nos permite la observación de los planos de discontinuidad, se medirán las longitudes a lo largo de la dirección y del buzamiento.

La continuidad o persistencia de un plano de discontinuidad es su extensión superficial, medida por la longitud según la dirección del plano y según su buzamiento. Es un parámetro de gran importancia (González, 2006).

Tabla 5. Descripción de la continuidad o persistencia

GRADO	DESCRIPCION	CONTINUIDAD	VALORACION
1	Muy baja	< 1 m	6
2	Baja	1 - 3 m	4
3	Media	3 - 10 m	2
4	Alta	10 - 20 m	1
5	Muy alta	> 20 m	0

Fuente: En (ISRM, 1981).

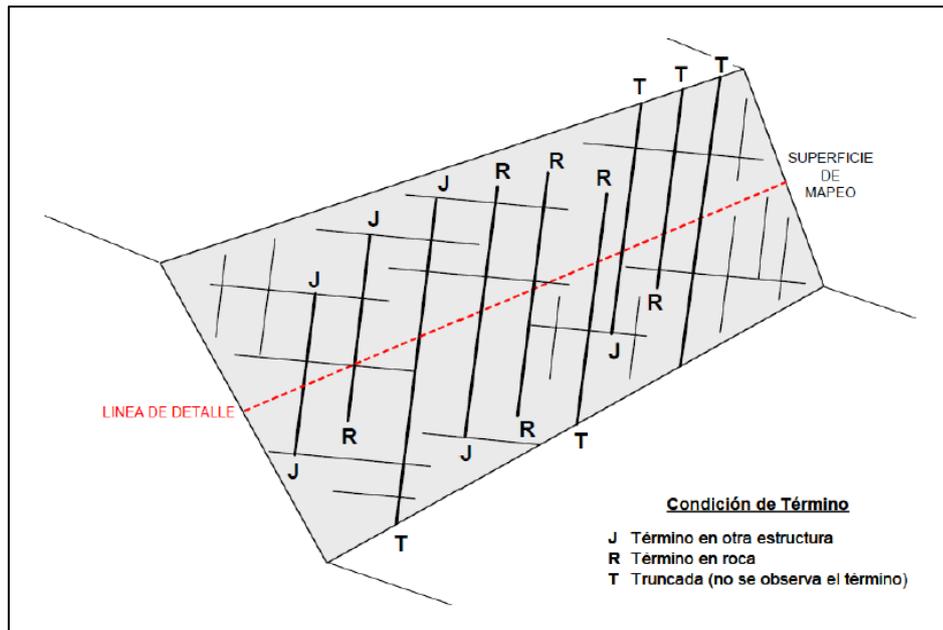


Figura 10. Esquema que ilustra las condiciones de término que pueden presentar las estructuras de un macizo rocoso (Flores & Kerzulovie, 2003) en (Ramírez & Alejano, 2007).

2.7.7 Rugosidad de las discontinuidades

La rugosidad y/o ondulaciones de la superficie de una roca están representada por series de espacios, similar a lo que se conoce como series de tiempo.

Las descripciones y medidas de la rugosidad tienen como principal finalidad de evaluación de la resistencia al corte del plano, el termino rugosidad se emplea en sentido amplio para hacer referencia tanto la ondulación de la superficies de discontinuidad, como a las irregularidades o rugosidades a pequeña escala de los planos (Barton, 2013).

La rugosidad ha sido medida en el campo con diversos métodos, dependiendo de la exactitud requerida, de la escala requerida o de la accesibilidad al afloramiento, incluyendo desde estimación cualitativa hasta medidas cuantitativas. El método utilizado es de comparación visual de las discontinuidades con los perfiles estándar de rugosidad.

Se toma la escala decimétrica y métrica para la ondulación de las superficies: superficie plana, ondulada o escalonada (González, 2006).

Tabla 6. Rugosidad de las discontinuidades ISRM (Barton, 2013)

GRADO	DESCRIPCION	VALORACION
1	Muy rugosa	6
2	Rugosa	5
3	Ligeramente rugosa	3
4	Lisa	1
5	Plano (espejo de falla)	0

Fuente: (Barton, 2013).

Clase	Escala		Perfil Típico de Rugosidad de la Estructura	JRC ₂₀	JRC ₁₀₀
	Intermedia	Menor			
I	Escalonada	Rugosa		20	11
II		Lisa		14	9
III		Pulida		11	8
IV	Ondulosa	Rugosa		14	9
V		Lisa		11	8
VI		Pulida		7	6
VII	Plana	Rugosa		2.5	2.3
VIII		Lisa		1.5	0.9
IX		Pulida		0.5	0.4

Figura 11. Caracterización de la rugosidad de las estructuras según las recomendaciones de la ISRM (Barton, 2013)

Fuente: (Barton, 2013).

La longitud de cada perfil puede estar en el rango de 1 a 10 m. Las escalas vertical y horizontal son iguales. JRC₂₀ y JRC₁₀₀ corresponde al valor estimado del coeficiente de rugosidad de la estructura cuando el perfil se “asimila” a un largo de 20 y de 100 cm, respectivamente (Barton, 2013).

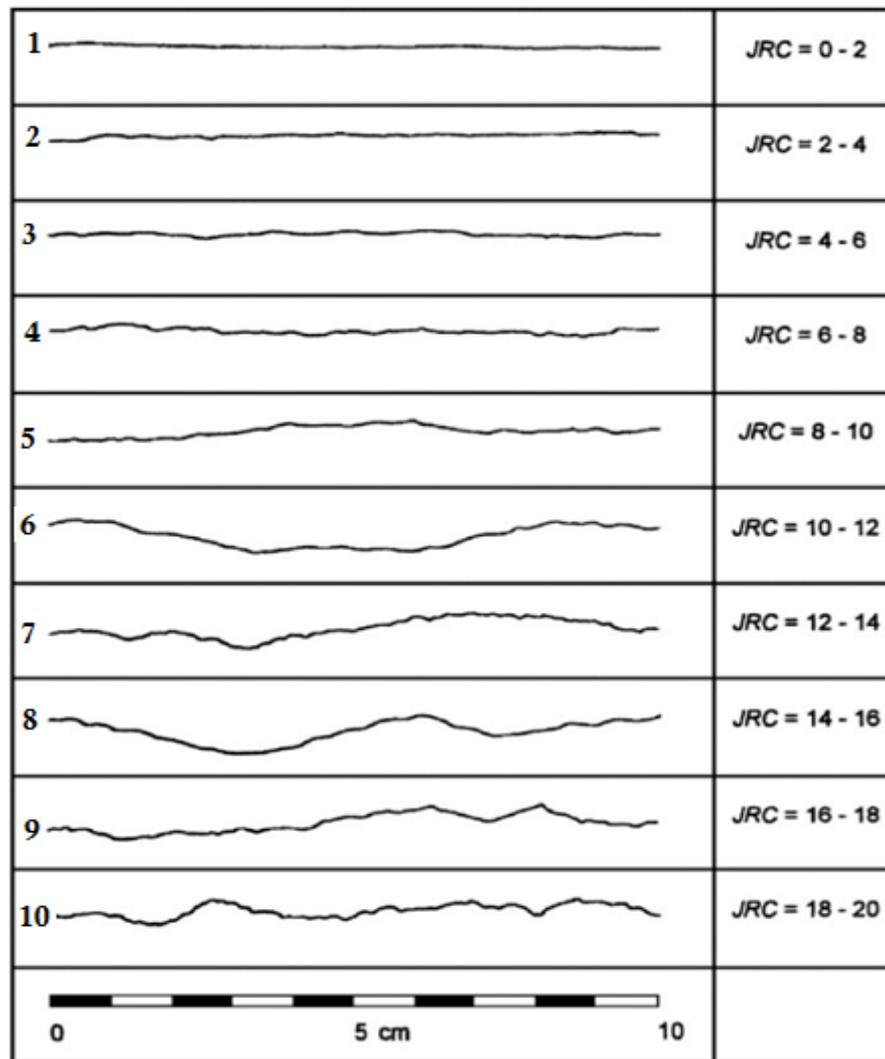


Figura 12. Perfiles de rugosidad y valores asociados del coeficiente JRC.

Fuente: (Barton, 2013).

Esto permite definir un total de 9 clases de estructuras: (I) Escalonadas rugosas. (II) Escalonadas lisa. (III) Escalonada pulidas. (IV) Ondulosas rugosas, (V) Ondulosas lisas, (VI) Ondulosas pulidas, (VII) Planas rugosas, (VIII) Planas lisas, y (IX) Planas pulidas.

Sin perjuicio de lo recién recomendado, es también relativamente frecuente el empleo del coeficiente de rugosidad de la estructura (Joint roughness coefficient), JRC, definido para caracterizar la rugosidad de las estructuras a escala centimétrica, utilizando los perfiles de rugosidad que se muestran en la Figura 12.

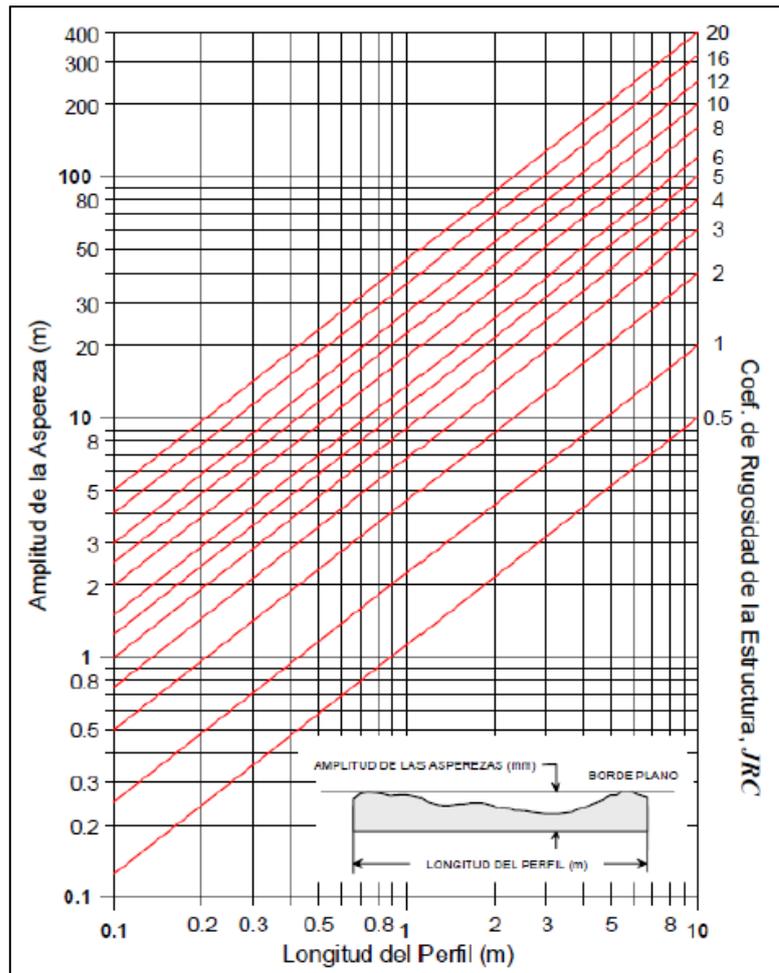


Figura 13. Ábaco para evaluar el coeficiente JRC en función del largo del perfil de la estructura y la amplitud máxima de las asperezas

Fuente: (Barton, 2013).

2.7.7.1 JRC (Joint Roughness Coefficient)

El coeficiente JRC depende de la rugosidad de las paredes de la discontinuidad, los diferentes valores de rugosidad fueron obtenidos.

Tabla 7. Descripción de JRC (Joint Roughness Coefficient)

GRADO	DESCRIPCION	VALORACION
1	Espejo de Falla	0 – 2
2	Ondulada	2 – 6
3	Ligeramente Rugosa	6 – 12
4	Rugosa	12 – 16
5	Muy Rugosa	16 - 20

Fuente: JRC (Joint Roughness Coefficient) en (Barton, 2013).

2.7.8 Relleno en las Discontinuidades

Se denomina relleno de una discontinuidad al material que ocupa el espacio, Normalmente el espesor de relleno es igual a la distancia perpendicular entre los labios. Es conveniente medir los espesores máximo y mínimo y estimar, a partir de ellos, el espesor medio. Si la diferencia entre los espesores máximo y mínimo es grande, puede ser debido a que la discontinuidad ha experimentado desplazamientos cortantes (Ramírez & Alejano, 2007).

Las discontinuidades pueden aparecer rellenos de un material de naturaleza distinta de la roca de las paredes. Existe gran variedad de materiales de relleno con propiedades físicas y mecánicas muy variables. La presencia de relleno gobierna el comportamiento de las discontinuidad, por lo que deben ser reconocidos y descrito todos los aspectos referente a sus propiedades y estado. Debe tenerse en cuenta que si se trata de materiales blandos o alterado, estos puede sufrir variaciones importantes en sus propiedades resistentes a corto plazo si cambia su contenido en humedad o si tiene lugar algún movimiento a lo largo de las juntas (González, 2002).

Tabla 8. Relleno de las discontinuidades

GRADO	DESCRIPCION	VALORACION
1	Blando > 5 mm	0
2	Blando < 5 mm	2
3	Duro > 5 mm	2
4	Duro < 5 mm	4
5	Ninguno	6

Fuente: ISRM (Barton, 2013).

Tabla 9. Descripción de la granulometría del material de relleno

TAMAÑO (MM)	DESCRIPCIÓN	MATERIAL GRANULOMETRÍA	
>600	Bloques		
200 a 600	Bolones		
60 a 200	Bolones pequeños		Muy gruesa
20 a 60	Gravas gruesas		
6 a 20	Gravas	Granular	
2 a 6	Gravas finas		Gruesa
0.6 a 2	Arenas gruesas		
0.2 a 0.6	Arenas		Media
0.06 a 0.2	Arenas finas		
< 0.06	Limos, arcillas	Fino	Fina

Fuente: (Rivera, 2011).

2.7.9 Meteorización de las discontinuidades

La meteorización es definida como la alteración físico-química de la roca en superficie, debido a las reacciones con soluciones atmosféricas líquidas gaseosas. La importancia de la meteorización radica en su efecto sobre las propiedades mecánicas de los materiales a lo que afecta, así como en la influencia sobre las características friccionales de la superficies sobre la que actúa. Además una roca sometida a un elevado grado de meteorización se convertirá finalmente en un material desagregado o poco cementado que se conoce por suelo, de forma que a medida que un macizo rocoso se va meteorizando tendrá a parecerse a este tipo de materiales en la transición se suele hablar de “roquisuelos” o roca blanda-suelos duros (Ramírez & Alejano, 2007).

El grado de meteorización del macizo rocoso se realiza por observación directa del afloramiento y comparación con los indicadores estándares recogidos (González, 2002).



Tabla 10. Descripción del grado meteorización

TERMINO	DESCRIPCIÓN
No meteorizada	No se observan signos de meteorización.
Ligeramente meteorizada	Las discontinuidades se encuentran manchadas o descoloridas y pueden contener un pequeño relleno producto de la alteración del material.
Moderadamente meteorizada	Leve decoloración extendida a lo largo de la discontinuidad. Las discontinuidades pueden contener relleno del material alterado. Parcialmente se pueden observar capas de granos.
Altamente meteorizada	Decoloración extendida a lo largo de la roca, y el material de roca es parcialmente friable, La textura original de la roca se mantiene y es preservada, pero va ocurriendo separación de granos.
Descompuesta	La roca se ha alterado al estado de un suelo, alguno o todos los minerales están descompuestos. El material se encuentra en una condición friable.

Fuente: (Bieniawski, 1989).

2.7.10 Agua en las discontinuidades

Generalmente, la circulación de agua en los macizos rocosos se realiza a lo largo de las discontinuidades (permeabilidad secundaria), excepto en las rocas sedimentarias con un alto índice de poros, en las cuales el agua circula por la propia roca (permeabilidad primaria). Esta permeabilidad necesita que los estratos permeables conecten unos con otros, frecuentemente a través de discontinuidades. La permeabilidad secundaria es más propia de los macizos de rocas ígneas y metamórficas. Por lo que se acaba de exponer, la permeabilidad en los macizos rocosos suele ser muy anisotrópica (Ramírez & Alejano, 2007).

Las observaciones con respecto a las filtraciones en discontinuidades, tanto si se presentan rellenas como si aparecen limpias, pueden seguir las descripciones de la Tabla 11. Conforme a las recomendaciones de la ISRM (González, 2002).

Tabla 11. Descripción de filtraciones en discontinuidades

CONDICIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA CONDICIÓN DE HUMEDAD	
	Estructuras Sin Relleno	Estructuras Con Relleno
I	Estructura cerrada y seca. No parece posible que a través de la misma circule agua.	El relleno se observa consolidado y seco. No parece posible el flujo de agua.
II	Estructura seca y sin evidencia de que haya permitido el flujo de agua.	El relleno está húmedo pero sin señales de agua libre.
III	Estructura seca pero con evidencia de que ha permitido el flujo de agua.	El relleno está mojado y presenta goteos ocasionales.
IV	La estructura está húmeda pero no hay goteos ni otras señales de agua libre.	Se observa un flujo continuo de agua (estimar el caudal). El relleno puede mostrar señales de lavado.
V	La estructura presenta goteos Ocasionales, pero sin un flujo continuo de agua.	Se observa flujo considerable de agua según “canales” preferentes (estimar el caudal y la presión). El relleno está localmente lavado.
VI	La estructura muestra un flujo Continuo de agua (estimar el caudal y la presión).	Se observa un flujo considerable de agua (estimar caudal y presión). El relleno ha sido, al menos localmente, completamente lavado.

Fuente: Condiciones de humedad en (González, 2002).

2.7.11 Resistencia de las paredes de las discontinuidades

Como estimar en el campo la resistencia a compresión de las rocas se puede estimar a partir de la dureza superficial de las mismas, la cual se puede obtener mediante el martillo de Schmidt. Ver la Tabla 12 (González, 2002). La resistencia de la roca se puede estimar en el campo utilizando martillo geológico, teniendo en consideración los parámetros de resistencia.

Tabla 12. Descripción resistencia de las paredes de la discontinuidad

N°	COMPRESIÓN UNÍAXIAL	VALORES
Extremadamente Resistente	>250 MPa	15
Muy Resistente	100 – 250 MPa	12
Resistente	50 – 100 MPa	7
Moderadamente Resistente	25 – 50 MPa	4
Roca Blanda	5 – 25 MPa	2
Roca muy Blanda	1 – 5 MPa	1
Roca Extremadamente Blanda	0.25 – 1 MPa	0

Fuente: (Bieniawski, 2014).

Tabla 13. Estimación en campo de la resistencia de la roca mediante un martillo de geólogo

DUREZA DE LAS ROCAS AL MARTILLO DE GEOLOGO			
GRADO	DESCRIPCION	IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO DE RESISTENCIA (MPa)
R 0	Roca extremadamente dura	Al golpear con el martillo solo saltan esquirlas	> 250
R 1	Roca muy dura	Se requiere muchos golpes del martillo para fracturarla	100 a 250
R 2	Roca dura	Se requiere más de un golpe del martillo para fracturarla	50 a 100
R 3	Roca moderadamente dura	No se puede tallar con la navaja. Puede fracturarse con un golpe fuerte del martillo	25 a 50
R 4	Roca blanda	Se talla con dificultad con la navaja. Al golpear con la punta del martillo se producen ligeras marcas	5 a 25
R 5	Roca muy blanda	Deleznable bajo golpes fuertes con la parte puntiaguda del martillo geológico; se puede tallar fácilmente con la navaja	1 a 5
R 6	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña	0.25 a 1.0

Fuente: Bieniawski, (1979).

La resistencia de las paredes está definida por el ISRM, el cual indica que este es el equivalente a la resistente a la resistencia a la compresión de la roca adyacente a las

paredes de la discontinuidades. La resistencia de las paredes podría disminuir debido a la alteración y meteorización de las paredes. Una descripción semi-cuantitativa y cuantitativa de la resistencia de las paredes es obtenida con el uso de un martillo de geólogo, fuertes navajas y el martillo de Schmidt (Giani, 1992), (Barton, 2013), (Bieniawski, 1979).

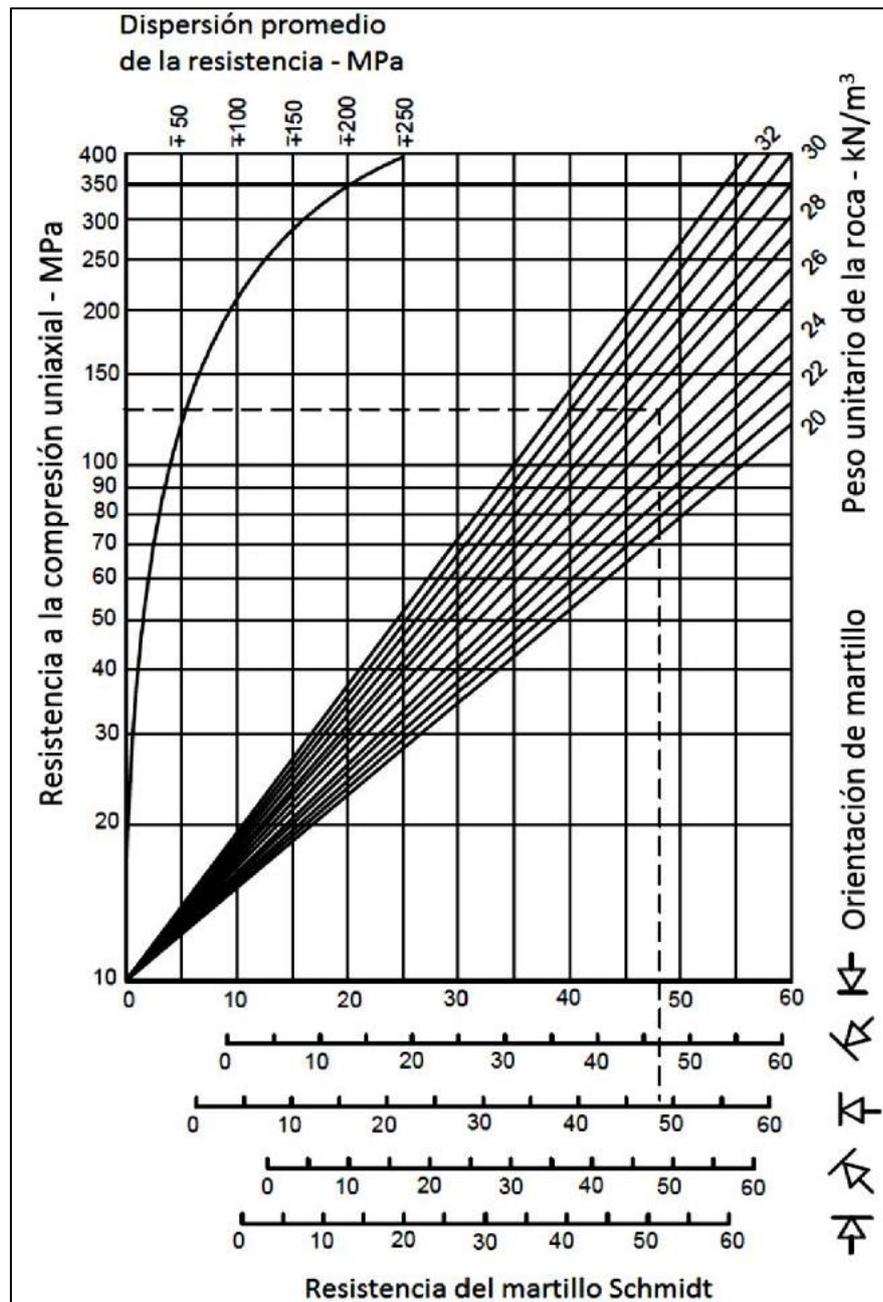


Figura 14. Abaco para la obtención de la resistencia a compresión simple de una roca de una discontinuidad a partir de medidas con el martillo Schmidt

Fuente: (Hoek & Bray, 1991).



2.7.12 Angulo de fricción básica

Para determinar el ángulo de fricción básico se recurrió al ensayo de compresión Triaxial. Para lo cual se envió muestras al laboratorio de Geotecnia y mecánica de rocas – Facultad de Ingeniería de Minas – UNA – Puno, se muestra en el anexo 8.

2.8 PARÁMETROS GEOMECÁNICOS PARA LA CASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

En rocas fracturadas o estratificadas, la influencia del agua en las fisuras es un aspecto importante a considerar. Cuando en las fisuras hay presencia de agua, ésta ejerce presión y actúa como lubricante, además puede lavar el relleno débil de las fracturas, complicando la situación de la excavación en el corte de talud.

En rocas intensamente fracturadas, la presencia del agua acelera el proceso de aflojamiento, especialmente en ambientes de altos esfuerzos donde el aflojamiento de la roca será muy rápido. La observación de cambios en la humedad, en la apertura de cada tramo, ayuda en el reconocimiento de posibles fallas de la roca, como resultado de las variaciones de los esfuerzos. Si el agua empieza a filtrarse a través de la roca dentro de un área que es normalmente seca, es un signo de que la roca está pasando por cambios de esfuerzos, estos cambios harán que las fracturas se abran o se extiendan, empezando a manifestarse la humedad. Similarmente, si un área normalmente con presencia de agua empieza a secarse, también deberá tomarse como una indicación de que la roca está ganando esfuerzos.

La presencia de agua en las fallas geológicas y zonas de corte, influye significativamente en la estabilidad de la masa rocosa en los cortes de talud. La presencia de agua en la roca intemperizada y débil, puede acelerar el aflojamiento y actuar como



lubricante para producir deslizamientos. En ambientes de altos esfuerzos, la situación de la estabilidad de la masa rocosa se complica.

Finalmente, en las rocas expansivas, el agua es el detonador del hinchamiento de las mismas, con la consecuente generación de altas presiones y deformaciones que pueden llevarla a la falla o dañar los sistemas de sostenimiento. Es importante considerar que la presencia de agua ácida daña a los sistemas de sostenimiento, produciendo corrosión a los elementos de fierro, acero y deterioro del concreto. Con el tiempo, los elementos de sostenimiento perderán su efectividad, creando situaciones de peligro de caída de rocas.

Otro aspecto a ser considerado como peligro de caída de rocas, es la influencia del agua del relleno hidráulico sobre las condiciones de estabilidad de la masa rocosa en los cortes de talud. Si no se implementan sistemas adecuados de drenaje del agua de relleno, las filtraciones debilitarán a la masa rocosa del entorno, particularmente a las rocas débiles, haciéndolas propensas al aflojamiento (Cruz, 2004).

El agua transmite a través de los poros y microfisuras interconectados de la roca, recibiendo el nombre de permeabilidad primaria. En los macizos rocosos el agua fluye a favor de la superficie de discontinuidad.

El flujo de agua en un macizo rocoso fracturado depende de las aberturas de las discontinuidades, que a su vez dependen del esfuerzo normal ejercido sobre ellas, y de su interconexión. Este esfuerzo aumenta con la profundidad y a partir de un determinado nivel las discontinuidades aparecen cerradas, siendo la permeabilidad del macizo rocoso la de la matriz rocosa, o permeabilidad primaria (Ramírez y De la cuadra, 2007).

La caracterización hidrogeológica resulta fundamental para definir las posibles infiltraciones de aguas, tanto en taludes como en túneles subterráneos, y los potenciales requerimientos de drenaje (González, 2002).



La presencia de las aguas subterráneas puede afectar a las excavaciones de tajo abierto.

- Puede causar cambios en la tensión efectiva de la masa rocosa donde se ha excavado, aumentando la posibilidad de falla de taludes que conducen a otras medidas correctas, para compensar la reducción de la fuerza global del macizo rocoso.
- Se puede crear condiciones de saturación.
- Las aguas subterráneas por lo general tiene un efecto perjudicial sobre la estabilidad de taludes.

En macizos rocosos el flujo de aguas subterráneas a menudo es controlado por la permeabilidad secundaria, debido a que la permeabilidad en roca intacta usualmente es baja. La naturaleza y orientación de estas discontinuidades son las que determinan la permeabilidad del macizo rocoso, esta puede ser definida por la conductividad de la junta, que es el flujo característico de una simple junta o fisura (Kliche, 1999).

En una fractura puede ser considerada como un ejemplo extremo de una capa altamente permeable. Los estudios teóricos de flujo-fractura se basan generalmente en la suposición de que la fractura puede ser tratada como una abertura delimitada por liso, plano, laminas paralelas con la abertura uniformen, ver la Figura 15.

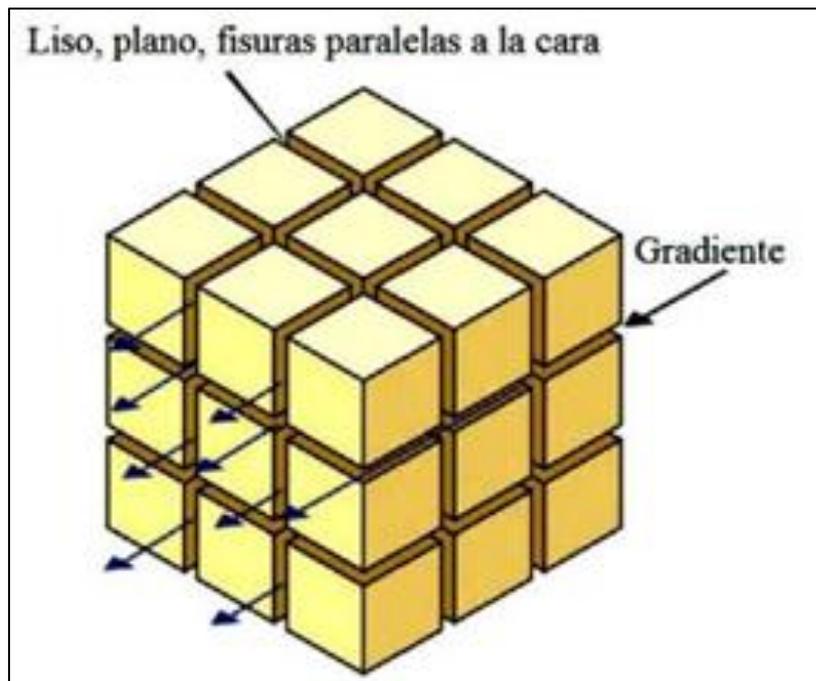


Figura 15. El flujo de agua en fracturas en condiciones uniformes en macizo rocoso (Read y Stacey, 2009).

Con las actividades necesarias para saber la caracterización geotécnica con la finalidad de definir las propiedades mecánica de la roca “Intacta”, las estructuras y el macizo rocoso y de tal manera para comprender las falla en talud, considerado en (Ramírez & Alejano, 2007).

2.8.1 Índice de designación de la cantidad de la roca (RQD)

Fue desarrollado por Deere (1982) para promover un estimado cuantitativo de calidad de la masa rocosa, a partir de los testigos de perforación diamantina. El *RQD* es definido como el porcentaje de piezas de testigo intactos mayores a 100 mm en la longitud total del testigo, el testigo deberá tener por lo menos un tamaño (54.7 mm de diámetro) y deberá ser perforado con un cilindro de doble tubo de perforación (Hoek & Bray, 1991).

Propuso un sistema de diseño de sostenimientos basado en el *RQD*. Este parámetro se obtiene a partir del porcentaje de trozos de testigo mayores de 10 cm recuperado en un sondeo, y permite estimar el grado de fracturación del macizo rocoso.



(El índice *RQD* (*Rock Quality Designation*) se define como el porcentaje de recuperación de testigos de más de 10 cm de longitud en su eje, sin tener en cuenta las roturas frescas del proceso de perforación respecto de la longitud total del sondeo (Goodman, 1989).

El índice *RQD* (*Rock Quality Designation*) se define como el porcentaje de recuperación de testigos de más de 10 cm de longitud en su eje, sin tener en cuenta las roturas frescas del proceso de perforación respecto de la longitud total del sondeo (Singh & Goel, 1999).

El *RQD* hay que tomarlo con las debidas precauciones, ya que su valor depende no sólo de la fracturación del macizo rocoso sino también de otros factores, como la técnica del sondeo, su dirección, diámetro, etc. (Ramírez & Alejano, 2007).

$$RQD = \frac{\sum \text{Trozos de longitud} \geq 10}{\text{longitud total de la perforación}} \times 100 (\%)$$

Palmstrom (1982) sugirió que, cuando los testigos no estén disponibles pero las tazas de las discontinuidades son visibles en afloramientos superficiales o en socavones exploratorios, el *RQD* puede ser estimado a partir del número de discontinuidades por unidad de volumen.

Se hace el cálculo del *RQD* en función del número de fisuras por metro cubico (J_v) determinadas al realizar el levantamiento litológico - estructural en el área o zona predeterminada. Esto se usa para voladura de banco y queda establecida de acuerdo a la relación entre *RQD* y J_v .

$$RQD = 115 - 3.3(J_v)$$

J_v : Conteo de discontinuidades volumétrico Número de discontinuidades interceptando un volumen de 1 m³

Para determinar el *RQD* en el campo existen procedimientos de cálculo, según: correlaciones como la de Palmstrom, 1975, considerado en (ISRM. 1981).

Tabla 14. Índice de calidad de roca (RQD)

RQD	CALIDAD DE ROCA
25%	Muy mala
25 - 50 %	Mala
50 - 75 %	Regular
75 - 90 %	Buena
90 - 100 %	Muy buena

Fuente: (Terzaghi, 1979).

2.8.2 Clasificación geotécnica del macizo rocoso

La caracterización de geomecánica del macizo rocoso consistió en definir las propiedades mecánicas del macizo rocoso, las discontinuidades y de la roca intacta del área de investigación, considerando la metodología en la caracterización de macizo rocoso, en la ejecución del ensayos de laboratorio, tratamiento y procesamiento de la información, todo esto con el objetivo de realizar un buen análisis de estabilidad de taludes (Pérez, 2005).

La clasificación geomecánica del macizo rocoso se realizó para cada uno de los tramos, a partir de mapeo lineal realizado in situ, de las cuales se obtuvieron el índice RQD, los valores de las clasificaciones RMR, GSI y Q. considerado en (González, 2002).

2.8.2.1 Sistema de clasificación RMR (Bieniawski (1989))

El sistema de clasificación RMR o Rock Mass Rating fue desarrollado por Z.T. Bieniawski durante los años 1972 - 73, y modificado posteriormente en 1976 y 1979, en

base a más de 300 casos reales de túneles, taludes y cimentaciones. Actualmente se usa la edición de 1989, que coincide sustancialmente con la de 1979.

Para determinar el índice RMR de calidad de la roca se hace uso de los seis parámetros de los terrenos siguientes:

La resistencia a compresión simple del material

El RQD (Rock Quality Designacion)

El espaciamiento de las discontinuidades

El estado de las discontinuidades

La presencia de agua

La orientación de las discontinuidades, según sea para cimentaciones, túneles o taludes.

El RMR se obtiene como suma de unas puntuaciones que corresponden a los valores de cada uno de los seis parámetros y oscila entre 0 y 100, y que es mayor cuanto mejor es la calidad de la roca. Bieniawski distingue cinco tipos o clases de roca según el valor del RMR.

Tabla 15. Calidad del macizos rocosos en relación al índice RMR

CLASE	CALIDAD	VALORACION RMR
I	Muy buena	> 80
II	Buena	61 – 80
III	Regular	41 – 60
IV	Mala	21 – 40
V	Muy mala	< 20

Fuente: (Bieniawsk, 1979).



En función de la clase obtenida, se puede establecer una estimación de las características geotécnicas (ángulo y cohesión) y de su comportamiento frente a excavaciones.

Calculo RMR. Esta clasificación proporciona una estimación inicial de los parámetros del macizo rocos a bajo coste y de manera sencilla, no obstante, debe ser considerada como una simplificación, ya que no tiene en cuenta otros aspectos como la de formabilidad del macizo y debe ser aplicada con criterio y en base al conocimiento y experiencia previa (Bieniawski, 2014).

Tabla 16. Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989), Parámetros de Clasificación

Parámetros		ESCALA DE VALORES				
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Carga Puntual	> 10	10 - 4	4 - 2	2 - 1	Compresión simple (MPa)
	A compresión simple	> 250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25 - 5 5 - 1 < 1
Puntuación		15	12	7	4	2 1 0
RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%
Puntuación		20	17	13	6	3
Separación entre diaclasas		> 2 m	0.6 - 2 m	0.2 - 0.6 m	0.06 - 0.2 m	< 0.006 m
Puntuación		20	15	10	8	5
Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20m	> 20 m
	Puntuación	6	4	2	1	0
	Abertura	Ninguno	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
	Puntuación	6	5	3	1	0
	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Lisa	Suave
	Puntuación	6	5	3	1	0
	Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5mm	Relleno blando > 5 mm
	Puntuación	6	4	2	2	0
	Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
	Puntuación	6	5	3	1	0
Agua freático	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 Litros/min	10 - 25 litros/min	25 - 125 Litros/min	> 125 Litros/min
	Relación: Presión de gua/Tensión principal mayor	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5
	Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo
	Puntuación	15	10	7	4	0
Corrección por la orientación de las discontinuidades						
Dirección y Buzamiento		Muy favorables	Favorables	Regulares	Desfavorables	Muy favorables
Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60
Clasificación						
Clase	I	II	III	IV	V	
Calidad	Muy buena	Buena	Regular	Mala	Muy mala	
Puntuación	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20	

Fuente: Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989).



2.8.2.2 Método de índice GSI

El índice de resistencia geológica, GSI, fue desarrollado por Hoek & Bray (1991) para subsanar los problemas detectados con el uso del índice RMR para evaluar la resistencia de macizos rocosos según el criterio generalizado de Hoek-Brown. Este índice de calidad geotécnica se determina en base a dos parámetros que definen la resistencia y la deformabilidad de los macizos rocosos (Bieniawski, 1989).

RMS es la “estructura del macizo rocoso”, se obtiene del RMR definiéndose unos factores de ajustes por orientación de las discontinuidades y por el método de excavación.

JC es la condición de las estructuras presentes en el macizo rocoso.

La evaluación del GSI se hace por comparación del caso que interesa con las condiciones típicas que se muestran en la tabla 9 y 10, y el mismo puede variar de 0 a 100, lo que permite definir 5 clases de macizos rocosos:

- Macizos de calidad MUY MALA (Clase V, $0 \leq \text{GSI} \leq 20$).
- Macizos de calidad MALA (Clase IV, $20 < \text{GSI} \leq 40$).
- Macizos de calidad REGULAR (Clase III, $40 < \text{GSI} \leq 60$).
- Macizos de calidad BUENA (Clase II, $60 < \text{GSI} \leq 80$).
- Macizos de calidad MUY BUENA (Clase I, $80 < \text{GSI} \leq 100$)

CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO PARA ESTIMAR SU RESISTENCIA		CONDICIÓN DEL FRENTE				
<p>Basándose en el aspecto de la roca elegir la categoría que mejor describa las condiciones del macizo previo a la excavación. Tener en cuenta que las voladuras pueden crear una impresión falsa sobre la calidad del macizo rocoso, en cuyo caso será necesario realizar algún tipo de ajuste por daños debidos a voladuras; la observación de testigos de sondeos y de frentes de roca en zonas afectadas y no afectadas por voladuras puede ser de ayuda. Para la definición del grado de fracturación (<i>blockiness</i>) debe considerarse la relación entre el tamaño del bloque y la dimensión del frente de excavación.</p>		MUY BUENA (MB) Superficies muy rugosas sin alterar	BUENA (B) Superficies rugosas ligeramente alteradas, con pátinas de oxidación	MEDIA (M) Superficies suaves moderadamente alteradas	POBRE (P) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos compactos conteniendo fragmentos rocosos	MUY POBRE (MP) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos arcillosos
ESTRUCTURA						
	BLOQUES REGULARES (BR) Macizo rocoso sin alterar. Bloques en contacto de forma cúbica formados por tres familias de discontinuidades ortogonales, sin relleno.	BR/MB	BR/B	BR/M	BR/P	BR/MP
	BLOQUES IRREGULARES (BI) Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formados por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos.	BI/MB	BI/B	BI/M	BI/P	BI/MP
	BLOQUES Y CAPAS (BC) Macizo alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos.	BC/MB	BC/B	BC/M	BC/P	BC/MP
	FRACTURACIÓN INTENSA (FI) Macizo rocoso muy fracturado formado por bloques angulosos y redondeados, con alto contenido de finos.	FI/MB	FI/B	FI/M	FI/P	FI/MP

Figura 16. Caracterización del macizo rocoso para estimar su resistencia

Fuente: Caracterización del macizo rocoso en base a su grado de fracturación y estado de las juntas. (Hoek y Brown. 1997).

ÍNDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA GSI (geological strength index)		CONDICIÓN DEL FRENTE				
<p>A partir de la clasificación obtenida en la Figura 3.94 seleccionar el cuadro correspondiente en este ábaco y obtener el valor medio del índice GSI.</p>		MUY BUENA (MB) Superficies muy rugosas sin alterar	BUENA (B) Superficies rugosas ligeramente alteradas, con pátinas de oxidación	MEDIA (M) Superficies suaves moderadamente alteradas	POBRE (P) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos compactos conteniendo fragmentos rocosos	MUY POBRE (MP) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos arcillosos
ESTRUCTURA						
	BLOQUES REGULARES (BR) Macizo rocoso sin alterar. Bloques en contacto de forma cúbica formados por tres familias de discontinuidades ortogonales, sin relleno.	80	70			
	BLOQUES IRREGULARES (BI) Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formados por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos.		60			
	BLOQUES Y CAPAS (BC) Macizo alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos.			40		
	FRACTURACIÓN INTENSA (FI) Macizo rocoso muy fracturado formado por bloques angulosos y redondeados, con alto contenido de finos.				30	20

Figura 17. Índice de resistencia geológica de resistencia GSI. (geological strength index)

Fuente: Estimación de índice GSI en base a descripciones geológicas (Hoek y Brown. 1997).



2.8.3 Valoración geotécnico del macizo rocoso

2.8.3.1 Criterios de Mohr - Coulomb

Este criterio es empleado para el macizo rocoso de la carretera Sina - Yanahuaya, considerando que la rotura se produce a favor de superficies de discontinuidad, teniendo en cuenta que deben adoptarse valores para la cohesión y para el Angulo de fricción representativos de macizo rocoso Bieniawski (1979) propone unas valores orientativos para ambos parámetros, en función de la calidad del macizo rocoso dada por el índice RMR. (González, 2002).

2.8.3.2 Criterios de resistencia de Barton – Bandis

Se trata de criterio empírico, deducido a partir del análisis del comportamiento de las discontinuidades en ensayos de laboratorio, que permite estimar la resistencia al corte en discontinuidades rugosas.

La estabilidad de talud en roca, en su mayoría está controlada por las estructuras, por lo cual es necesario realizar una valoración de la resistencia de discontinuidades que puede ser valorada por dos criterios; el de Barton – Bandis y Mohr – Coulomb. Los parámetros que involucran estos son necesarios para la realización de estabilidad de taludes por el método equilibrio limite o analítico.

El criterio de Barton Bandis nos ofrece más facilidad y aplicabilidad, ya que los parámetros involucrados en el criterio son obtenidos en el campo y prueba sencilla en el laboratorio (González, 2002).

2.8.4 Propiedades de las estructuras

Es evidente que el método in situ constituye la mejor aproximación para predecir la Deformabilidad del macizo rocoso. Sin embargo, los ensayos in situ son relevante caros y no siempre proporcionan resultados fiables, debido a distintas razones. Para una discusión detallada sobre las propiedades de las estructuras pueden consultarse los trabajos de Goodman (1989), Priest (1993) y Hoek (2000) sin embargo, en lo que sigue se resumen los criterios de caracterización y se presentan algunas recomendaciones prácticas en (González, 2002).

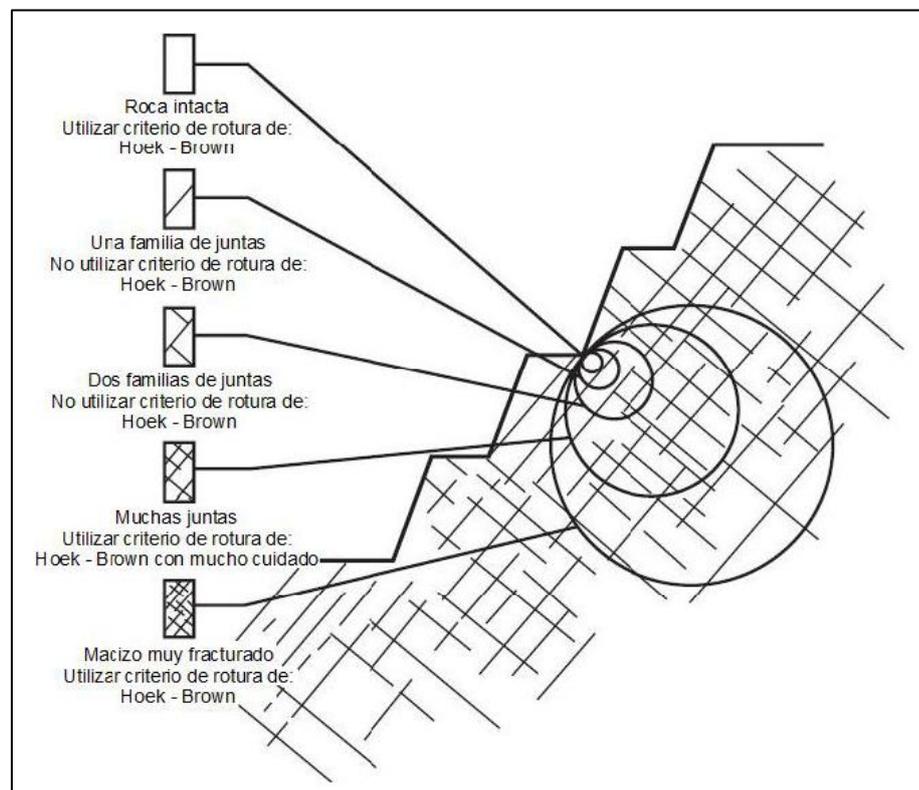


Figura 18. Diagrama identificación de roca intacta y la de un macizo rocoso muy fracturado, criterio de (Hoek, 2000)

2.8.5 Propiedades de la roca intacta

Para definir las propiedades mecánicas de la roca intacta deberán obtenerse probetas de cada unidad geotécnica básica y someterlas a ensayos de laboratorio, para



realizar estos ensayos se podrían seguirse las recomendaciones de la ISRM (Brown (1981) y/o la Normas ASTM (1999).

Las propiedades geomecánicas de la roca intacta que se encuentran entre defectos estructurales en un típico macizo rocoso son medidas en laboratorio de muestras representativas de roca intacta. La necesidad de obtener muestras representativas es muy importante (Hoek, 2000).

2.8.5.1 Ensayo de laboratorio

En las muestras obtenidas por los diferentes procesos de extracción son llevadas a laboratorio para correspondientes ensayos. Los principales objetivos de hacer ensayos de laboratorio son de brindar una clasificación exacta del material extraído y determinar parámetros cualitativos y cuantitativos que representen el comportamiento mecánico y en algunos casos el comportamiento químico del material rocoso (Suárez, 2013).

2.9 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Los análisis de estabilidad se aplican al diseño de taludes o cuando estos presentan problemas de inestabilidad. Se debe elegir un coeficiente de seguridad adecuado, dependiendo de la finalidad y del carácter temporal o definitivo del talud, combinando los aspectos de seguridad, costes de ejecución, consecuencias o riesgos que podría causar una desestabilidad. Los métodos de análisis de estabilidad se basan en un planteamiento físico-matemático en el que intervienen las fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras que actúan sobre el talud y que determinan su comportamiento y condiciones de estabilidad. Se pueden agrupar en: Métodos determinísticos y probabilísticos (González, 2002).

Para taludes permanentes, el coeficiente de seguridad a adoptar debe ser igual o superior a 1,5, e incluso 2,0, dependiendo de la seguridad exigida y de la confianza que

se tenga en los datos geotécnicos que intervienen en los cálculos; para taludes temporales el factor de seguridad está en torno a 1,3, pero en ocasiones puede adoptarse valores inferiores (González, 2002).

Tabla 17. Valores referenciales para taludes en corte (relacion h.v)

Clasificación de materiales de corte	Roca fija	Roca suelta	Material			
			Grava	Limo arcillosos o arcilla	Arenas	
Altura de corte	< 5 m	1:10	1:6 - 1:4	1:1 - 1:3	1:1	2:1
	5 - 10 m	1:10	1:4 - 1:2	1:1	1:1	
	> 10 m	1:8	1:2			

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

2.10 MÉTODOS PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD

El método de análisis a utilizar dependiendo de varios factores en los cuales se incluyen:

- La fase del proyecto.
- Análisis de talud.
- Las propiedades de los materiales que conforma el talud.

Los principales métodos de análisis se incluyen:

- Métodos empíricos.
- Métodos cinemáticos.
- Métodos de equilibrio limite.



Actualmente debido a la variedad de autores que han escrito sobre estabilidad de taludes en macizos rocosos se tiene discrepancias en cuanto a los métodos utilizados uno de ellos es el de los métodos de proyección estereográfica o cinemáticos.

2.10.1 Métodos empíricos para la estabilidad de taludes

En la fase inicial del desarrollo de un proyecto cuando los datos son limitados y el modelo geotécnico no está completamente desarrollado, los cuadros empíricos pueden ser utilizados en casos extremados para establecer un diseño preliminar del talud, siempre que se reconozcan sus limitaciones (Read y Stacey, 2009).

Varios autores elaboraron gráficos para macizos rocosos específicos, revelando que tal relación es típica en la estabilidad de taludes rocosos. La gran dificultad de la aplicación de este método empírico reside, con todo, no generalizado a otros macizos rocosos o a otras condiciones de agua subterránea, los resultados obtenidos son gráficos de estabilidades, no permitiendo cualquier opción al proyectista que pretende estudiar la estabilidad.

2.10.1.1 Cuadro ángulo de talud versus altura de talud

Varios autores mencionan en sus publicaciones relacionadas al ángulo de talud versus la altura del talud. Una contribución de esta naturaleza fue dada por Barton dada a partir de la observación de 50 taludes excavados en la mina Atalaya, periclitados a Rio Tinto España, en el cual se especifica aquellos que se mantienen estables y cuales aquellos que revelan inestabilidad. Otros autores como Coates y Hoek también elaboran gráficos similares para macizos rocosos específicos. La semejanza de estos cuadros nos revela la relación típica de la estabilidad de taludes rocosos (Read y Stacey, 2009).

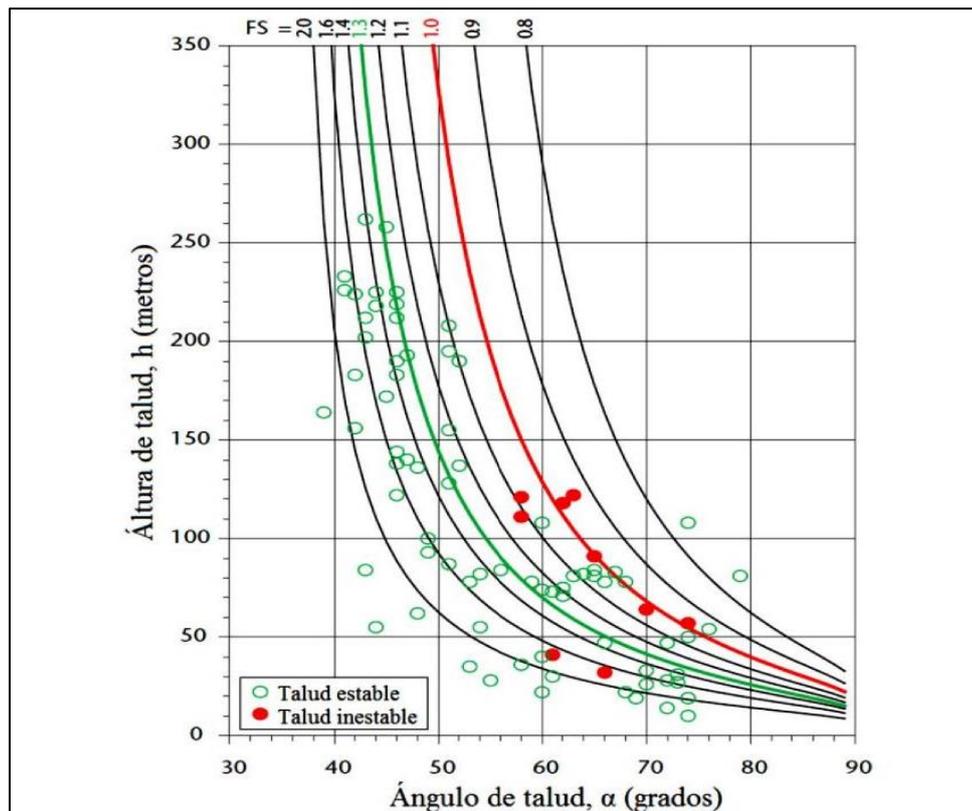


Figura 19. Ángulo de talud versus altura de talud, distinguiendo entre fallas y no fallas (Read y Stacey, 2009)

A continuación conoceremos ejemplos que incluyen cuadros publicados por (Hoek, 2000) y (SJÖBERG, 1996). Hoek reporta la investigación de varios taludes e incluye un rango de ángulos de talud, que se muestran en la Figura 19. Similar cuadro se presenta por (Hoek & Bray, 1991) y (Wyllie y Mah, 2004). En el cual se utilizó el enfoque de Hoek de simplemente comparar ángulo del talud con su altura, mostrándose taludes estables e inestables.

Un estudio más reciente de SJÖBERG (1996) que también clasifica los taludes por la característica calificación de roca-dureza. Datos de Sjöberg para los dos casos se representan gráficamente en la Figura 20. Utilizando la notación que los símbolos abiertos representan los taludes exitosos y los símbolos abiertos representan los taludes fallados. Al igual que con las conclusiones de Hoek, algunos taludes parecen estables cuando un ángulo de la pendiente frente a la clasificación altura del talud sugeriría fracaso, mientras

que otros fracasaron, donde se podría haber esperado estabilidad. La actualización de la obra de Hoek y Sjöberg sugiere una gama más amplia de incertidumbre (Read & Stacey, 2009).

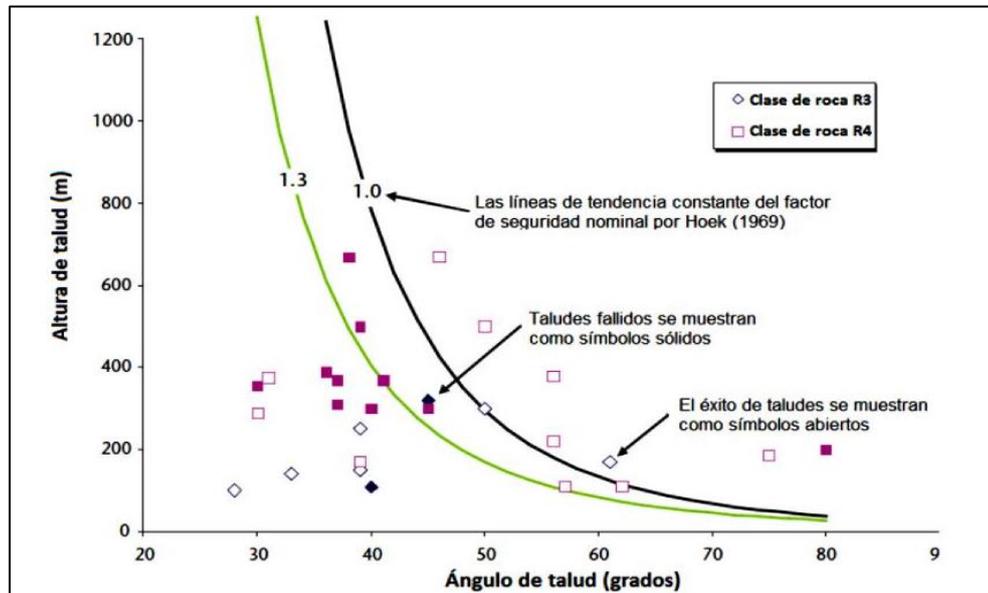


Figura 20. El éxito y el fracaso de la roca talud designada por resistencia de la roca (SJÖBERG, 1996).

2.10.2 Método de proyecciones estereográficas o cinemático

Una vez que el tipo de falla se ha identificado en el estereograma, el mismo diagrama también se puede utilizar para examinar la dirección en la que un bloque se deslizará y dará una indicación de las condiciones de estabilidad. Este procedimiento se conoce como análisis cinemático. Esta relación entre la dirección en la que el bloque de roca se deslizará y la orientación de la cara es fácilmente evidente en el estereograma. Sin embargo, mientras que el análisis de la estereograma es un buen indicador de las condiciones de estabilidad, que no tiene en cuenta las fuerzas externas tales como presiones de agua o de refuerzo que comprende pernos de roca tensados, que pueden tener un efecto significativo en la estabilidad. El procedimiento de diseño habitual es utilizar el análisis cinemático para identificar bloques potencialmente inestables, seguido de un



análisis de estabilidad detallada de estos bloques usando el método de equilibrio límite (Wyllie y Mah, 2004).

2.10.2.1 Modos de falla o rotura

La orientación de las distintas familias de discontinuidades combinadas con la orientación del talud en cada dominio estructural, dan origen a la formación de los potenciales modos de falla que se podrían presentar en el talud (Hoek, 2000).

La roca dura suele ser tan resistente que las fallas son por gravedad y esto es posible sólo si las discontinuidades permiten un fácil movimiento de bloques discretos. En regularmente estratos o roca foliada, cortada por juntas, hay muchas posibilidades de movimiento del bloque a lo largo de planos de debilidad y una gran variedad de modos de comportamiento se exhiben. Con una apreciación del modo de falla, es posible evaluar la probabilidad de falla, o el factor de seguridad, y el ingeniero dar una medida de corrección si el grado de riesgo es inaceptable (Goodman, 1989).

Existen posibles modos de falla como vuelco, planar, cuña estos son aplicables a los macizos rocosos fracturados. En roca muy fracturada o descomprimida, producirá fallas circulares. Ocurrencias de cualquier modo de una fractura o combinación de los mismos está controlado por la orientación relativa de cara de la cantera / plano de junta dominante, conjuntos de junta dominantes, las características de resistencia al corte de juntas, y su continuidad / frecuencia (González, 2002).

a. Modo de rotura planar

Se llama rotura planar o plana a aquella en la que el deslizamiento se produce a través de una única superficie plana.

Es la más sencilla de las formas de rotura posibles y se produce cuando existe una fracturación dominante en la roca y convenientemente orientada respecto al talud. Frecuentemente se trata de fallas que interceptan al talud.

También puede producirse en terrenos granulares en los que, entre dos terrenos de buenas características resistentes, se intercala un estrato de poco espesor de material con menos resistencia.

Este tipo de rotura no es muy frecuente, ya que deben darse las dos condiciones siguientes:

Los rumbos o trazas horizontales del plano del talud y del plano de deslizamiento deben ser paralelos o casi paralelos, formando entre sí un ángulo máximo de 20° (Herrera, 2000).

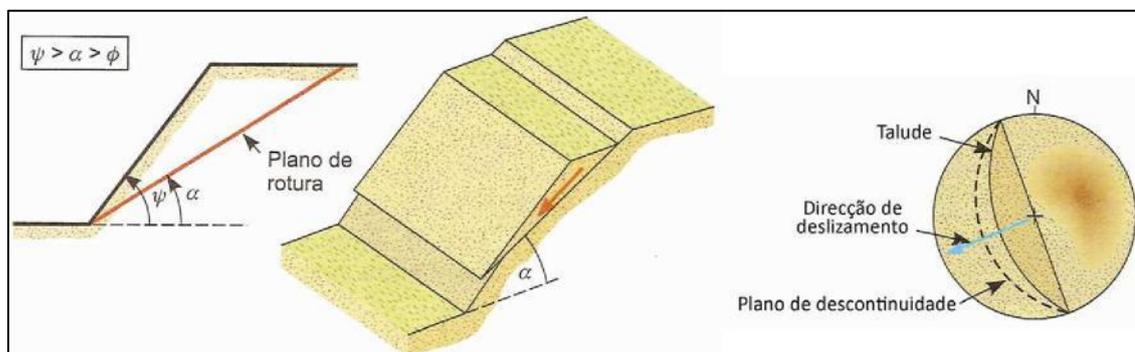


Figura 21. Rotura planar (modificado de Hoek & Bray, 1981) considerado en (González, 2002)

b. Modo de Rotura o falla por cuña

Corresponde al deslizamiento de un bloque en forma de cuña, formado por dos planos de discontinuidad, a favor de su línea de intersección (figura 22). Para que ocurra este tipo de rotura, los dos planos deben aflorarse en la superficie del talud, cumpliendo también las condiciones referidas para la rotura planar ($\psi > \alpha > \phi$), siendo en este caso α la inclinación de la línea de intersección. En general, este tipo de rotura se observa en

macizos con varias familias de discontinuidades, cuya orientación, espaciamiento y continuidad determinan la forma y el volumen de la cuña (Gonzales, 2002).

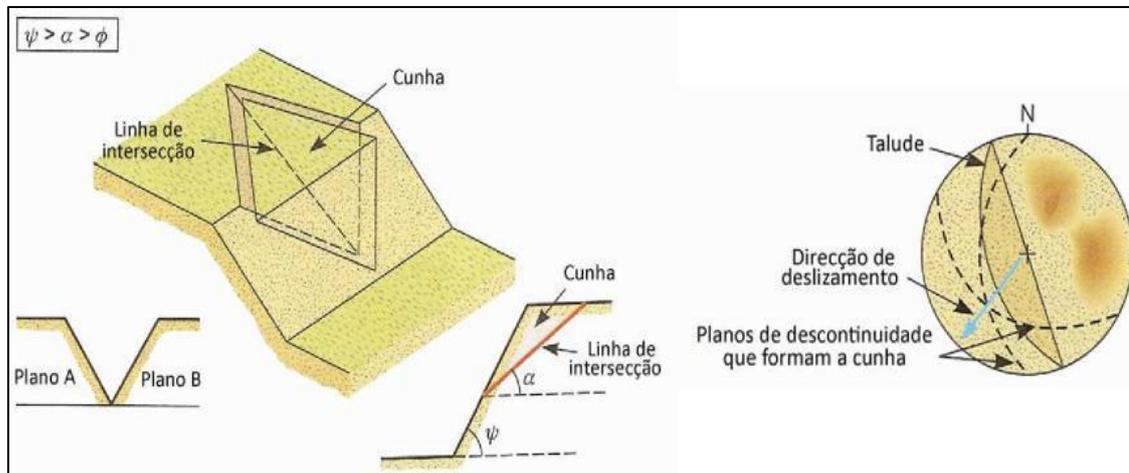


Figura 22. Roturas en cuña debido a la intersección de dos discontinuidades (Hoek & Bray, 1981), considerado en (González, 2002)

c. Modo de Rotura o falla por vuelco

Este tipo de rotura ocurre en taludes rocosos donde las discontinuidades presentan una inclinación contraria a la inclinación del talud y una dirección paralela o sub-paralela al mismo (figura 23). En general, el macizo se presenta en bloques individualizados por un sistema de discontinuidades ortogonal. Este tipo de rotura implica un movimiento de rotación de los bloques y la estabilidad no sólo está condicionada por su resistencia al deslizamiento (Gonzales, 2002).

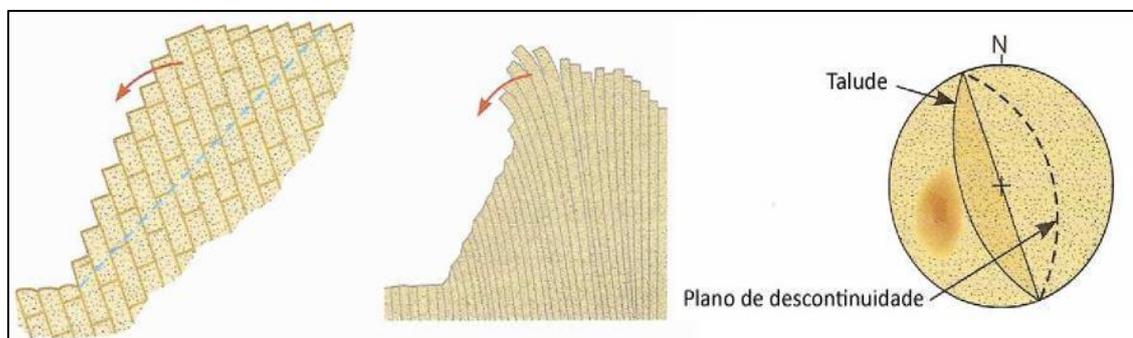


Figura 23. Rotura por Vuelco (Hoek & Bray, 1981), considerado en (González, 2002)

d. Modo de rotura o falla circular

Ocurre en macizo rocoso de menor competente, muy alterado y altamente fracturado, que presentan un comportamiento isótropo y donde los planos de discontinuidades no controlan el comportamiento mecánico.

Se llama rotura circular a aquella en la que la superficie de deslizamiento es asimilable a una superficie cilíndrica cuya sección transversal se asemeja a un arco de círculo (Hoek & Bray, 1991).

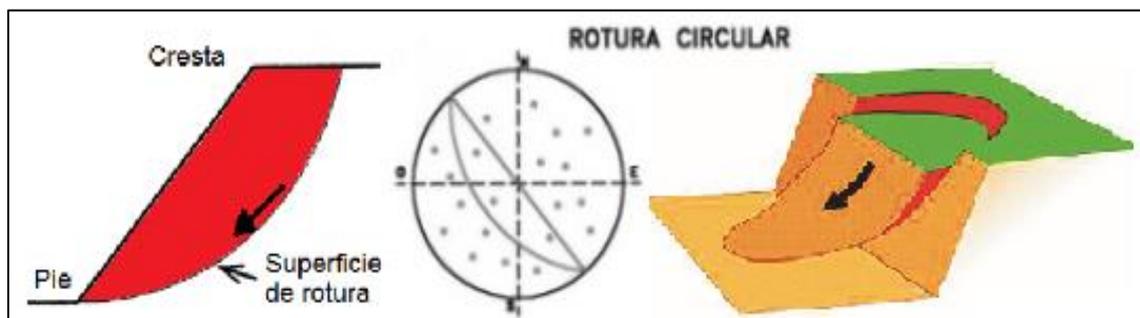


Figura 24. Rotura Circular (Hoek & Bray, 1981)

2.10.3 Modos de equilibrio límite o analítico

La estabilidad de un talud está determinada por factores geométricos (altura e inclinación), factores geológicos (que condicionan la presencia de discontinuidades y zonas de debilidad y anisotropía del talud), factores hidrogeológicos (presencia de agua) y factores geotécnicos o relacionados con el comportamiento mecánico (resistencia y deformabilidad) del macizo rocoso (Wyllie, 2004).

Los diferentes tipos de inestabilidad posibles en taludes rocosos están íntimamente ligados al tipo de estructuras geológicas, por lo que es importante, en una fase preliminar de los estudios, identificar las posibles situaciones de inestabilidad que tales estructuras

pueden ocasionar. Estas situaciones, a menudo se identifican fácilmente a través de un simple análisis de los diagramas de contorno estructural (estereogramas).

En cuanto a los factores geotécnicos, las propiedades geomecánicas más significativas de los macizos rocosos son la cohesión el ángulo de rozamiento interno. Estos parámetros se esquematizan, que correlaciona las tensiones normales y tensiones tangenciales, en un ensayo de corte directo (Hoek & Bray, 1991).

2.10.3.1 Estabilidad de fallas plana

En el caso de la falla planar el factor de seguridad F.S. Se obtiene de forma directa como cociente entre las fuerzas que tienden a producir deslizamiento y las fuerzas resistentes del terreno que se oponen al mismo, proyectadas todas según la dirección del plano de falla (Diaz, 1998).

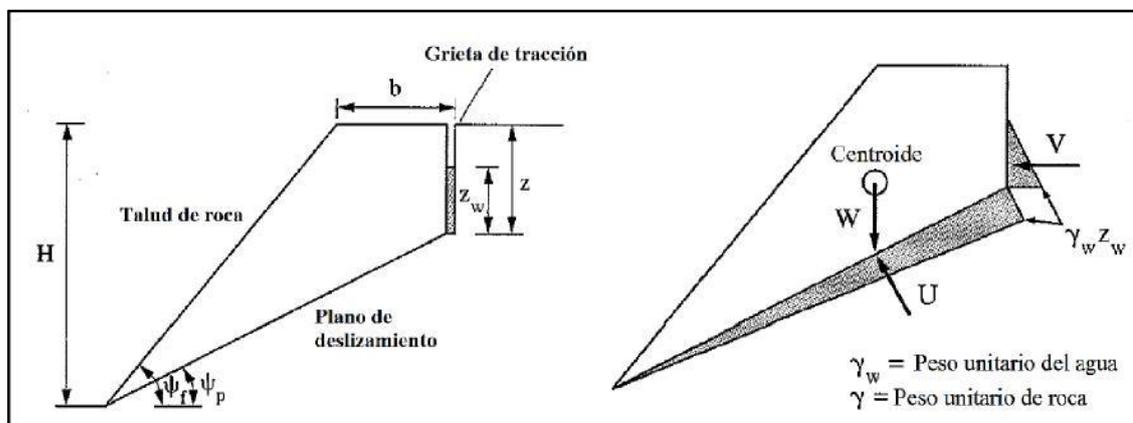


Figura 25. Geometría de una análisis estático de una falla plana con grieta tracción

Fuente: (Hudson & Harrison, 2000).

En donde se tiene:

FS = factor de seguridad.

H = altura del talud.



b = longitud de grieta de tracción desde el plano de coronación, o desde la superficie del talud, hasta el plano de discontinuidad.

Z_w = altura del agua en la grieta de tracción.

c = cohesión efectiva de la superficie de deslizamiento.

φ = ángulo de fricción efectivo de la superficie de deslizamiento.

Z = distancia de la grieta de tracción a la cresta del talud.

W = peso de la masa deslizante, supuesta de anchura unidad según el rumbo.

ψ_f = buzamiento de talud.

ψ_p = buzamiento del plano del deslizamiento.

U = fuerza resultante de las presiones intersticiales que actúan sobre el plano de deslizamiento.

V = fuerza resultante de las presiones intersticiales que actúan sobre la grieta de tracción.

γ = peso específico de la masa inestable.

γ_w = peso específico del agua.

g = aceleración de la gravedad.

El coeficiente de seguridad viene dado por.

$$FS = \frac{c(H - z) + csc \psi_p + (W \cos \psi_p - U - \tan \varphi)}{V \cos \psi_p + W \sin \psi_p}$$



Esta expresión es una de las más generales y la que se viene utilizando en las últimas décadas para analizar y resolver problemas de plana con razonable éxito (Ramírez & Alejano, 2007).

La resolución de problemas de rotura planar. Que se puede realizar de manera relativamente sencilla manualmente, también ha sido implementado en algunos programas de cálculo como el denominado RocPlane 2.0 de la compañía Rocscience.

2.10.3.2 Estabilidad de fallas por cuña

En el factor de seguridad de la rotura en cuña viene definido, como en la rotura plana, por el cociente entre las fuerzas que se oponen al deslizamiento y las que lo inducen. Las fuerzas que intervienen son las mismas que en la rotura plana, es decir, peso de la cuña, empujes de agua, esfuerzos sísmicos, fuerzas de anclaje, fuerzas de reacción y fuerzas resistentes: cohesión y fricción.

A diferencia de la rotura plana, en la rotura en cuña se desarrolla una componente resistente sobre cada uno de los dos planos de discontinuidad que forman la cuña. Así mismo, los empujes de agua pueden actuar independientemente sobre cada plano de discontinuidad, por lo que la solución del problema se complica al convertirse en tridimensional (Ramírez & Alejano, 2007).

Para calcular el coeficiente de seguridad hay que obtener el resultante sobre la línea de caída de las componentes tangenciales de las fuerzas que actúan sobre la cuña y compararla con las fuerzas resistentes. La solución gráfica de los problemas de estabilidad de cuñas necesita de la proyección estereográfica.

Asumiendo que la dirección de deslizamiento es paralela a la línea de intercesión de los dos planos, fuerzas paralelas a esta línea y perpendicular a los dos planos de

deslizamiento pueden resolverse en orden de determinar el factor de seguridad con la siguiente expresión.

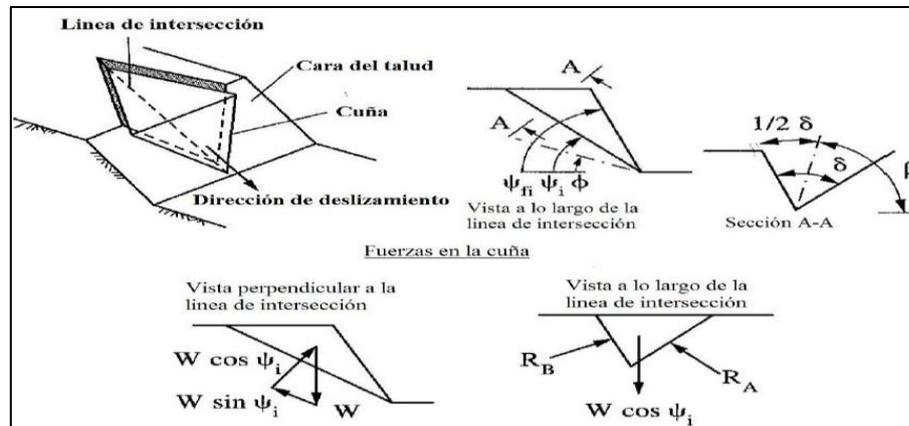


Figura 26. Geometría de un análisis estático de solo fricción de una falla en cuña

Fuente: (Hudson & Harrison, 2000).

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

$$y R_A + R_B = \frac{W \cos \psi_i \sin \beta}{\sin(0.5\delta)}$$

En donde se tiene:

FS = Factor de seguridad.

φ = Ángulo de fricción.

ψ_i = Buzamiento de la línea de intersección.

W = Peso del bloque.

β, δ = Factores geométricos de la cuña.

La resolución de problemas de rotura en forma de cuña que a veces resulta algo complicado realizar de manera manual ha sido implementada, en su versión basada en el cálculo vectorial (Hoek & Bray, 1991) ha sido implementada en algunos programas de



cálculo como el denominado Swedge 4.0 de la compañía Rocscience (2002) que también permite cálculos estadísticos y realización de análisis de sensibilidad. Este programa tiene la ventaja de que permite realizar cálculos de manera bastante sencilla y rápida.

2.10.3.3 Estabilidad de fallas por vuelco

Teniendo en consideración de los métodos analíticos para resolver los problemas de vuelco de taludes, uno de los más difundidos es el propuesto por (Goodman, 1989) que se adapta sobre todo a taludes que presentan roturas con base escalonada ascendente regular, del tipo de vuelco de bloques.

En lo que concierne al vuelco por flexión, se debe considerar la resistencia a tracción del material rocoso de cada estrato o lamina de roca. Uno de los pocos métodos existentes que permite analizar este tipo de mecanismos es el denominado método basado también en equilibrio límite y ajustado a diversas observaciones realizadas sobre modelos físicos y vuelcos naturales (Hudson & Harrison, 2000).

Existen herramientas para los modos de falla por vuelco directo (similarmenete, existen soluciones para vuelcos flexurales pero también estas fallas envuelven deformaciones internas del bloque que es pobremente tratada usando técnicas de equilibrio límite). Otras consideraciones incluyen la posibilidad de que el bloque pueda deslizar, o que ambos deslizamiento y vuelco puedan ocurrir simultáneamente.

El análisis por equilibrio límite para fallas por vuelco por lo tanto considera ambos la posibilidad de vuelco y/o deslizamiento. La Figura 27 muestra las fuerzas activas y condiciones de equilibrio límite para el vuelco y deslizamiento de un simple bloque 2-D en camino base (González, 2002).

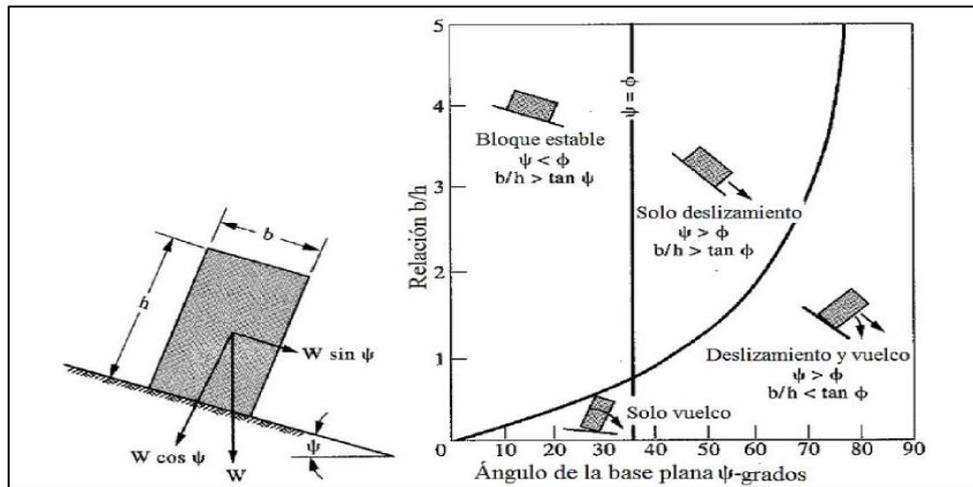


Figura 27. Deslizamiento e inestabilidad de bloques por vuelco en un plano inclinado (Hoek & Bray, 1991)

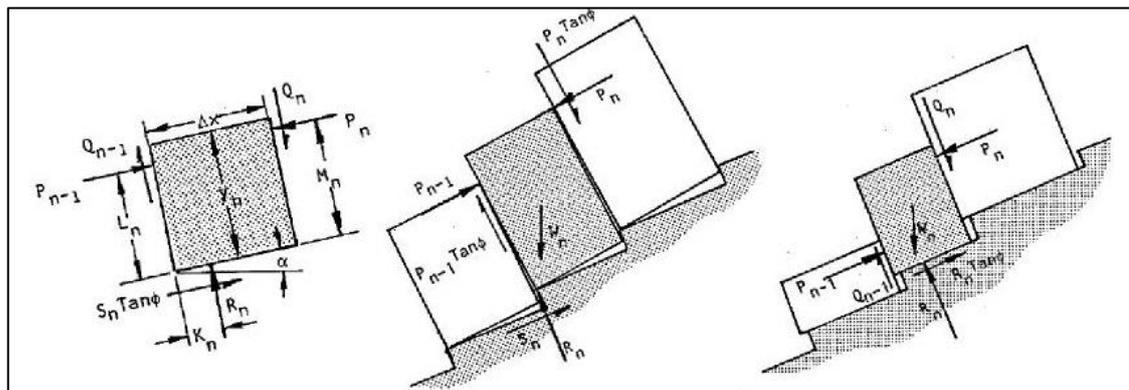


Figura 28. Condiciones de equilibrio límite para vuelco y deslizamiento

Nota: Condiciones de diagramas correspondientes; (a). Fuerza que actúa en el bloque, (b). Vuelco de bloque, (c). Deslizamiento de bloque (Hoek & Bray, 1991).

El análisis de equilibrio límite por vuelco está por la siguiente fórmula:

$$P_{n-1} = \frac{P_n(M_n - \Delta x \tan \varphi) + \left(\frac{W_n}{2}\right)(\gamma_n \text{sen} \alpha - \text{sen} \alpha)}{L_n}$$

El deslizamiento de bloques por vuelco está dado por la siguiente fórmula:

$$P_{n-1} = P_n \frac{W_n(\tan \varphi \cos \alpha - \text{sen} \alpha)(\gamma_n \text{sen} \alpha - \text{sen} \alpha)}{1 - \tan^2 \varphi}$$

2.11 CONDICIONES SISMICAS PARA ESTABILIDAD DE TALUD

Dentro del territorio peruano se han establecido diversas zonas, las cuales presentan diferentes características de acuerdo a la mayor o menor presencia de los sismos. Esta sismicidad es principalmente producto de la subducción de la placa de Nazca debajo de la placa Continental a lo largo de la costa peruana. De acuerdo a Bolaños y Monroy (2004), en el mapa de la Figura 29. Se puede observar que para el área en estudio, los autores Bolaños y Monroy (2004), proponen una aceleración máxima de 0.33g.

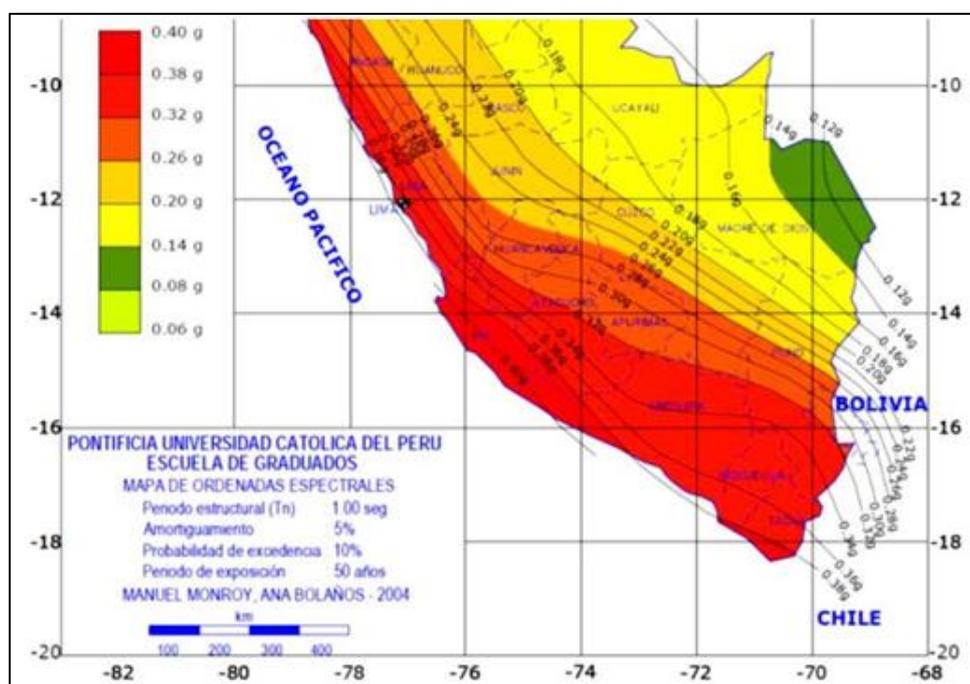


Figura 29. Distribución de ordenadas espectrales para el Perú (Bolaños & Monroy, 2004).

Recomienda que el coeficiente sísmico a ser considerado en el análisis en la condición pseudoestática de diseño de taludes, sea obtenido como una fracción que varía entre 1/2 a 1/3 de la máxima aceleración esperada.

Por lo tanto, para los análisis pseudoestático en la presente investigación, usaremos un coeficiente sísmico de 1/3 de la aceleración máxima que corresponde a $C = 0.1$.



2.12 DEFINICIONES CONCEPTUALES

2.12.1 Macizo rocoso

En el área de in situ se encuentra conjunto de bloques de matriz rocosa y de la discontinuidad de diversos tipos que afectan al macizo rocoso. Mecánicamente los macizos rocosos son medios discontinuos, anisotropía y heterogeneidad (Ramírez & Alejano, 2007).

2.12.2 Matriz Rocosa

Es el material rocoso exento de discontinuidad, o los bloques de “roca intacta” que quedan entre ellas. La matriz rocosa, a pesar de considerarse continua, presenta un comportamiento heterogéneo y anisótropo ligado a su fábrica y a su microestructura mineral. Mecánicamente queda caracterizada por su peso específico, resistencia y Deformabilidad (Arzúa & Alejano, 2016).

2.12.3 Discontinuidad

Es cualquier plano de origen mecánico o sedimentario que independiza o separa los bloques de matriz rocosa en un macizo rocoso. Generalmente la resistencia a la tracción de los planos de discontinuidad es muy baja o nula. Su comportamiento mecánico queda caracterizado por su resistencia al corte o, en su caso, por la del material de relleno (González, 2002).

2.12.4 Orientación

La orientación relativa y el espaciado de las diferentes familias de un macizo rocoso definen la forma de los bloques que conforman el macizo. La orientación de las discontinuidades con respecto a las estructuras (González, 2006).

2.12.5 Meteorización

La evaluación de meteorización del macizo rocoso se realiza por observación directa en el afloramiento y comparación con los índices estándares. En ocasiones puede ser necesario fragmentar un trozo de roca para observar la meteorización de la matriz rocosa (González, 2002).

2.12.6 Alteración

La alteración si bien de manera general establece que el daño que provoca el explosivo sobre el macizo rocoso se traduce en una disminución de sus propiedades mecánicas resistente, es importante hacer una distinción acorde con los efectos que percibimos tras realizar la voladura (Hudson & Harrison, 2000).

2.12.7 Factor de seguridad

El factor de Seguridad es empleado por los Ingenieros para conocer cuál es el factor de amenaza de que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. Fellenius (1927) presentó el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla. en (Ramírez & Alejano, 2007), (Bieniawski, 1989).

Tabla 18. Factor de seguridad

SIGNIFICACIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD
Inseguro	1.0
Seguridad dudosa	1.0 – 1.2
Satisfactorio para cortes	1.3 – 1.4
Seguro para taludes	>1.5

Fuente: Mecánica de Suelos y Cimentaciones (George y Sowers).



CAPÍTULO III

MÉTODOS Y MATERIALES

3.1 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación es descriptivo explicativo, en razón a que persigue la hipótesis planteada, y a su vez se realizara experimentos en la zona de estudio, el tema de investigación que se efectúa corresponde en la determinación de zonas del proyecto de investigación, es el riesgo de fallamiento de taludes y correspondiente a cortes de vía utilizando métodos de deslizamiento y rotura del terreno de la geotecnia , que se utilizara el método descriptivo en cuanto al fenómeno de fallamiento pero para la determinación de la siniestralidad y la posible determinación del factor de seguridad se explicara a través de los métodos de modelos de simulación correspondiente.

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

I. Equipo de Protección Personal (EPP)

Los equipos de protección personal, constituyen uno de los conceptos más básicos en cuanto a la seguridad en el lugar de trabajo en la carretera Sina - Yanahuaya sea proporcionado máximo confort y peso debe ser el mínimo compatible con la eficiencia en la protección y debe ser construidos de acuerdo con las normas indicadas. Como para:

Protección de la cabeza, protección de ojos y cara, guantes, zapato de seguridad punta acero, tapón de oído, pantalón adecuado y camisa manga larga y chaleco naranja.



II. Libreta de campo

Representa un magnífica herramienta de supervivencia, por lo cual nunca se debe ir a explorar sin ella. Desde el punto de vista geológico, que permite apuntar las observaciones apuntadas de interés de investigación en la zona de estudio, nos ayuda investigar con más detalle.

III. Tablero de apuntes

Material que permite registrar caracterizaciones, mapeos para realizar las diagramas de la zona de estudio y otros.

IV. Lápiz de dureza

Lapicero con punta de carburo de tungsteno para estimar la dureza relativa de los minerales; además consta de un imán permanente para establecer minerales magnéticos. Es utilizado para estimar dureza de rocas o cualquier superficie dura.

V. Martillo del geólogo

El martillo geológico es otra herramienta muy importante para nosotros porque nos sirve para estimar la resistencia de la roca y así verlas sin ningún tipo de alteración superficial, lo que llamamos la roca fresca. El martillo geológico no es cualquier martillo, ya que debe ser de cabeza ancha y con punta. Eso sí, es muy importante que cuando lo usemos para golpear nos protegamos bien de las esquirlas que puedan saltar, motivo por el que muchas veces los geólogos llevamos gafas, sean transparente u oscura.



VI. Cinta métrica

Un flexómetro es un material de medida que consiste en una cinta flexible con ella se pueden medir líneas y superficies curvas y para medir potencia de bloque de discontinuidades, fracturas de macizo rocoso In Situ.

VII. Cinta metálica de 100 m

Material de medición, Podemos considerarlas herramientas manuales de uso indispensable, ya que se necesitan en todo momento para mediciones de gran longitud y para el mapeo lineal en la carretera.

VIII. Lupa

La lupa es una pequeña lente de aumento con la que podamos ver mejor la roca en detalle, ya que en muchos casos los minerales presentes tienen diminutos tamaños y para identificarlos necesitamos de esta herramienta.

IX. GPS Garmin

El GPSMAP 64s se utilizó en el área de investigación. Es un GPS portátil optimizado para exteriores. Este dispositivo está diseñado para funcionar con confiabilidad en las condiciones más extremas y desafiantes. Para garantizar una excelente capacidad de lectura bajo cualquier tipo de condiciones, el GPSMAP 64s posee una pantalla de colores brillantes de 2,6" que puede leerse a la luz del sol y un receptor de alta sensibilidad de GPS Y GLONASS, junto con una antena de cuatro hélices para ofrecer una recepción superior. El GPSMAP 64S es sólido y resistente al agua e incluye un altímetro y en ambientes poco firmes, fríos o húmedos, ya que utiliza una interfaz de usuario con botones. Para garantizar la mayor comodidad y libertad en exteriores, el sistema de batería doble permite utilizar un paquete de baterías para cargarlas en el



dispositivo o baterías AA convencionales. Con su carga completa, el GPSMAP 64s dura hasta 16 horas, tiempo de reserva suficiente en caso de que se produzca un retraso inesperado durante una salida.

- Pantalla de color de 2,6" que puede leerse a la luz del sol
- Receptor GPS y GLONASS de alta sensibilidad, con antena de cuatro hélices
- Altimetro barométrico y brújula electrónica de tres ejes.
- Sistema de batería doble optimizado para exteriores.
- Conectividad inalámbrica mediante la tecnología Bluetooth o ANT+

X. Softwares Especializados

Rocplane 2.0 es un método rápido, interactivo. Herramienta de análisis para evaluar la posibilidad de modo de falla planar, falla por deslizamiento en pendientes rocosas.

El análisis de Rocplane es Un análisis 2D. La vista 2D puede mostrar longitudes y ángulos del modelo, así como tablas de resultados de análisis y datos de entrada de la carretera Sina - Yanahuaya.

Swedge 4.0 es un método rápido, interactivo. Herramienta de análisis para evaluar la posibilidad de modo de falla cuña, falla por deslizamiento de un bloque en forma de cuña, formado por dos planos de discontinuidad, a favor de su línea de intersección.

El análisis de Swedge 4.0 análisis 2D. La vista 2D puede mostrar longitudes, ángulos y planos de fallas, así como tablas de resultados de análisis y datos de entrada de la carretera Sina - Yanahuaya.



XI. Computadora o laptop

Es un equipo que sirvió para realizar la investigación de tesis, desde inicio hasta el final de la investigación de tesis, de la carretera Sina – Yanahuaya.

XII. Brújula Brunton

La brújula modelo Brunton es un instrumento básico en Ingeniería Geológica y extremadamente usado para determinar el rumbo y Dirección de buzamiento de los estratos, fallas y diaclasas e inclinación de estructuras geológicas.

XIII. Cámara fotográfica

Para la investigación se ha utilizado cámara fotográfica DSLR EOS Rebel SL2, se presenta como una alternativa poderosa, pequeña y liviana. Cuenta con características especiales para quienes recién debutan en el tema de la fotografía y saben que con la cámara de un smartphone no podrán desenvolverse creativamente con libertad. Entre sus principales características, la DSLR EOS Rebel SL2 tiene la característica.

- Pantalla táctil LCD de 3.0” de ángulo variable
- Tecnología integrada Wi-Fi, NFC y Bluetooth
- Alta definición real (Full HD) de 60p y entrada de micrófono externo Procesador de imagen DIGIC 7, ISO 100–25600
- Cuerpo compacto y liviano.

3.3 SERVICIOS DURANTE LA INVESTIGACIÓN

- Transporte (Alquiler de Camioneta)
- Impresiones



- Alimentos (4 raciones/ día)
- Ambientes
- Energía
- Herramientas.

Los trabajos del proceso constructivo de la carretera de apertura lo realiza el Gobierno Regional por Administración directa; el suscrito participa en los trabajos de geología y geotécnica.

3.4 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

En el trabajo de investigación que se realiza mediante un análisis cuantitativo del grado de fracturamiento del macizo rocoso y descriptivo de los parámetros geomecánicos, que comprometen la estabilidad del macizo rocoso en las que consideran las siguientes etapas:

3.4.1 Etapa I gabinete

Etapa de recopilación y análisis de información de geología, geotécnica y estabilidad de taludes; información existente sobre el área de estudio como expedientes técnicos que realizaron y algunos estudios por INGEMMET carta geológica 29y, Boletín de Sandia y San Ignacio A 82, luego la selección y evaluación de información existente; geológica, de mecánica de rocas y cartográfica de la zona.

Con la información de diversas bibliografías se obtuvo que existe diferentes métodos de estabilidad de los taludes, consideramos mencionar que estos son muy variados y que en la actualidad no existe una uniformidad en las denominaciones de estos



métodos de análisis, para mejor conocimiento hemos definido e interpretado algunos métodos.

3.4.2 Etapa II trabajos en campo

Fase en la que se desarrollan; visitas in situ, reconocimiento de la zona, inspección, exploración; mapeo geológicos y caracterización del macizo rocoso para obtener los parámetros geomecánicos correspondientes.

- Toma de muestras para la resistencia de compresión uniaxial y compresión triaxial
- Zonificación y clasificación del macizo rocoso utilizando el sistema RMR y RQD.

3.4.3 Etapa III trabajo en laboratorio

Las muestras obtenidas de diferentes puntos de extracción se llevan a la Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingenierías de Minas, laboratorio de Geomecánica de Rocas, para la realización de los ensayos correspondientes como, resistencia a la compresión uniaxial y compresión triaxial realización de testigos para aplicar a los esfuerzos compresiones, Procesamiento, interpretación de los resultados obtenidos de la información en las excavaciones de los cortes de taludes y correlación con estructuras que afloran en las proximidades de la apertura de la carretera.

Correlación de datos obtenidos, de los parámetros geomecánicos de las estaciones zonificadas; de acuerdo a lo que sugieren Bieniawski y Barton, utilizando resultados obtenidos con equipos de campo y software geotécnicos (DIPS). Redacción del informe de la tesis.



3.4.4 Etapa IV procesamiento de datos en gabinete II

El procesamiento de datos obtenidos en el área de estudio de investigación y los resultados de laboratorio, caracterización geológica y caracterización de geotécnico.

CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1 PLANO DE UBICACIÓN Y LUGAR DE ESTUDIO

La zona de estudios se encuentra ubicada en la Región de Puno, Provincia de Sandía, Distrito Yanahuaya; comunidad Purumpata; dista de la comunidad de Purumpata camino de trocha hasta cierta parte y luego camino de herradura; coordenadas UTM;

Tabla 19. Delimitación del área de investigación

PUNTOS	COORDENADAS UTM	
	ESTE	NORTE
1	475397	8419517
2	475381	8419496
3	475376	8419414
4	475400	8419373

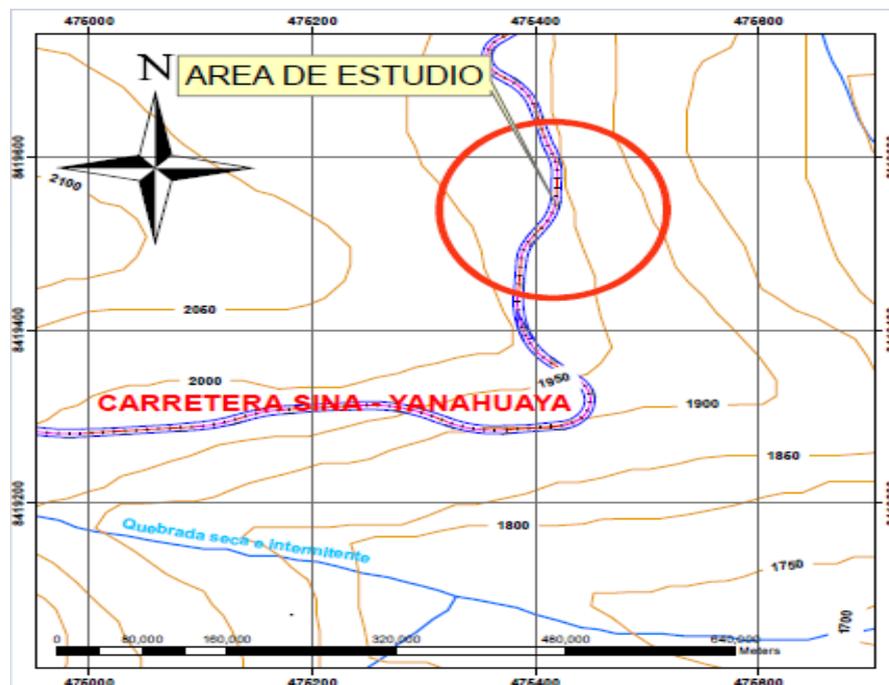


Figura 30. Plano de ubicación

4.1.1 Extensión

La zona de construcción de la carretera tiene una extensión de 56Km. Desde el Distrito de Yanahuaya a Distrito de Sina; de los cuales el tramo de evaluación para la estabilidad de taludes en macizo rocoso es de 120m lineal con pendientes fuertes y elevadas denominada Cueva de Oso, que corresponde al tramo 03 de la carreta Sina - Yanahuaya.

4.1.2 Accesibilidad

Para llegar a la zona de trabajo de la construcción de la Carretera Sina – Yanahuaya tramo 03, denominada Cueva de Oso; se tiene el siguiente cuadro.

Tabla 20. Accesibilidad al área de estudio

Desde	Hasta	Dist (Km.)	Tiempo de (hrs)	Tipo de vía	Frecuencia	Servicio Transporte
Puno	Juliaca	45.00	1.00	Asfaltada	Horaria	Bus, camioneta
Juliaca	Putina	90.00	1.30	Asfaltada	Horaria	Bus, camioneta
Putina	Yanahuaya	208.8	7.30	T. S.	Horaria	Bus, camioneta
Yanahuaya	Purumpata	10.00	0.40	Trocha carrosable	Diaria	Camioneta
Purumpata	Zona de estudio	0.800	0.30	Trocha carrosable	No	No

4.1.3 Aspecto climático

Comprende el aspecto climático entre 1.980 y 2.100 m.s.n.m., la dispersión de las temperaturas es moderada, debido a los efectos de exposición, de topografía y de distancia sobre el nivel del mar.

4.1.4 Temperatura

La temperatura varía entre 9 °C a 23 °C y rara vez baja menos de 7 °C o sube a más de 26 °C.



4.1.5 Precipitación

Las precipitaciones pluviales son muy variadas, en los meses de mayo, junio, julio agosto, setiembre, octubre y noviembre, los meses son más calorosos. Es lluvioso durante los meses de diciembre, enero, febrero, marzo a veces hasta abril.

La distribución de la lluvia a lo largo del año, permite identificar fácilmente los meses de máximas precipitaciones que son los meses de diciembre, enero, febrero, y marzo; y los meses de mínima precipitación durante el invierno (meses de mayo, junio, julio y agosto).



CAPÍTULO V

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 EVALUACIÓN Y CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO

En el tramo Km. 18+060 al Km. 18+180 de la carretera, se realiza la evaluación geomecánica del macizo rocoso en afloramiento, se toman en cuenta los factores que se deben describir “in situ” como son: Identificación, meteorización o alteración y resistencia a compresión simple y compresión triaxial, el macizo rocoso se encuentra aflorando en la formación Purumpata es roca pizarra, Las características de resistencia y deformación de los macizos rocosos, dependen fundamentalmente de las características que presentan las discontinuidades estructurales.

Muestra N° 01

Tipo de roca: Roca Pizarra

Clase de la muestra: Roca metamórfica silicificada.

Color de roca: Gris oscuro

Minerales: Cuarzo, Clorita, Biotita, Sericita y Pirita

Tamaño de granos: Afanítica

Textura de la Roca: Foliada de grano muy fino

Características: Roca bien cristalizada de cuarzo, exfoliación laminar, fractura astillosa, color gris oscuro.

Origen: Metamórfico.



5.1.1 Evaluación geomecánica del macizo rocoso

5.1.1.1 Identificación del sistema de discontinuidades

Para la identificación del sistema de discontinuidades dominantes, se realizó el mapeo correspondiente de los planos de fracturamiento en el tramo de estudio. Para la caracterización de todos los parámetros geomecánicos, de las familias de discontinuidades que llegan a deformar a la matriz rocosa del macizo rocoso, se procede la toma de datos de juntas, dirección y orientación de los planos de rotura en formato adjunto en anexo, y otras características de las discontinuidades; valores que sirven para clasificar el dominio estructural, a la que está sometido el macizo.

La identificación de las discontinuidades en la evaluación del comportamiento y la estabilidad de los parámetros geomecánicos; que dependerá únicamente de los parámetros físicos y su comportamiento mecánico de pizarra. La descripción detallada de las características de las discontinuidades se observan en los registros lineales correspondientes, para cada estación geotécnica zonificada (ver anexo 3).

5.1.1.2 Orientación e inclinación

La orientación de estructuras o sistemas de discontinuidades, son datos que se han obtenido en el mapeo geomecánica o registro lineal; por familias de discontinuidades, de control de buzamiento y dirección de buzamiento; para determinar si los planos de juntas son favorables o desfavorables.

Los valores obtenidos de buzamiento y dirección de buzamiento, se presenta en Anexo 4: va determinar las familias de discontinuidades correspondientes.

Tabla 21. Descripción de buzamiento y Dir/Buzamiento, obtenido de estereograma

N° Familia	Buzamiento	Dir/buzamiento
Familia 1	31	035
Familia 2	69	193
Familia 3	71	022

5.1.1.3 Resistencia a la compresión simple (UCS)

La resistencia a la compresión simple de las paredes de las discontinuidades, depende del tipo de matriz rocosa, de la existencia del tipo de relleno, del grado de alteración de las paredes de las juntas; estas condiciones influyen en la resistencia al corte y en la deformabilidad del plano de discontinuidad, sobre todo si no presenta relleno. La resistencia de los planos de discontinuidades viene dada por el criterio de ruptura de Mohr – Coulomb, y se determina en el ensayo de resistencia al corte en probetas talladas, de tal forma que la ruptura se produzca a favor del plano de discontinuidad. Utilizando las correlaciones corresponden a valores que varían entre 31.59 - 68.40Mpa, de resistencia en pizarra, en las zonas alteradas con tendencia a mejorar en profundidad; debido a que, allí no están expuestas al proceso de meteorización por escorrentía de superficie.

Los resultados obtenidos de los Ensayos De Compresión Simple realizados en el laboratorio de Geotecnia y mecánica de rocas – Facultad de Ingeniería de Minas – UNA – Puno, se muestra en el Anexo 8.

Tabla 22. Resultados de la compresión simple

Parámetros estadísticos	UCS (MPa)
Valor máximo, MAX	68.40
Valor mínimo, MIN	31.59
Mediana, MED	38.24
Valor promedio, MEAN	46.08
Desviación estándar, SDEV	19.62
Coefficiente de variación, CV	1.51
Numero de resultados	3

De los cuales sean obtenidos un valor promedio de la resistencia a la compresión simple un promedio de 38.24 MPa. Este resultado representara roca moderadamente dura.

5.1.1.4 Ensayo compresión triaxial

Los valores obtenidos del laboratorio de Geotecnia y mecánica de rocas – Facultad de Ingeniería de Minas – UNA – Puno, tenemos lo siguiente, ensayo a Compresión Triaxial 46.08MPa, GIS 100, Angulo de fricción interna 42.98 y cohesión 10.15. Para ver a más detalle ver el anexo 8.

Tabla 23. Resultado del ensayo compresión triaxial

σ_{ci} (MPa)	GSI	mi	ϕ (°)	cohesión (MPa)
46.08	100	6	42.98	10.15

Al realizar los ensayos de Compresión Simple (USC) y Compresión Triaxial, se obtiene los siguientes resultados:

Tabla 24. Descripción de la resistencia de la roca sana

N° de Familias	Descripción	Resistencia a Compresión Uniaxial y Triaxial (MPa)	Valoración
Familia 1			
Familia 2	Moderadamente dura	25 – 50	4
Familia 3			

Los valores de tres familias principales son obtenidos del análisis estereográfico, con el programa Dips y se presenta en el Anexo 4.

5.1.1.5 Índice de calidad de roca

El índice de calidad de roca, en superficie de afloramiento de pizarras y a lo largo del desarrollo de la carretera de acceso; ha sido considerado la toma de datos del índice

de la calidad roca; sobre todo en los cortes de taludes ejecutadas en Km. 18+060 al 18+180, se ha evaluado, mediante un análisis de una ecuación diferencial; en vista que el grado de fracturamiento es medido por metro lineal, en los afloramientos de la matriz rocosa.

Entonces calculamos para el índice de roca teniendo en cuenta la siguiente formula propuesto por Priest y Hodsson 1979.

$$RQD = 115 - 3.3J_v \text{ para } J_v > 4.5$$

$$RQD = 100 \text{ para } J_v \leq 4.5$$

J_v : número de juntas identificadas en el macizo rocoso por m³

El J_v se obtiene anexo o cuadro de caracterizaciones del macizo rocoso también midiendo en el campo las fracturas en metro lineal es de 12.6

Reemplazando a la formula propuesto:

$$RQD = 115 - 3.3 * 12.6$$

$$RQD = 73.42$$

Este resultado lo sometemos en la Tabla 14 luego finalmente obtenemos el índice de calidad de roca, según propuesta por Deere 1969:

Tabla 25. Descripción de calidad de roca

N° de Familias	Índice de calidad RQD (%)	Calidad	Valoración
Familia 1			
Familia 2	50 – 75	Regular	13
Familia 3			

5.1.1.6 Espaciamiento de las discontinuidades

Consiste en la medida de la distancia entre las juntas o familias de discontinuidades que se realizaron con una cinta métrica de 3 metros, en una longitud horizontal suficientemente representativa de las frecuencias de discontinuidades, se tiene en el cuadro 3, el promedio de las 3 familias.

Tabla 26. Descripción del espaciamiento de las discontinuidades

N° de Familias	Descripción	Espaciado de las juntas	Tipo de macizo rocoso	Valoración
Familia 1				
Familia 2	Moderadamente juntas	200 – 600 mm	En bloque	10
Familia 3				

Los principales sistemas de discontinuidades dominantes en los cortes de taludes se encuentran distanciadas entre 200 – 600 mm junta; tramo que ha sido considerado zona de alto riesgo, por las condiciones hidrogeológicas y presencia de grandes flujos de agua en precipitaciones pluviales como mes de diciembre a marzo; que tienden a desplazarse hacia el interior de la quebrada. Además los principales sistemas de discontinuidades han generado una gran cuña y plana inestable en la zona; a consecuencia de la intersección de los tres principales sistemas

En la tabla 25, vemos que las discontinuidades, pertenece a la descripción del espaciamiento, moderadamente juntas, por lo tanto se considera que el macizo rocoso está en bloque o fracturado con una valoración de 10, la caracterización adjunto en el anexo 3.

5.1.1.7 Abertura de las caras de la discontinuidad

La abertura es la distancia que separa las paredes de una discontinuidad abierta, donde el espacio es rellenado por aire, agua o roca triturada. Las aberturas en el afloramiento del macizo no siempre continúan con las mismas características en profundidad, estas han sido evaluadas en el proceso constructivo del talud, en su gran mayoría están rellenos con productos de alteración de la descomposición del hierro en la fracturas se presenta con óxidos de hierro.

Las medidas de abertura se realizan con una regla graduada en milímetros. La descripción se realiza según la valoración de la Tabla 4. En donde la descripción de abertura es moderadamente abierta y la separación de juntas es variable de 1 a 5mm, por lo tanto tiene una valoración 1 como se observa en la tabla 27.

Tabla 27. Descripción de la apertura de las discontinuidades

N° de Familias	Descripción	Apertura	Valoración
Familia 1			
Familia 2	Moderadamente abierta	1 – 5 mm	1
Familia 3			

5.1.1.8 Continuidades o Persistencia de la discontinuidad

La continuidad o persistencia de las juntas, es uno de los parámetros de mayor importancia en el comportamiento de los macizos, para su estabilidad y el tiempo máximo de auto sostenimiento; que presta un talud natural y excavaciones.

Las medidas de la continuidad se realizan con una cinta métrica, es medido según a la dirección del plano y según su buzamiento. Para ello utilizamos la Tabla 5, continuidad o persistencia de la discontinuidad.

Tabla 28. Descripción de la continuidad o persistencia

N° de Familias	Descripción	Continuidad o Persistencia	Valoración
Familia 1			
Familia 2	Baja	1 – 3 m	4
Familia 3			

Caracterizando en el campo obtenemos un valor promedio de 4 significa que es discontinuidad baja los tamaños de persistencia esta entre 1 – 3m lineales, entonces la roca es regularmente estable.

5.1.1.9 JRC (Joint Roughness Coefficient)

Se considera los diferentes valores de JRC, Obtenidos por el mapeo lineal en el campo, los valores de JRC, que son los valores desde lisa con valoración 3, hasta muy rugosa con la valoración más alta igual a 20.

En el sitio de estudios se obtiene los valores de JRC, utilizado el diagrama de Barton, para tener el resultado final se saca el promedio de las 4 familias como se muestra en la tabla 28.

Tabla 29. Descripción de JRC (Joint Roughness Coefficient)

N° de Familias	Descripción	Parámetro	Valoración
Familia 1			
Familia 2	Ondulada	2 – 6	1
Familia 3			

5.1.1.10 Rugosidad de las discontinuidades

Uno de los parámetros de la rugosidad es, la aspereza de una superficie de la discontinuidad, que se encuentra en área de estudio, que permite evaluar el plano de ruptura, para el comportamiento mecánico de la resistencia al corte; es de suma importancia en las excavaciones de talud; los planos de las discontinuidades presentan rugosidad lisa, no garantiza el auto- sostenimiento, durante el proceso de excavación; por lo tanto, se ha evaluado los planos de discontinuidades

La tabla 29, presenta el resultado final de las 3 familias con rugosidad lisa.

Tabla 30. Descripción de rugosidad

N° de Familias	Descripción	JRC	Valoración
Familia 1			
Familia 2		4 – 6	1
Familia 3			

Fuente: Clasificación geomecánica RMR, Bieniawski y Barton.

5.1.1.11 Relleno de las discontinuidades

Las discontinuidades aparecen rellenas de un material óxido de hierro de naturaleza distinta a la roca de las paredes. “In situ”, se encuentra materiales blandos arcillosos, limo, cuarcitas óxidos de hierro o en la mayoría de los casos se encuentran roca triturada entre los planos, de las juntas de la roca. Muchos de estos materiales son producto de la descomposición de la roca y algunos con alteraciones de roca intacta, a consecuencia de la fricción o desplazamiento que sufren los planos de las discontinuidades, cuando están afectos a movimientos de distensión o compresión.

La roca metamórfica pizarra en la zona de estudio presenta con materiales de relleno, con propiedades físicas y mecánicas, característicos de arcillas, óxidos, arcillas expansivas, en los tramos en donde el macizo rocoso se encuentra con una alteración de las discontinuidades ligeramente alterada que formar suelo residual. Mientras en profundidad estas características pueden continuar como también pueden mejorar poco a mucho; muchas de ellos son lixiviadas por las constantes precipitaciones de la Lluvias.

Se da valor según las dimensiones que presenta las fracturas rellenas de los bloques de rocas, en ese entender la caracterización del campo nos da un promedio < 5mm significa relleno blando con una valoración de 2.

Tabla 31. Descripción de relleno

N° de Familias	Descripción Relleno	Valoración
Familia 1		
Familia 2	Relleno Blando < 5 mm	2
Familia 3		

5.1.1.12 Meteorización o alteración

Las rocas sufren alteraciones por la presencia de precipitaciones fluviales y climáticas como sol, viento, aguas y otros.

En la zona de estudio, la evaluación de grado de alteración o meteorización del macizo rocoso se realiza por observación directamente en el afloramiento y comparación con los índices estándares recogidos en el Tabla 10.

Tabla 32. Descripción de grado de meteorización del macizo rocoso

N° de Familias	Grado de Meteorización	Descripción Meteorización	Valoración
Familia 1			
Familia 2	IV	Ligeramente alterada	5
Familia 3			

Calculamos por la tabla 31 alteraciones de las discontinuidades que pertenece al grado de meteorización IV, cuya valoración es de 5, la roca es ligeramente alterada en la zona de estudio.

5.1.1.13 Agua en discontinuidades

El agua en el interior de un macizo rocoso procede generalmente del flujo que circula por las discontinuidades (permeabilidad secundaria), aunque en ciertas rocas permeables las filtraciones a través de la matriz rocosa (permeabilidad primaria) pueden ser también importantes.

Tabla 33. Descripción agua en discontinuidad

N° de Familias	Descripción Aguas en discontinuidad	Valoración
Familia 1		
Familia 2	Ligeramente Húmedo	10
Familia 3		

En la zona de estudio se tiene dos estaciones bien determinadas, temporada de estiaje es ligeramente húmedo y la temporada de avenidas húmedo.

I. **Peso específico**

Los valores de peso específico 29 KN/m^3 , se obtiene de anteriores estudios realizados y también de los Prontuarios de Ingeniería Civil.

II. **Angulo de fricción básica**

El valor del ángulo de fricción interna se determinó con el ensayo de Compresión Triaxial, teniendo como resultado 42.98° , obtenido en el Laboratorio de Geotecnia y mecánica de rocas – Facultad de Ingeniería de Minas – UNA - Puno.

III. Cohesión

Para la cohesión se realizó ensayo de Compresión Triaxial, como resultado se tiene 10.15 MPa, obtenido en el Laboratorio de Geotecnia y mecánica de rocas – Facultad de Ingeniería de Minas – UNA - Puno.

IV. Factor de seguridad

El factor de seguridad de un bloque de roca o masa de roca, contra falla es la llamada estabilidad, esencialmente influye la gravedad en el peso del roca y las infiltraciones de agua, que son las fuerzas generadoras que tienden a producir la falla, mientras que la resistencia al esfuerzo cortante, está determinado por los parámetros geomecánicos, que son las fuerzas resistentes a la inestabilidad.

Los resultados del laboratorio corresponden a los valores cohesión 10.15MPa, el ángulo de fricción 42.98° , USC 38.24, RQD 73.42 , mi 6 y el peso específico 29 kN/m³ recopilada de anteriores estudios y del prontuarios de Ing. civil; significa que la partículas de las rocas tiene una cohesión regular. Las rocas pizarras presentan una calidad regular, por eso que se recurrió al programa, (software rocplane v. 2.0); obtuvimos el factores de seguridad que es 1.0 son taludes inestables en todo el tramo de evaluación.

Tabla 34. Condición estática de factor seguridad

N° de Familias	Significación	Factor de seguridad
Familia 1		
Familia 2	Inseguros	1.0
Familia 3		

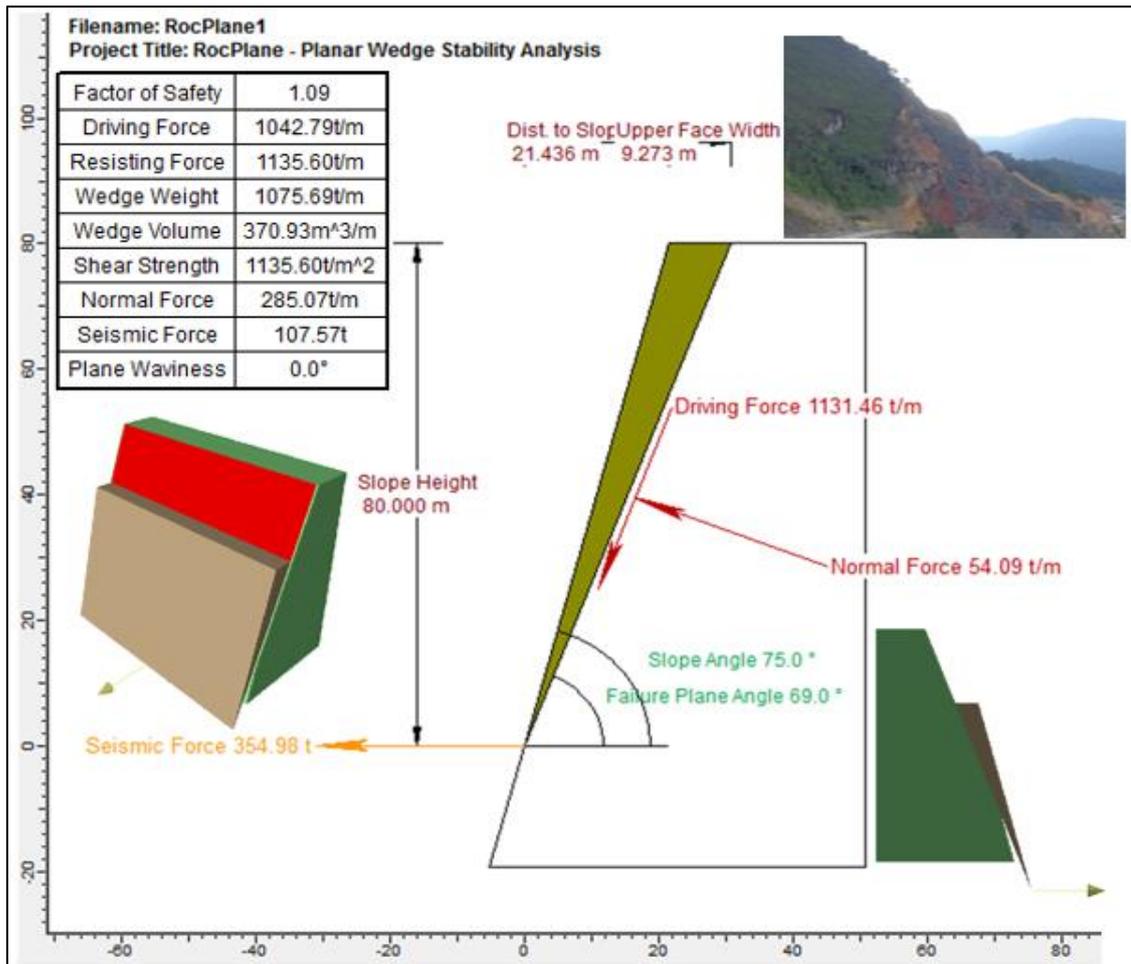


Figura 31. Descripción de factor de seguridad mediante RockPlane

5.2 CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO

La clasificación geomecánica del macizo rocoso se realizó para cada uno de los tramos, a partir de mapeo lineal realizado in situ, de las cuales se obtuvieron el índice RQD, los valores de las clasificaciones RMR, GSI. (Ver Tablas 24, 34, 35 y 36)

5.2.1 Clasificación RMR (Bieniawshi)

Para el cálculo de RMR se ha considerado resistencia a la compresión simple, índice de la calidad de roca RQD, espaciamento de las discontinuidades, estado de las discontinuidades, flujo de agua en las juntas y la orientación de las discontinuidades, son estados de las discontinuidades primordiales.



Para el cálculo final del RMR, sumar todas las valoraciones o parámetros anteriores, es decir:

$RMR = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + B = 53$, la cual expresamos en el siguiente cuadro:

Tabla 35. Descripción de índice de calidad de roca

Parámetros	Descripción	VALORES
A1	Resistencia a la compresión simple	4
A2	Índice de la calidad de roca RQD	13
A3	Espaciamiento de las discontinuidades	10
A4	Estado de las discontinuidades	13
A5	Flujo de agua en las juntas	10
B	Orientaciones de las discontinuidades	-5
TOTAL	RMR	45

Fuente: Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989).

Para la clasificación de macizo rocoso se utiliza la tabla 19, lo cual se tiene el cuadro detallado a continuación.

Tabla 36. Clasificación de macizo rocoso

N° de Familias	Clase	Calidad	Parámetros
Familia 1			
Familia 2	III	Regular	60 – 41
Familia 3			

Fuente. Clasificación geomecánica RMR, considerando Bieniawski.

Tabla 37. Parámetro de clasificación RMR

Parámetros		ESCALA DE VALORES				
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Carga Puntual	> 10	10 - 4	4 - 2	2 - 1	Compresión simple (MPa)
	A compresión simple	> 250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25 - 5 5 - 1 < 1
Puntuación		15	12	7	4	2 1 0
RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%
Puntuación		20	17	13	6	3
Separación entre diaclasas		> 2 m	0.6 - 2 m	0.2 - 0.6 m	0.06 - 0.2 m	< 0.006 m
Puntuación		20	15	10	8	5
Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20m	> 20 m
	Puntuación	6	4	2	1	0
	Abertura	Ninguno	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
	Puntuación	6	5	3	1	0
	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Lisa	Suave
	Puntuación	6	5	3	1	0
	Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5mm	Relleno blando > 5 mm
	Puntuación	6	4	2	2	0
	Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
	Puntuación	6	5	3	1	0
Agua freático	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 Litros/min	10 - 25 litros/min	25 - 125 Litros/min	> 125 Litros/min
	Relación: Presión de gua/Tensión principal mayor	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5
	Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo
	Puntuación	15	10	7	4	0

Fuente: Clasificación geomecánica RMR, (Bieniawski.1989).

Ajustes la orientación de las discontinuidades						
Orientación del rumbo y Buzamiento	Muy favorables	Favorables	Regulares	Desfavorables	Muy favorables	
Puntaje	Túneles	0	-2	- 5	- 10	- 12
	Cimentaciones	0	-2	- 7	- 15	- 25
	Taludes	0	-5	-25	-50	- 60

Fuente: Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989).

Tipos de macizos rocosos determinados a partir de la evaluación total					
Puntuación	100 ← 81	80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	< 20
Tipo de Roca	I	II	III	IV	V
Descripción	Muy buena	Buena	Regular	Mala	Muy mala

Fuente: Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989).

Significado de los tipos de roca					
Tipo de roca	I	II	III	IV	V
Tiempo medio de sostén	20 años, claro de 15 m	1 año, claro de 10 m	1 semana, claro de 5 m	10 horas, claro de 2.5 m	30 min, claro de 1 m
Cohesión del macizo rocoso (kPa)	>400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	<100
Angulo de fricción del macizo rocoso (°)	>45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	<15

Fuente: Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989).

Para la clasificación geomecánica se determinó en laboratorio e in situ, por el método de Bieniawski (1989); es roca de tipo III con calidad regular, considerando los parámetros geomecánica como la Compresión uniaxial y Triaxial del macizo rocoso, Índice de calidad de roca RQD, Espaciamiento de las discontinuidades, condiciones de las discontinuidades, abertura de las caras de la discontinuidad, continuidad o persistencia de la discontinuidad, rugosidad de las discontinuidades, Alteración de las discontinuidades, relleno de las discontinuidades, presencia del agua y Orientación de las discontinuidades.

5.2.1.1 Clasificación con el GSI

Los resultados de los valores de GSI son obtenidos In situ = 44, de la correlación de RMR, se muestra en el Anexo 3.

Tabla 38. Clasificación de GSI

N° de Familias	Estructura (RQD 50 – 75%)	Condiciones del frente 60 – 50	GSI
Familia 1			
Familia 2	13	44	BI/M
Familia 3			

Significa que GSI entonces es Bloque Irregulares (BI); Media (M)

5.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD

La investigación in situ para taludes, tiene como propósito de reconocer Geológica y Geotécnicamente el área de estudio afectada por excavación, con el fin de obtener los parámetros necesarios, para realizar la estabilidad, diseñar los taludes.

Los análisis de estabilidad se aplica al diseño de taludes o cuando estos presentan problemas de inestabilidad. Para ello se elige un coeficiente de seguridad adecuado,



dependiendo de la finalidad de la excavación y del carácter temporal de talud de acuerdo al avance de la carretera, en el presente investigación obtenemos el factor de seguridad de talud es de 1.0 este factor es inseguro o inestable.

5.3.1 Método empírico

Para los métodos empíricos los cuadros y ábacos nos ayudaron a tener una idea clara de la situación de estabilidad en la que se encuentra el talud, en muchos casos aproximándose a la realidad. Sin embargo el método empírico RMR determino de manera cuantitativa la estabilidad de los taludes, mencionando también el modo de falla que éste implicaba, planar, cuña y vuelco.

El Método estereográfico o cinemático nos ayudó a identificar los modos de falla más recurrentes en el talud, los cuales fueron en cuña y vuelco, estos fueron utilizados posteriormente por el métodos de equilibrio límite o analítico en la selección de un software especializado. Para así realizar el modelamiento y análisis de estabilidad incluyendo parámetros geométricos y geotécnicos en el análisis.

El método equilibrio límite o analítico es utilizado generalmente cuando se tienen inestabilidades con control estructural definido, este método se aplica muy bien ya que considera los parámetros de resistencia de las discontinuidades, altura del talud, ángulo de talud, orientación de talud y de las discontinuidad principales. Por lo cual los factores de seguridad dados por estos análisis definen la estabilidad o inestabilidad.

5.3.2 Método estereográfico o cinemático

También se considera de suma importancia el análisis cinemático para determinar el diagrama de polos, diagrama de familias, juntas y discontinuidades, diagrama de planos

mayores y modos de fallas cinemáticamente admisible lo cual utilizaremos el programa Dips y así obtener los sistemas de discontinuidades encontrados en la zona de estudio.

Realizar el análisis de estabilidad estereográfico o cinemático es de suma importancia ya que éste nos ayuda a la identificación de los modos de falla más recurrentes, nos da una idea o como puede deslizarse los bloques que se forman producto a las discontinuidades.

Para el análisis estereográfico para cada uno de los modos de falla es de distinta manera, se generan zonas de inestabilidad sombreadas generalmente de color rojo, en el estereograma se encuentran polos en el interior y fuera de las zonas de inestabilidad, estos pueden ser polos de discontinuidad o polos de intersección de planos de discontinuidades según sea en modo de falla estudiado. Es así que los resultados de estos análisis son expresados en porcentajes y cada una de las formas de análisis según sea el modo de falla estudiado se detalla en la siguiente Tabla 38.

Tabla 39. Descripción de fallas estructurales de estereogramas (total) de software Dips v.6.0.

Fallas estructurales de esteograma de software Dips v 6.0	Valores
Número de datos total	84
Familias de discontinuidades principales 01 (Dip/DipDir)	31/035
Familias de discontinuidades principales 02 (Dip/DipDir)	69/193
Familias de discontinuidades principales 03 (Dip/DipDir)	71/022
Altura de talud (m)	80
Pendiente del talud (°)	75
Dirección de buzamiento del talud (Dip/Dip/Dir)	193
Ángulo de fricción (°)	30



5.3.2.1 Ruptura planar

La identificación de un posible modo de falla planar en cada talud de análisis, se realizó con las proyecciones estereográficas por métodos cinemáticos con el Software Dips v.6.0, tipos de falla planar; considerando restricciones de límites laterales de 20° , deslizamiento planar total.

El análisis por el método cinemático para este tipo de falla planar con límites laterales de 20° , se presenta en el Anexo 4. Del cual se realizó para cada tramo, la zona más crítica es la de polos que se encuentran sombreadas de color rojo, lo cual representa la probabilidad de falla en porcentajes el modo de falla.

Los resultados obtenidos al realizar este tipo de análisis deben de ser tomados con mucho criterio, ya que necesariamente deberán de ser un fiel reflejo de la realidad en el campo, en la figura 23 se observa el análisis cinemático, para el modo de falla planar es cinemáticamente admisible, los parámetros que se considera para el modo de falla plana es el cono de Fricción y esta generado por la familia J2, en esta figura nos indica que el tipo de falla plana se encuentra dentro de la zona crítica entonces quiere decir que puede caer pero no estamos seguros porque falta analizar el factor de seguridad en el tramo de estudio.

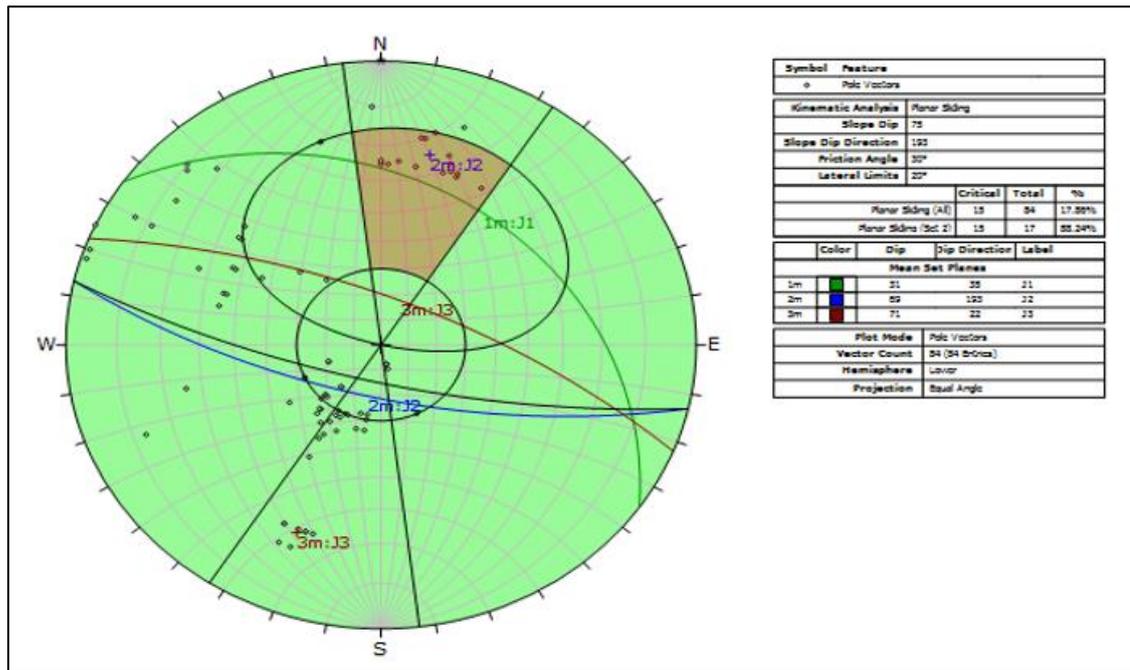


Figura 32. Análisis cinemático por modo de falla planar de la progresiva 18+060 al 18+180. En Dips

5.3.2.2 Ruptura en cuña

Para el análisis de modos de falla por cuña, el software Dips v.6.0 genera los planos de cada uno de los polos ploteados y posteriormente identificar las intersecciones formadas entre planos del estereograma, para considerarlos puntos de intersección, como observamos en la representación estereográfica del Anexo 4. Se encuentran de color rojo y esta representa la zona crítica donde pueden ocurrir modos de falla por cuña,

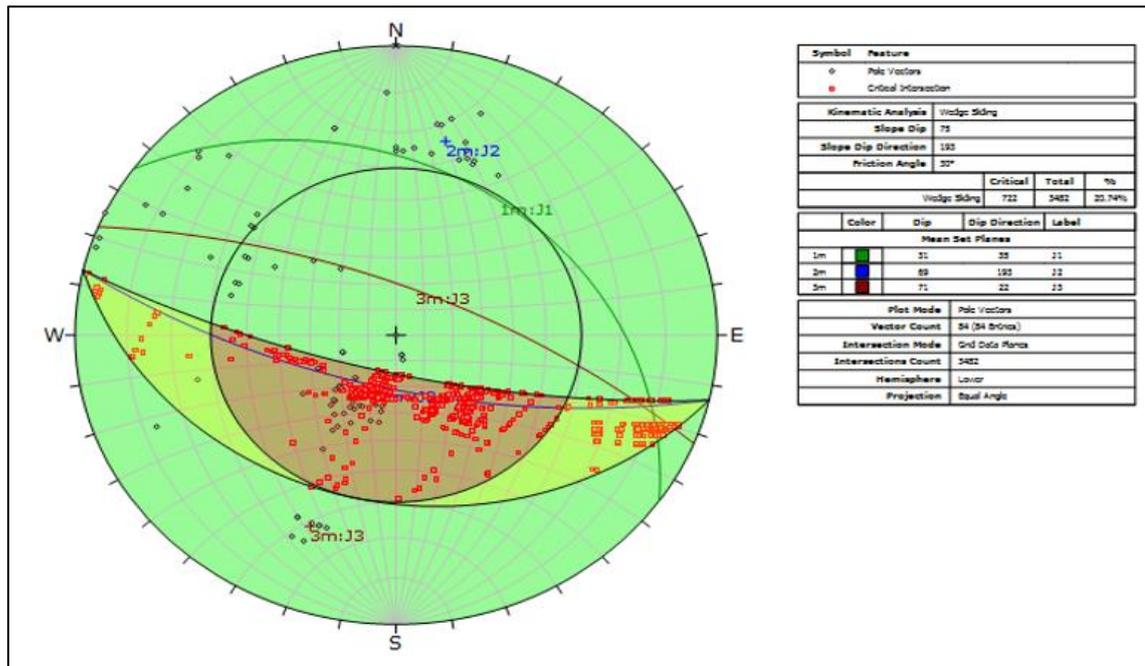


Figura 33. Análisis Cinemático de tipo de falla por Cuña km 18+060 al 18+180. En Dips

En la figura 24. Se realiza el análisis cinemático para obtener el modo de falla cinemáticamente presta las condiciones para que pueda fallar de tipo cuña y en el grafico la falla de cuña no se encuentra en la zona critica formadas por el plano de discontinuidad J1 y J2 entonces el talud es estable.

Según los datos del mapeo geológico levantadas en las EG-84, se observa en el estereograma, composita la presencia de 03 familias principales (J1, J2 y J3), cuyas orientaciones de promedio son:

J1: 31/035

J2: 69/193

J3: 71/022

5.3.2.3 Ruptura en vuelco

El análisis estereográfico para este modo de falla se presenta en el Anexo 4. El cual expresa, que el total de polos plateados, en el estereograma es igual a 84 de los cuales la familia de J3 se encuentra en la zona crítica sombreada de color rojo, entonces diremos que un porcentaje de bloques presentes en el talud podría fallar por este modo.

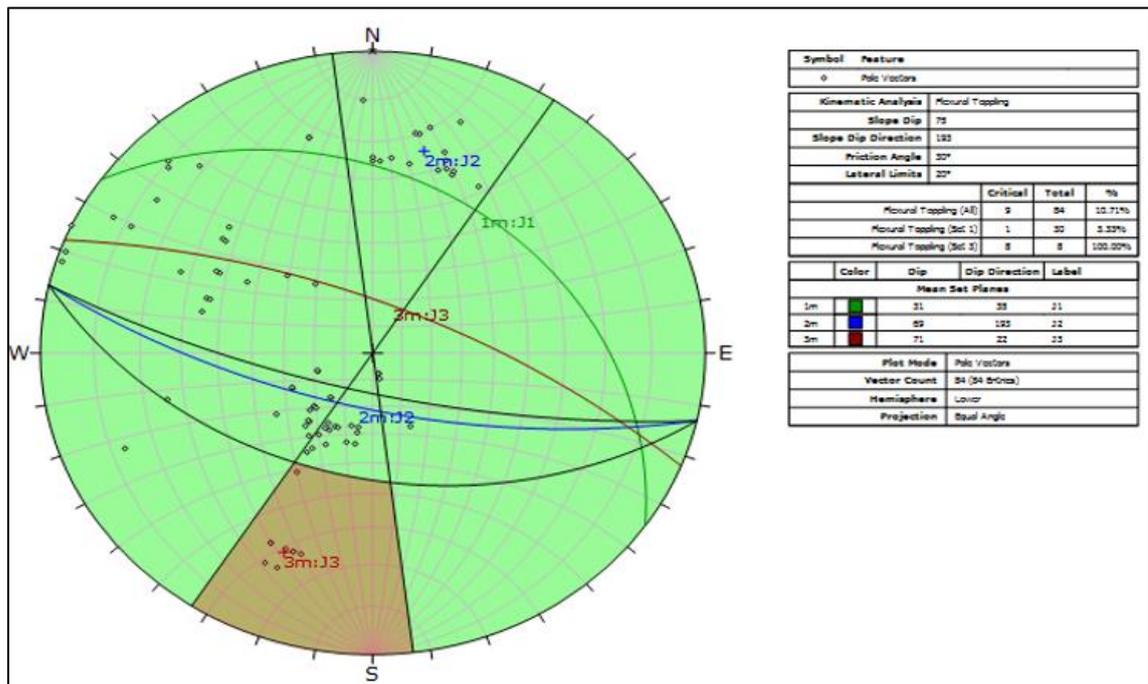


Figura 34. Análisis Cinemático de tipo de falla por Vuelco km 18+060 al 18+180. En Dips

5.3.2.4 Ruptura por vuelco directo

Tomando en consideración los puntos de intersección de planos ploteados, para un modo de falla por vuelco directo tenemos la familia de J1, se encuentran en la zona crítica, como podemos ver en el anexo 4.

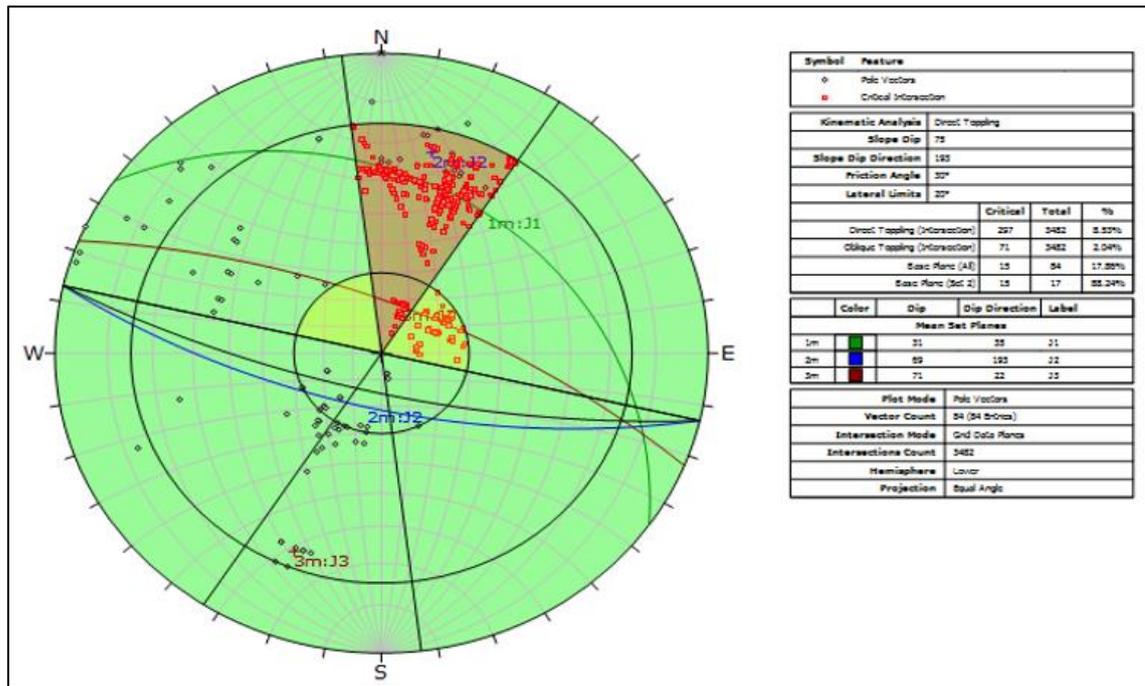


Figura 35. Análisis cinemático de tipo de falla por vuelco directo km 18+060 al 18+180. En Dips

5.3.3 Método equilibrio limite o analítico

Para la investigación estos métodos de análisis son utilizados generalmente en los análisis de estabilidad en roca estructuralmente controlada, es decir la estabilidad del talud es controlada por la resistencia que ofrecen las estructuras, es así que calculamos los valores de resistencia para cada uno de las familias de discontinuidades tomando en consideración el criterio de resistencia de Barton.

De manera muy separada se realizó un análisis de estabilidad para el modo de falla planar, con la ayuda del software RocPlane v.2.0, teniendo en consideración los datos que se presentan en el Anexo 4.

5.3.4 Método de análisis de estabilidad con software, Rockplane

En el área de investigación “in situ”, se está realizando la excavación sin ningún tipo de diseño geométrico de talud, de tal manera se trabaja con alto riesgo, con el



movimiento sísmico o con la vibración de las máquinas se puede desprender las rocas y esto puede generar accidentes, para ello con la investigación planteamos el diseño de talud para la excavación de rocas.

En la actualidad en el área de estudio se emplea nuevo diseño geométricos para taludes teniendo en cuenta los factores condicionantes y resultados de estudio geotécnico, habiendo recurrido al apoyo del programa Rocplane 2.0, sobre estabilidad de taludes, que es aplicable para estructuras controladas.

Los resultados de laboratorio representan las propiedades físicas y mecánicas, con resultados de la roca con un ángulo de fricción (42.98°), la roca es de tipo III regular roca pizarra.

5.4 UTILIDADES DE LOS RESULTADOS

Se plantea, in situ, el estudio de la carretera, con un diseño geotécnico de manera responsable y así prevenir los riesgos que se pueden ocasionar, esta apertura de la carretera.

La carreta beneficiará a la población de Putina Punco, San Juan de Oro, Yanahuaya, Sina y las poblaciones aledañas al proyecto, en las exportaciones de frutas desde el valle de tambopata.

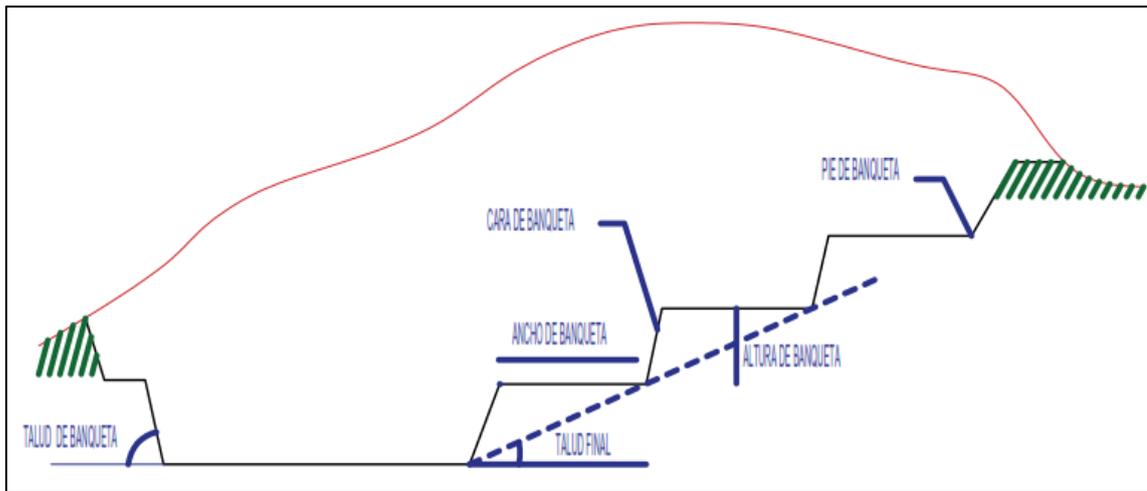


Figura 36. Criterio para el diseño de excavación

Altura de banqueta: tiene una medida 15m de altura de banqueta según el diseño corregida y basándonos a las norma técnicas de manual de carreteras (DG – 2018) tabla 23.

Ancho de la banqueta: tiene una medida de 3m el mínimo, considerando las normas técnicas de la carretera (DG – 2018).

Angulo de la banqueta: para el trabajo en roca regular un Angulo de talud entre 60° - 70° , también dependerá en función de dos factores. Tipo de material.

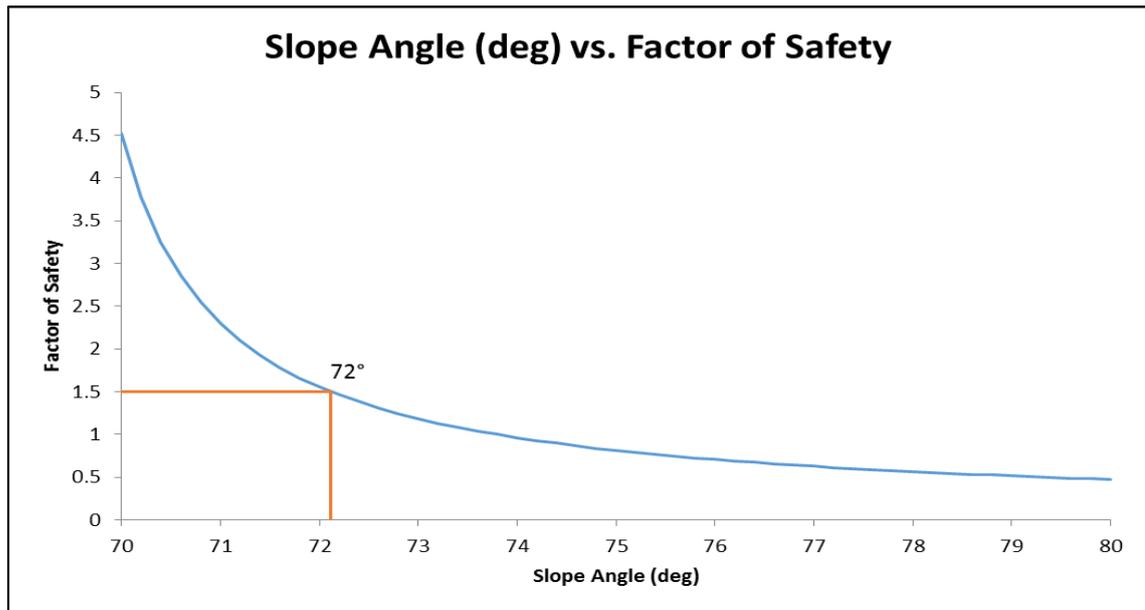


Figura 37. Angulo de buzamiento corregido para el talud del estudio

Tabla 40. Dimensiones recomendados para la construcción de banquetas

Altura de banqueta (m)	Ancho de la banqueta (m)	Angulo de la banqueta (m)
15	3	<72°

Fuente: DG-2018.

a. Medio ambientales

A continuación se detalla el proceso del medio ambiente durante la apertura de la carretera.

Tabla 41. Manejo, disposición y preservación de capa vegetal y suelo

OBJETIVO	Realizar una adecuada remoción del material orgánico, cobertura vegetal y posterior almacenamiento, con el fin de conservar sus características físico químicas, para su posterior utilización en el proceso de cultivos.
IMPACTO	Retiro y deposición del material orgánico, causando alteraciones en arbustos.
LUGAR	Área de excavación en carretera.
ACCIONES A DESARROLLAR	<ul style="list-style-type: none"> • Excavación y limpieza del material orgánico • Transportar del material orgánico para los cultivos. • Extender el suelo uniformemente.



VI. CONCLUSIONES

- En el área de investigación, la clasificación geomecánica según Bieniawski (1979) son: $RQD = 73.42$, $UCS = 38.24$, $RMR = 45$, $GSI = 44$, datos que son analizados in situ, utilizando los criterios para evaluar La superficie del afloramiento de roca.
- La calidad del macizo rocoso en los taludes de la carretera Sina – Yanahuaya progresiva Km. 18+060 al 18+180, según Bieniawski (1979). Determinan que la calidad de la roca es regular, clase o tipo de roca III, $RMR = 45$, evaluadas en función del comportamiento de los parámetros geomecánicos del macizo rocoso de roca pizarra.
- En las secciones de estabilidad de taludes, se concluye que por análisis cinemático, se obtiene el modo de falla planar a través de un plano de discontinuidad que es J2 con una orientación promedio de 69/193, que se encuentra en la zona crítica, para ello calculamos el factor de seguridad utilizando el programa Rocplane versión 2.0 y se tiene un resultado $FS = 1.0$, significa que el talud es inseguro o inestable en la carretera Sina – Yanahuaya y presenta alto riesgo.
- En área de estudio, afloran rocas metamórficas de la Formación Purumpata, está conformado por rocas pizarras con foliación laminar y pertenece serie Llanvirniano, sistema Ordoviciano, Era Paleozoico.



VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda construcción de zanjas de coronación antes de iniciar el corte del talud con un fin de que no ocurra infiltración y saturación del terreno.
- Para la carretera Sina Yanahuaya se debe diseñar los taludes de corte con criterios técnicos y modelamiento de software para la excavación de la apertura.
- Se recomienda realizar los cortes de taludes de forma descendente para evitar accidentes fatales.
- Se recomienda utilizar la maquina martillo neumático para perforaciones y voladura de rocas controladas.



VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Arzúa, J. y Alejano, L. (2016). *Mecanica de rocas. fundamentos e ingenieria de taludes*.
España: Bubok Publishing S.L.
- Barton, N. (2013). *Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. England: Taibah
University.
- Bieniawski, Z. T. (1979). *Ingeineering Rock Mass Classifications*. New York: John. Wile
& Sons.
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Ingeineering Rock Mass Classifications*. New York: John. Wile
& Sons.
- Bieniawski, Z. T. (2014). *Ingeineering Rock Mass Classifications*. Ingeopres. New York:
John. Wile & Sons.
- Boloños, L. (2004). *Distribucion de ordenadas Espectrales para el Peru*.
- Boñon, L. (2000). *Manual de Carrteras*. Volumen II: Contruccion y Mantenimiento.
España
- De Matteis, A. (2003). *Estabilidad de Taludea*. Santa Fe, Argentina: Universidad
Nacional de Rosario.
- Diaz, S. J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Colombia:
Bucaramanga.
- Diseño Geometrico – DG (2018). *Ministerio de Transporte y Comunicaciones*. Lima –
Perú.



- Geoge, B. y Sowers (2014). *Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones*. (3ra ed.). México.
- González, L. I. (2002). *Ingeniería Geológica*. (2da ed.). Madrid, España: Person Education.
- González, L. I. (2006). *Ingeniería Geológica*. (C. O. Luis I. González de Vallejo, Mercedes Ferrer, Luis Ortuño, Ed.). MADRID.
- Goodman, R. E. (1989). *Introduction to Rock Mechanics* (2da ed.). Canada: John. Wile & Sons.
- Giani, G. P. (1992). *Rock Slope Stability Analysis*. USA - Canada: Press, CRC.
- Eberhardt, E. (2003). *Rock Slope Stability Analysis*. University of British Canada: Vancouver.
- Flores, R. (2003). *Efecto del flujo de agua en la estabilidad de Talud*. Madrid.
- Herrera, J. H. (2000). *Diseño de explotaciones de cantera*. Madrid, España.
- Hoek, E. y Bray, J. W. (1991). *Rock Slope Engineering*. (4ta ed.). New York: Elsevier Science Publishing.
- Hoek, E. (2000). *Rock Engineering*. Canada: North Vancouver, B.C.
- Hudson, J. A. y Harrison, J. P. (2000). *Engineering Rock Mechanics an Introduction to the Principles*. London: Pergamon.
- INGEMMET. (1993). *Estudio Integrado del Sur Boletín 42 de la Cordillera Oriental*. Lima, Perú.



- INGEMMET. (1996). *Mapa geologico del cuadrangulo de Sandia y San Ignacio (29 y-29 Z)*. Lima, Perú.
- Kliche, C. A. (1999). *Rock Slope Stability*. (3ra ed.). United States of America: Shaffer Parkway.
- Moller, O. W. (2011). *Analisis de estabilidad de taludes mediante tecnicas de optimizacion*. Universidad Nacional de Rosario. Argentina.
- Muelas, F. (2005). *Geologia estructural del neogeno en la cordillera negra, implicancias en el origen y estabilidad de taludes del yacimiento aurifero epiterminal*. Lima, Perú.
- Ramírez, O. P. y Alejano, M. L. (2007). *Mecánica de rocas : Fundamentos e ingeniería de taludes*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Ramírez, O. P., De La Cuadra, L.I., L. H. R. y G. O. E. (2007). *Mecánica de rocas aplicada a la minería*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Read, E. y Stacey, P. (2009). *Guidelines For Open Pit Slope Design*. Australia: Adrienne de Kretser, Rigting Wriring.
- Sjöberg, J. (1996). *Analysis Of Scale Slope Stability In Open Pit Mining*. Noruega: Tekniska Högskolan I Lulea.
- Suárez, L. O., B. (2013). *Decripcion del macizo rocoso introducción a la ingeniería de rocas de superficie y subterránea*. (2da ed.). Medillín.
- Sobarzo, V. y Villalobos. (2011). *Estudio de la estabilidad de taludes en roca meteorizada*.
- Terzaghi (1979). *Modelo emperico para la clasificacion del macizo rocoso*.

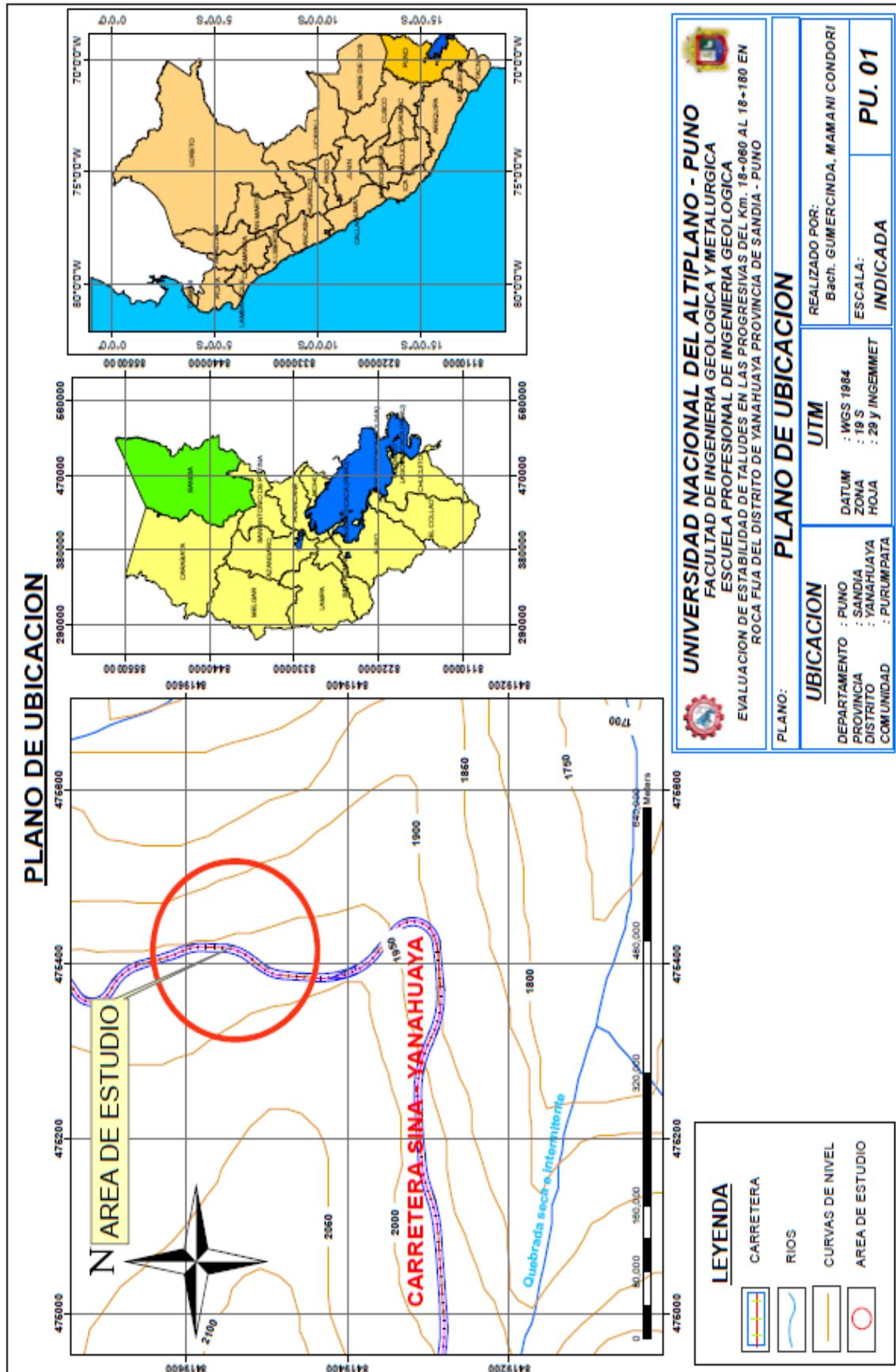


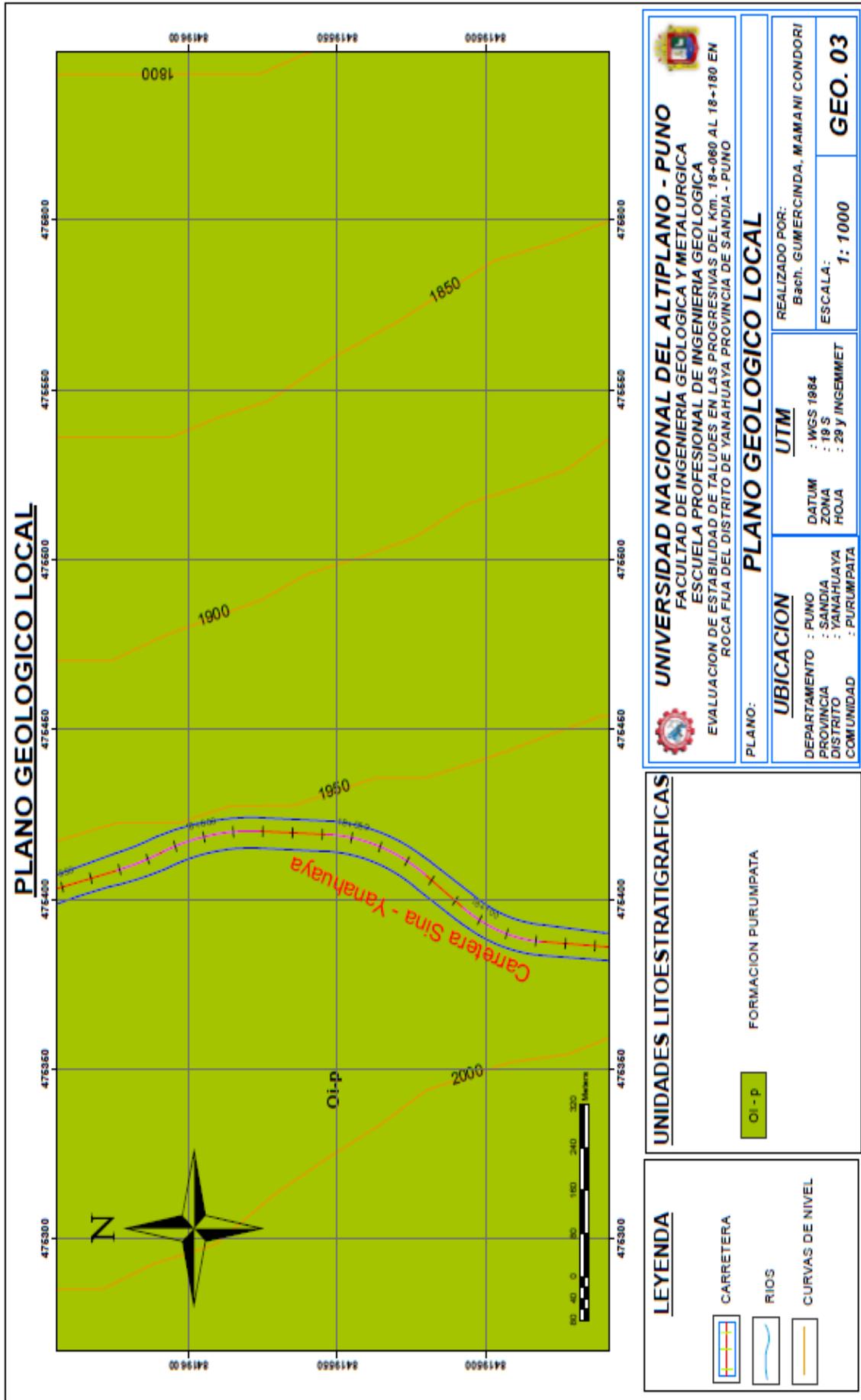
Wyllie, D. C. y Mah, C. W. (2004). *Rock Slope Engineering*. (4ta ed.). New York: Taylor
and Francis Group.

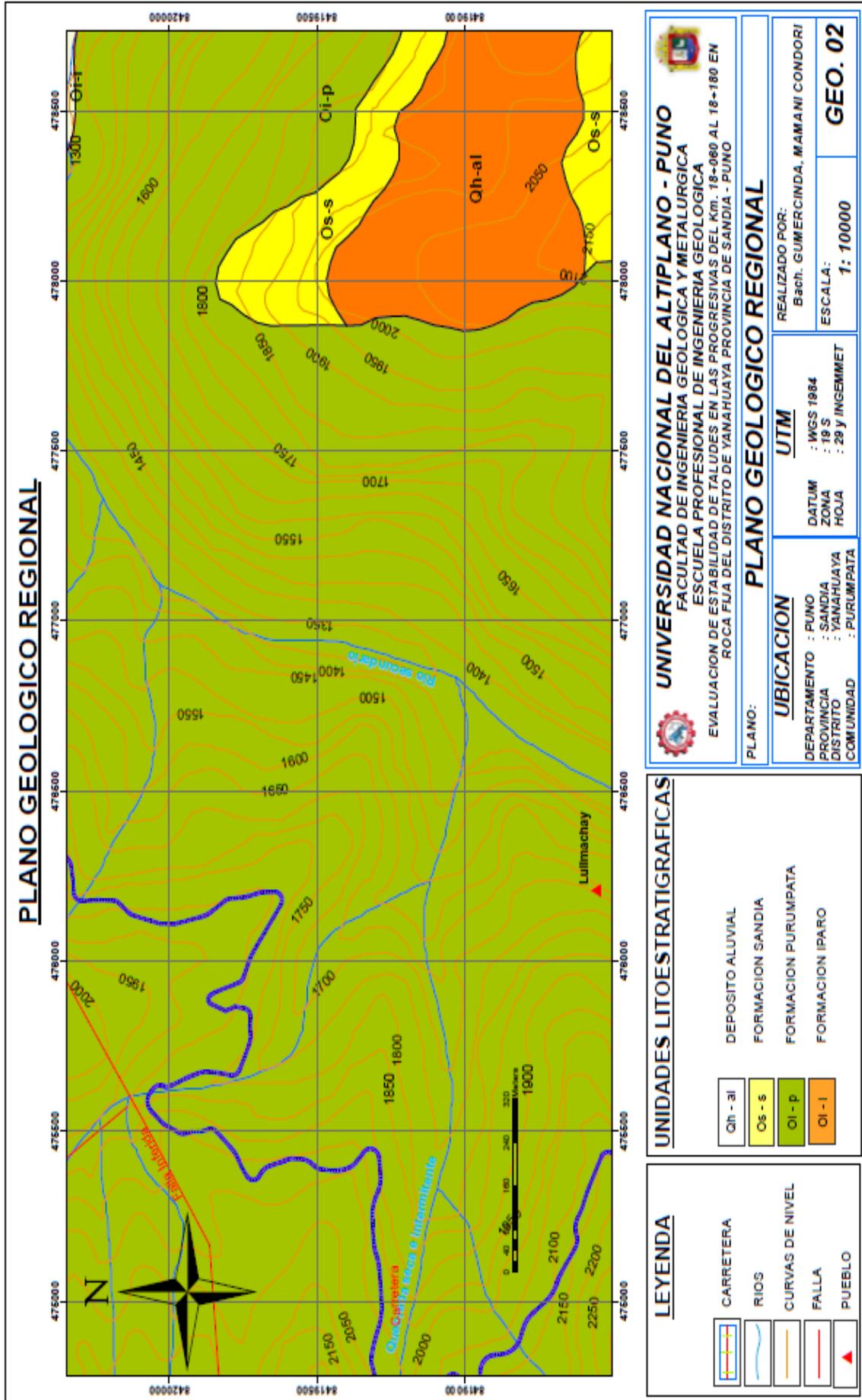


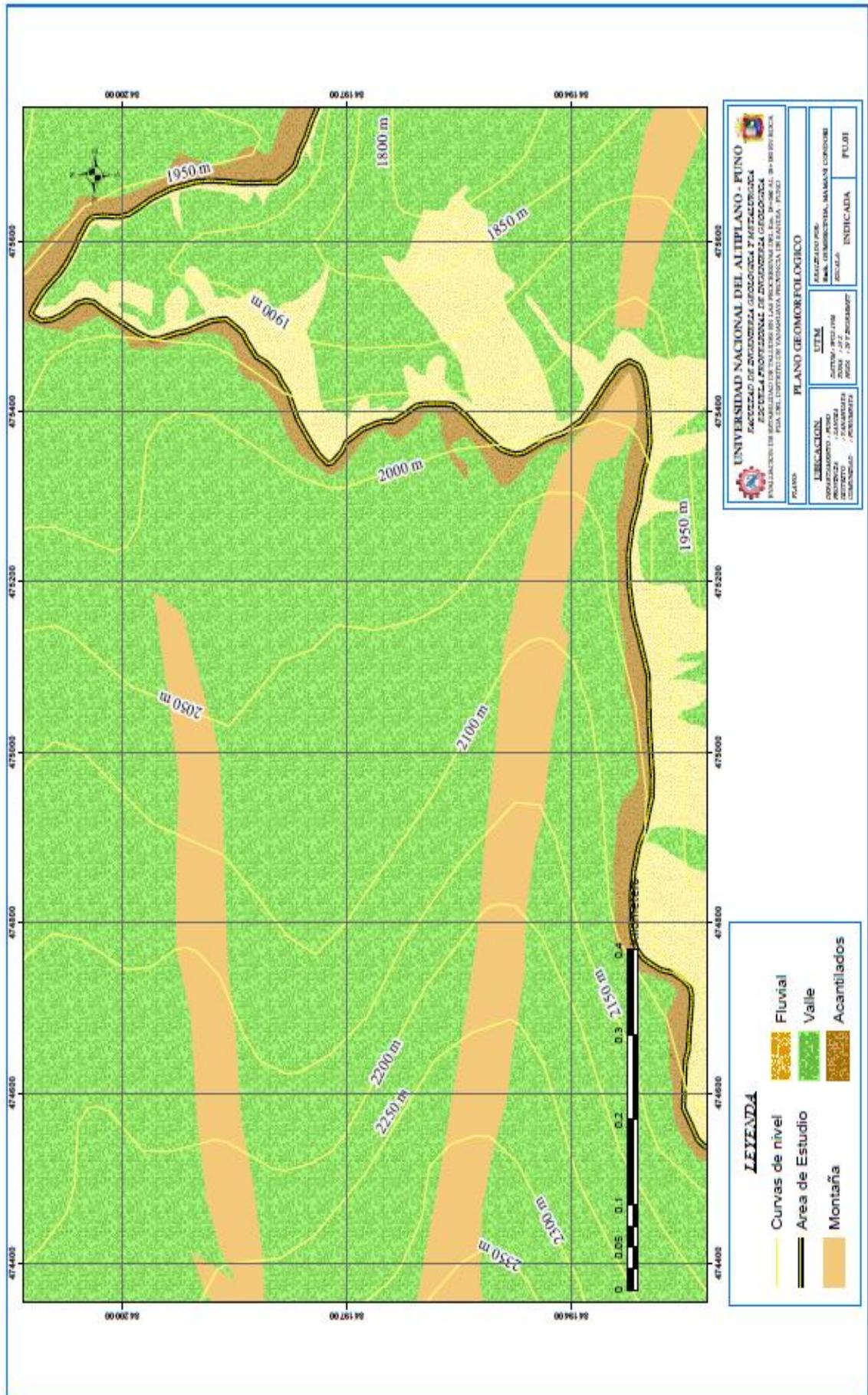
ANEXOS

Anexo 1. Planos











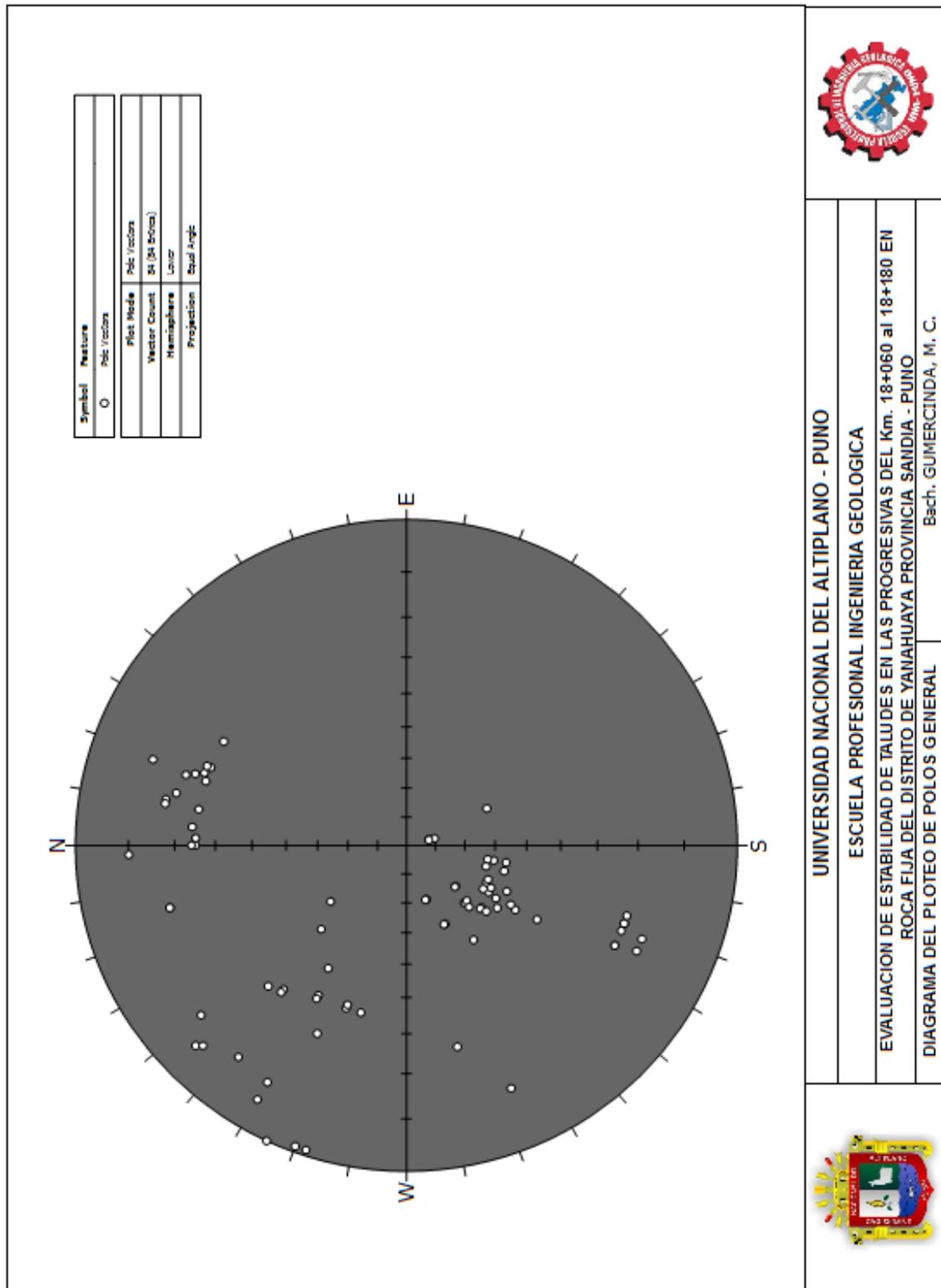
Anexo 2. Toma de actitudes

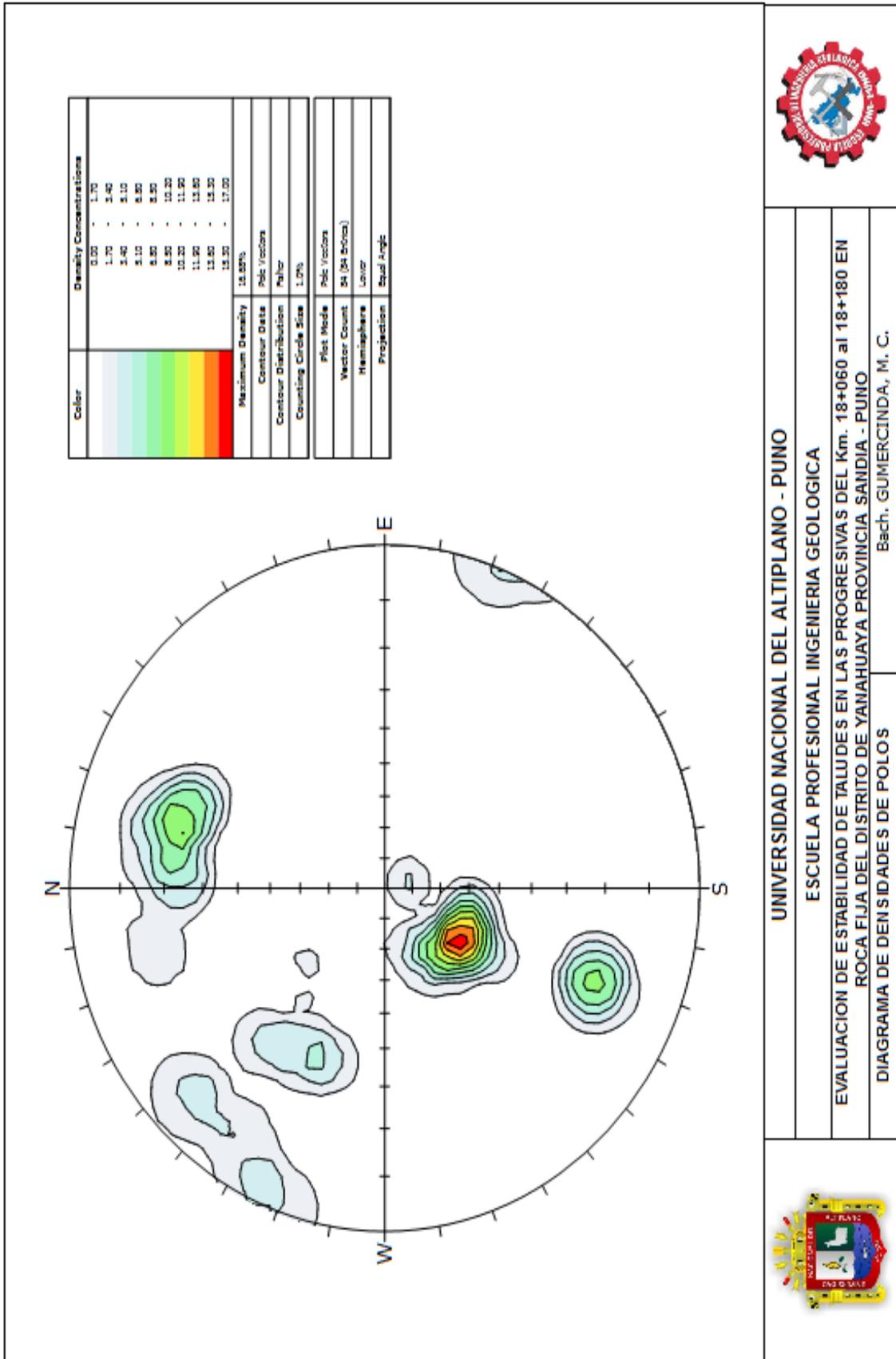
N°	BUZAMIENTO	DIR. BUZAMIENTO	N°	BUZAMIENTO	DIR. BUZAMIENTO
1	32	30	43	73	165
2	30	25	44	33	41
3	20	70	45	32	143
4	80	178	46	66	202
5	28	45	47	78	199
6	78	140	48	78	67
7	73	165	49	30	65
8	70	20	50	30	335
9	30	10	51	71	193
10	56	120	52	42	31
11	60	130	53	65	76
12	30	64	54	70	198
13	66	200	55	49	30
14	33	40	56	68	199
15	65	115	57	57	120
16	34	15	58	37	35
17	22	40	59	61	130
18	65	180	60	65	198
19	66	185	61	8	345
20	89	108	62	62	134
21	28	45	63	70	18
22	80	120	64	28	10
23	73	191	65	70	22
24	32	27	66	30	30
25	30	23	67	83	136
26	20	71	68	56	110
27	84	120	69	35	31
28	37	25	70	70	26
29	40	135	71	10	346
30	22	41	72	8	346
31	48	122	73	65	190
32	28	43	74	28	15
33	79	128	75	40	30
34	73	190	76	82	135
35	34	10	77	75	22
36	65	182	78	70	20
37	66	180	79	56	105
38	89	110	80	55	110
39	65	210	81	30	45
40	39	55	82	35	40
41	90	115	83	75	25
42	65	202	84	70	26

CARACTERIZACION DE MACIZOS ROCOSOS															
PROYECTO: SINA-YANAHUAYA TRAMO III										LEVANTADO POR: G.M.C.					
UBICACION: 18+060 - 18+180										FECHA: 30 - 05 - 2016					
REGISTRO LINEAL:										HOJA DE:					
ESTUDIO: COMPORTAMIENTO DEL TALUD										TIPO DE ROCA: PIZARRA					
CONDICIONES DE EXPOSICION															
Inclinac:	Talud	azimut:	Orientacion discontinuidad		Long. (m)	Abertura (mm)	Rugosidad	Relleno	Alteracion	Agua	N° de fracturas	Tipo		RMR	GSI
75		193	DIRECCION DE BUZAMIENTO	Resistencia a compresion (UCS)	Longitud de la traza	1. Abierta >5mm 2. Moder. Abier. 1-3mm 3. Cerrada 0.1-1mm 4. Muy Cerrada <0.1mm 5. Ninguna	1. Muy Rugosa 2. Rugosa 3. Liger. rugoso 4. Lisa 5. Plana (Espejo de	1. Relleno blando 2. Relleno blando 3. Relleno duro >5mm 4. Relleno duro <5mm 5. Ninguno	1. Descompuesta 2. Muy alterada 3. Moder. Alterada 4. liger. Alterada 5. Inalterada	1. Seco 2. Ligeramente humedo 3. Humedo 4. Goteando 5. Agua fluyendo	Fractura metro lineal	1. Falla 2. Estratificacion 3. Tension (juntas) 4. Corte 5. Otros (indicar)			
N° DISCONTINUIDAD	Distancia o progresiva	Interseccion de la discontinuidad	BUZAMIENTO												
22	18+089-18+090	80	120	4	>20	3	3	2	4	2	2	1.1	3	42	40
23	18+089-18+090	73	191	4	>20	3	3	3	4	2	2	1.3	3	41	40
24	18+090-18+093	32	27	4	>20	3	3	2	3	4	2	1	3	43	42
25	18+093-18+096	30	23	4	>20	3	4	2	3	4	2	1.5	2	45	43
26	18+093-18+096	20	71	4	>20	3	4	2	3	4	3	2	2	50	49
27	18+093-18+096	84	120	4	>20	2	4	2	3	4	2	1.5	2	55	54
28	18+096-18+099	37	25	4	>20	4	3	2	4	2	3	0.9	3	56	55
29	18+096-18+099	40	135	7	>20	2	3	2	4	2	2	0.8	3	52	51
30	18+099-18+102	22	41	4	>20	2	3	2	4	2	3	1.2	2	47	46
31	18+099-18+102	48	122	4	>20	2	4	2	4	2	2	1.1	4	45	44
32	18+102-18+105	28	43	4	>20	2	4	2	3	2	3	1	4	41	40
33	18+102-18+105	79	128	4	>20	2	4	1	3	2	3	1	3	40	40
34	18+102-18+105	73	190	4	>20	2	2	1	3	2	3	1	3	46	46
35	18+105-18+108	34	10	4	>20	2	3	2	3	2	2	1.4	3	54	52
36	18+105-18+108	65	182	4	>20	3	3	2	4	2	5	2.9	3	50	49
37	18+105-18+108	66	180	4	>20	3	3	2	4	2	6	2	3	48	47
38	18+108-18+111	89	110	4	>20	2	5	2	4	4	2	1	2	49	48
39	18+108-18+111	65	210	4	>20	3	5	2	3	3	8	2	2	43	42
40	18+108-18+111	39	55	4	>20	3	4	2	2	4	4	2.5	4	46	45
41	18+111-18+114	90	115	4	>20	3	4	4	3	3	3	2.5	4	45	45
42	18+114-18+117	65	202	7	>20	3	4	4	4	2	2	1	4	45	45

ESTUDIO: COMPORTAMIENTO DEL TALUD		CONDICIONES DE EXPOSICION																									
		TIPO DE ROCA: PIZARRA		HOJA DE:		ALTERACION		AGUA		N° de fracturas		TIPO															
TALUD		DIRECCION DE BUZAMIENTO		ORIENTACION discontinuidad		LONG. (m)		ABERTURA (mm)		RUGOSIDAD		RELLENO		ALTERACION		AGUA		N° de fracturas		TIPO		RMR		GSI			
Inclinac:	azimut:	Distancia o progresiva		DIRECCION DE BUZAMIENTO		Resistencia a compresion (UCS)		Longitud de la traza		Abertura (mm)		Rugosidad		Relleno		Alteracion		Agua		N° de fracturas		Tipo		RMR		GSI	
75	193	Interseccion de la discontinuidad		BUZAMIENTO		Resistencia a compresion (UCS)		Longitud de la traza		Abertura (mm)		Rugosidad		Relleno		Alteracion		Agua		N° de fracturas		Tipo		RMR		GSI	
43	18+114-18+117	73	165	4	>20	4	4	3	3	1. Relleno blando	1. Relleno blando	1. Muy Rugosa	1. Seco	1. Fractura	1. Falla	1. Falla	1. Seco	2	2	2	2	4	4	44	43		
44	18+114-18+117	33	41	12	>20	4	4	2	4	2. Relleno blando	2. Relleno blando	2. Moder. Alterada	2. Ligeramente humedo	3. Fractura	2. Tension (juntas)	2. Tension (juntas)	3. Humedo	2	2	6	3	4	4	42	41		
45	18+117-18+120	32	143	7	>20	4	3	2	2	3. Relleno duro >5mm	3. Relleno duro >5mm	3. Liger. rugoso	3. Moder. Alterada	4. Goteando	3. Tension (juntas)	3. Tension (juntas)	3	3	4	1.4	2	2	43	41			
46	18+117-18+120	66	202	4	>20	4	3	2	2	4. Relleno duro >5mm	4. Relleno duro >5mm	4. Rugosa	4. Moder. Alterada	5. Agua fluyendo	5. Otros (indicar)	5. Otros (indicar)	3	3	3	1.6	2	2	44	42			
47	18+120-18+123	78	199	4	>20	4	4	2	2	5. Ninguno	5. Ninguno	5. Muy alterada	5. Inalterada	2. Ligeramente humedo	2. Estratificacion	2. Estratificacion	3	3	2	2	2	4	44	42			
48	18+123-18+126	78	67	4	>20	4	4	2	2	1. Relleno blando	1. Relleno blando	1. Muy Rugosa	1. Seco	3. Fractura	3. Tension (juntas)	3. Tension (juntas)	3	3	2	2	4	4	44	42			
49	18+123-18+126	30	65	4	>20	4	4	2	2	2. Relleno blando	2. Relleno blando	2. Moder. Alterada	2. Ligeramente humedo	4. Goteando	4. Estratificacion	4. Estratificacion	2	2	2	1.6	4	4	46	45			
50	18+123-18+126	30	335	4	>20	4	3	2	4	3. Relleno duro >5mm	3. Relleno duro >5mm	3. Liger. rugoso	3. Moder. Alterada	5. Agua fluyendo	5. Otros (indicar)	5. Otros (indicar)	4	4	4	1.8	4	4	45	44			
51	18+126-18+129	71	193	4	>20	4	4	2	3	4. Relleno duro >5mm	4. Relleno duro >5mm	4. Rugosa	4. Moder. Alterada	2. Ligeramente humedo	2. Estratificacion	2. Estratificacion	2	2	4	0.9	2	2	45	44			
52	18+126-18+129	42	31	4	>20	4	2	2	2	1. Relleno blando	1. Relleno blando	1. Muy Rugosa	1. Seco	3. Fractura	3. Tension (juntas)	3. Tension (juntas)	2	2	3	1.5	2	2	46	45			
53	18+129-18+132	65	76	7	>20	4	2	2	2	2. Relleno blando	2. Relleno blando	2. Moder. Alterada	2. Ligeramente humedo	4. Goteando	4. Estratificacion	4. Estratificacion	2	2	4	1	2	4	44	44			
54	18+129-18+132	70	198	4	>20	4	2	2	3	3. Relleno duro >5mm	3. Relleno duro >5mm	3. Liger. rugoso	3. Moder. Alterada	5. Agua fluyendo	5. Otros (indicar)	5. Otros (indicar)	3	3	2	0.8	3	3	43	42			
55	18+132-18+135	49	30	4	>20	4	3	2	3	4. Relleno duro >5mm	4. Relleno duro >5mm	4. Rugosa	4. Moder. Alterada	2. Ligeramente humedo	2. Estratificacion	2. Estratificacion	2	2	5	1.2	2	2	49	46			
56	18+132-18+135	68	199	4	>20	4	2	1	1	5. Ninguno	5. Ninguno	5. Muy alterada	5. Inalterada	3. Fractura	3. Tension (juntas)	3. Tension (juntas)	1	1	2	0.5	2	2	47	46			
57	18+132-18+135	57	120	4	>20	4	4	2	3	1. Relleno blando	1. Relleno blando	1. Muy Rugosa	1. Seco	4. Goteando	4. Estratificacion	4. Estratificacion	5	5	3	2	3	3	45	42			
58	18+135-18+138	37	35	4	>20	4	4	2	2	2. Relleno blando	2. Relleno blando	2. Moder. Alterada	2. Ligeramente humedo	5. Agua fluyendo	5. Otros (indicar)	5. Otros (indicar)	5	5	5	1.3	3	3	42	41			
59	18+135-18+138	61	130	4	>20	4	4	2	3	3. Relleno duro >5mm	3. Relleno duro >5mm	3. Liger. rugoso	3. Moder. Alterada	2. Ligeramente humedo	2. Estratificacion	2. Estratificacion	5	5	1	1	3	3	43	41			
60	18+138-18+141	65	198	4	>20	4	4	2	3	4. Relleno duro >5mm	4. Relleno duro >5mm	4. Rugosa	4. Moder. Alterada	3. Fractura	3. Tension (juntas)	3. Tension (juntas)	5	5	3	1.5	3	3	43	42			
61	18+138-18+141	8	345	4	>20	4	2	2	3	5. Ninguno	5. Ninguno	5. Muy alterada	5. Inalterada	4. Goteando	4. Estratificacion	4. Estratificacion	2	2	5	2	3	3	42	41			
62	18+141-18+144	62	134	7	>20	4	2	2	2	1. Relleno blando	1. Relleno blando	1. Muy Rugosa	1. Seco	5. Agua fluyendo	5. Otros (indicar)	5. Otros (indicar)	2	2	4	0.9	3	3	44	42			
63	18+141-18+144	70	18	4	>20	4	2	2	2	4. Relleno duro >5mm	4. Relleno duro >5mm	4. Rugosa	4. Moder. Alterada	2. Ligeramente humedo	2. Estratificacion	2. Estratificacion	2	2	5	1.2	2	2	46	45			

Anexo 4: Diagramas estereográficos



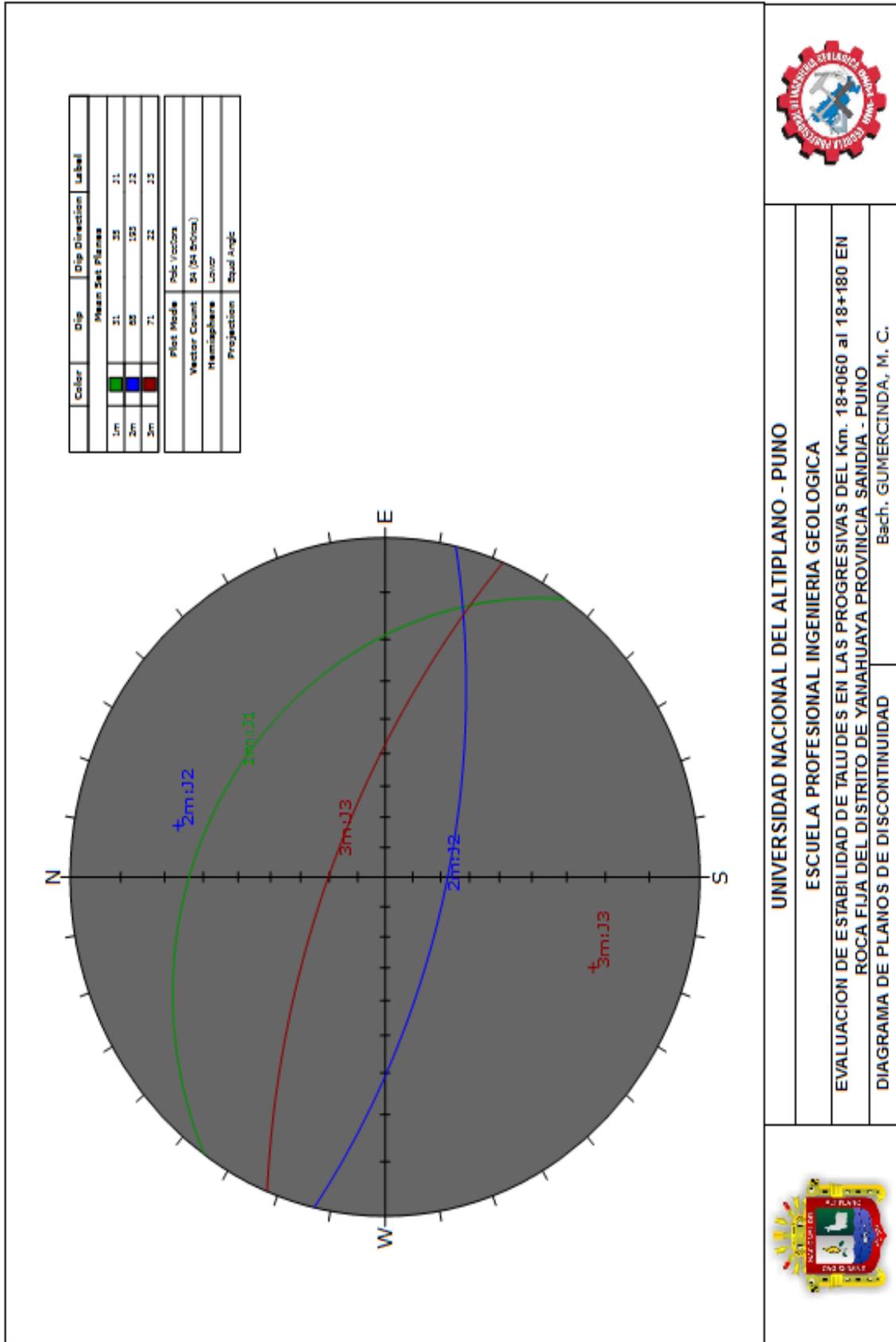


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA GEOLOGICA

EVALUACION DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LAS PROGRESIVAS DEL Km. 18+060 al 18+180 EN
ROCA FIJA DEL DISTRITO DE YANAHUAYA PROVINCIA SANDIA - PUNO

DIAGRAMA DE DENSIDADES DE POLOS
Bach. GUMERCINDA, M. C.





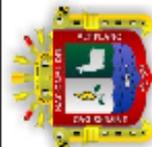
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO

ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA GEOLOGICA

EVALUACION DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LAS PROGRESIVAS DEL Km. 18+060 al 18+180 EN
ROCA FIJA DEL DISTRITO DE YAMAHUYA PROVINCIA SANDIA - PUNO

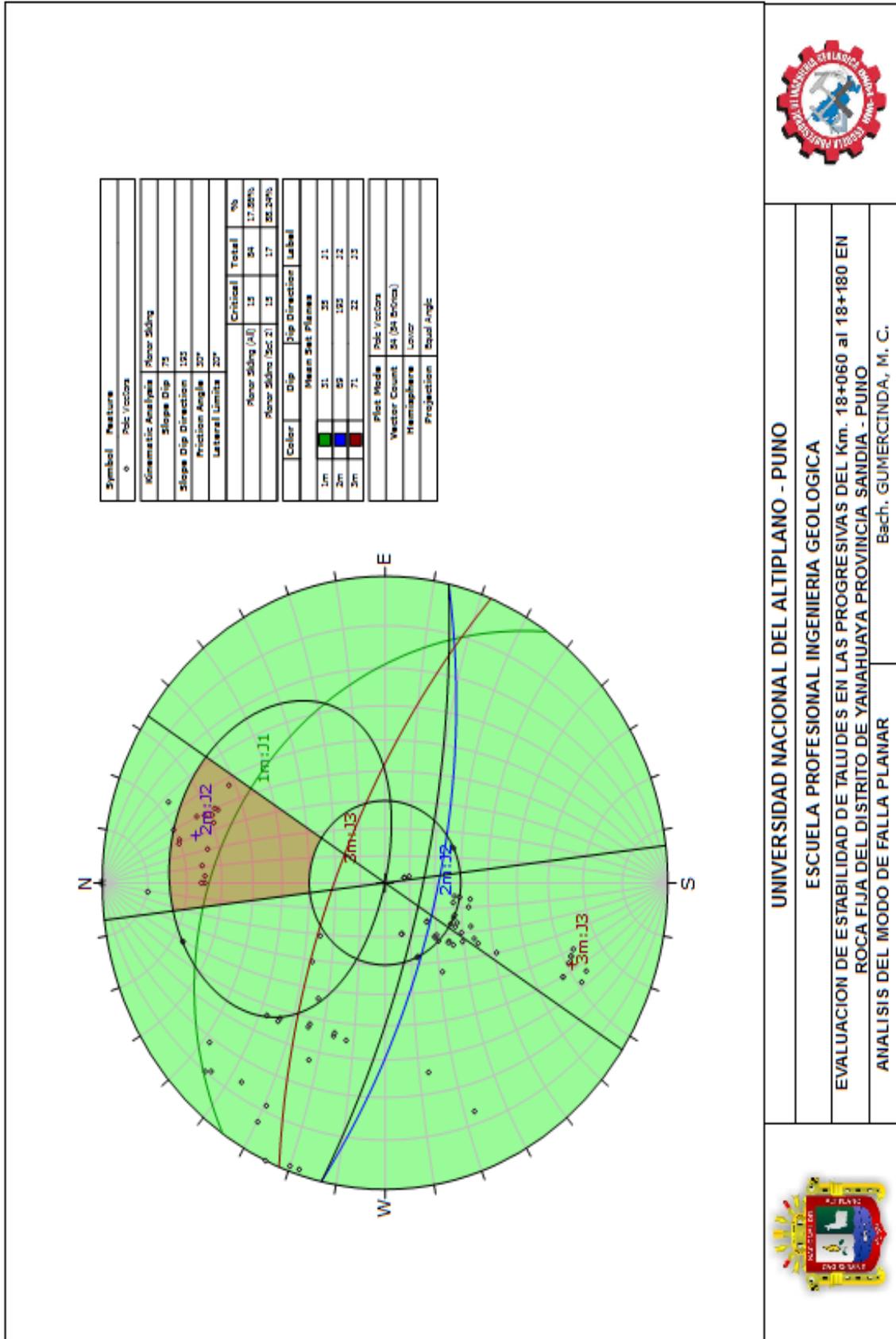
DIAGRAMA DE PLANOS DE DISCONTINUIDAD

Bach. GUMERCINDA, M. C.





Anexo 5. Análisis de estabilidad de talud por el método cinemático



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO

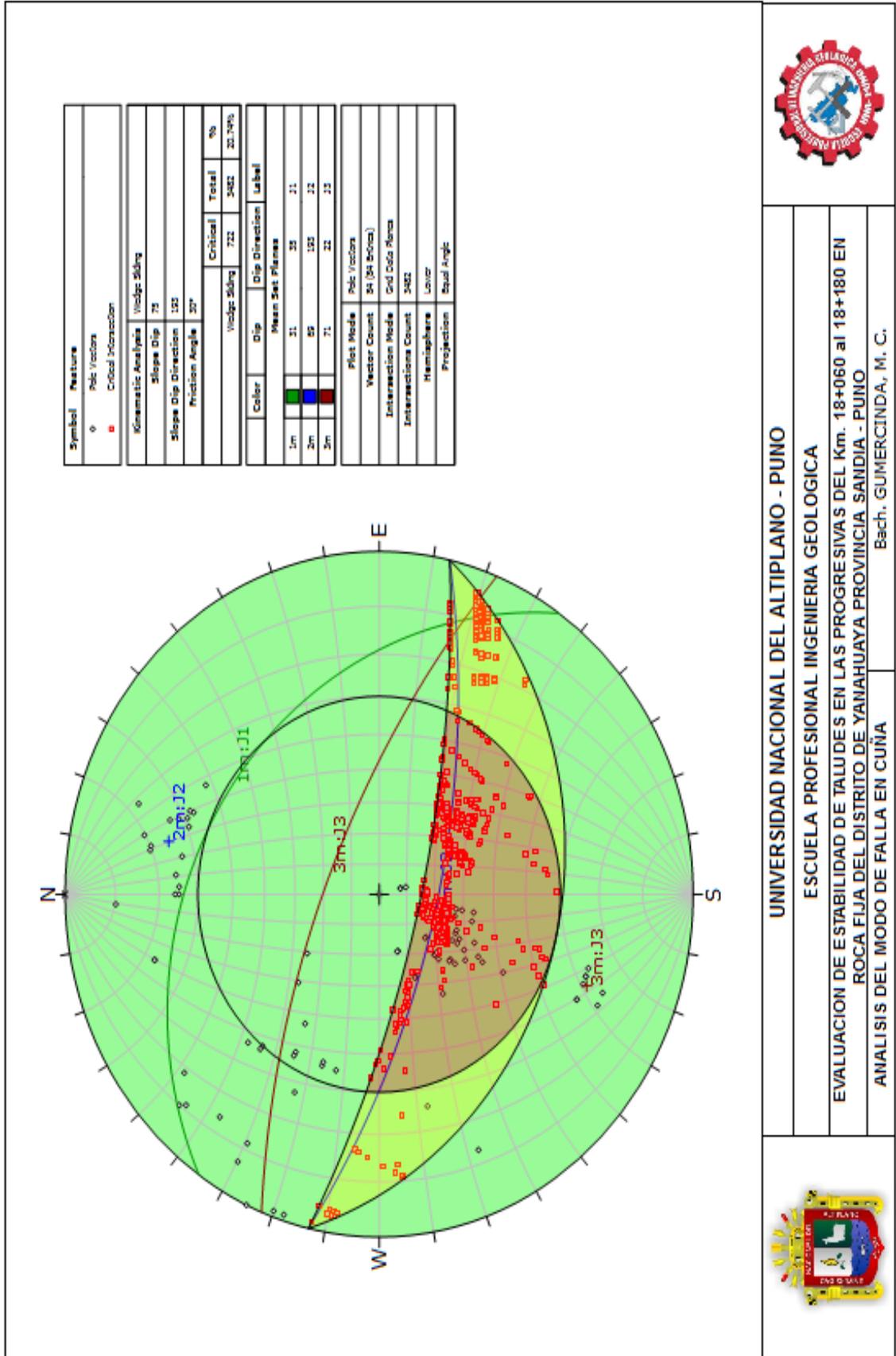
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA GEOLOGICA

EVALUACION DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LAS PROGRESIVAS DEL Km. 18+060 al 18+180 EN
ROCA FIJA DEL DISTRITO DE YANAHUAYA PROVINCIA SANDIA - PUNO

ANALISIS DEL MODO DE FALLA PLANAR

Bach. GUMERCINDA, M. C.





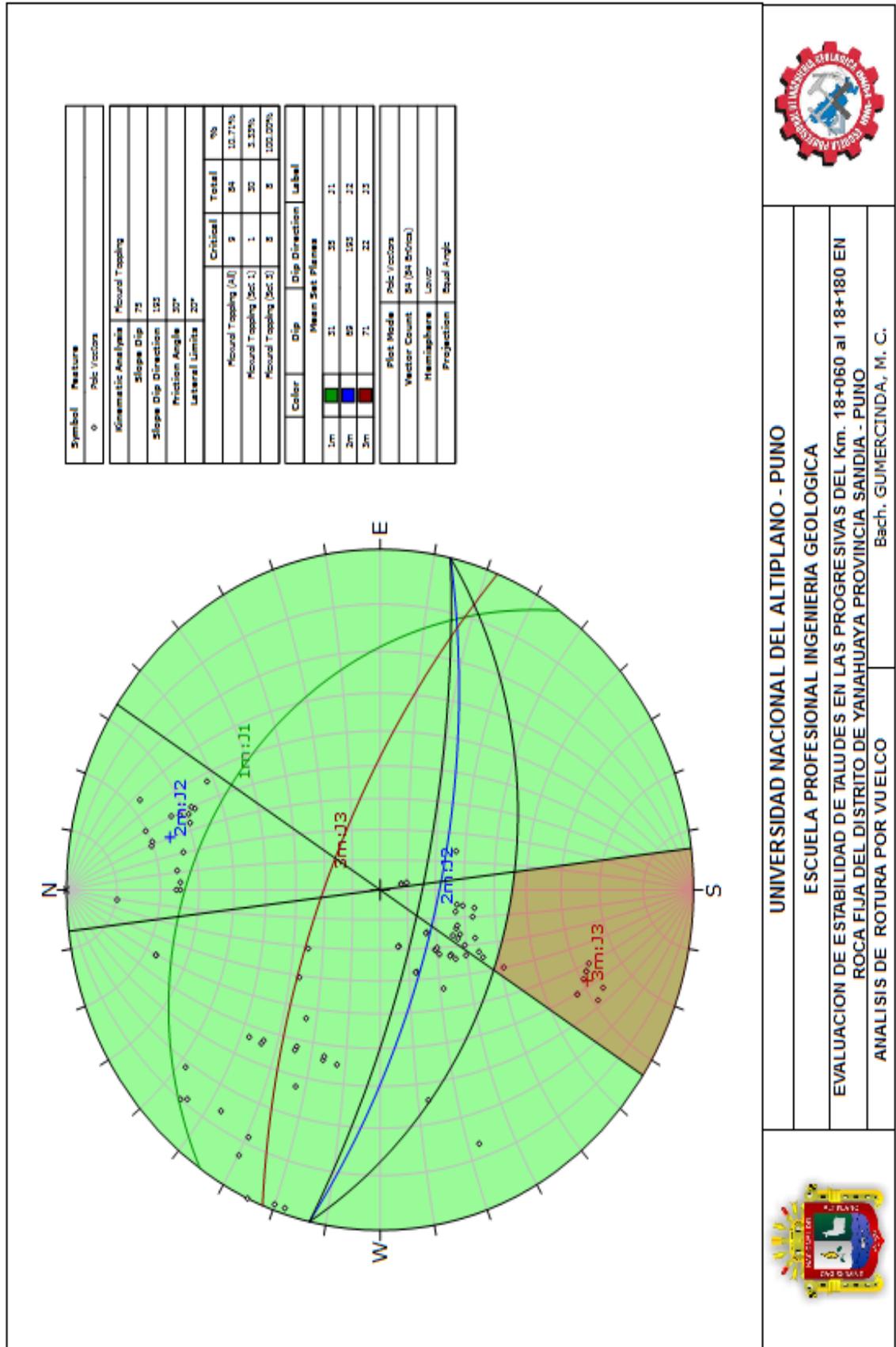
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA GEOLOGICA

EVALUACION DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LAS PROGRESIVAS DEL Km. 18+060 al 18+180 EN
ROCA FIJA DEL DISTRITO DE YANAHUAYA PROVINCIA SANDIA - PUNO

ANALISIS DEL MODO DE FALLA EN CUÑA

Bach. GUMERCINDA, M. C.





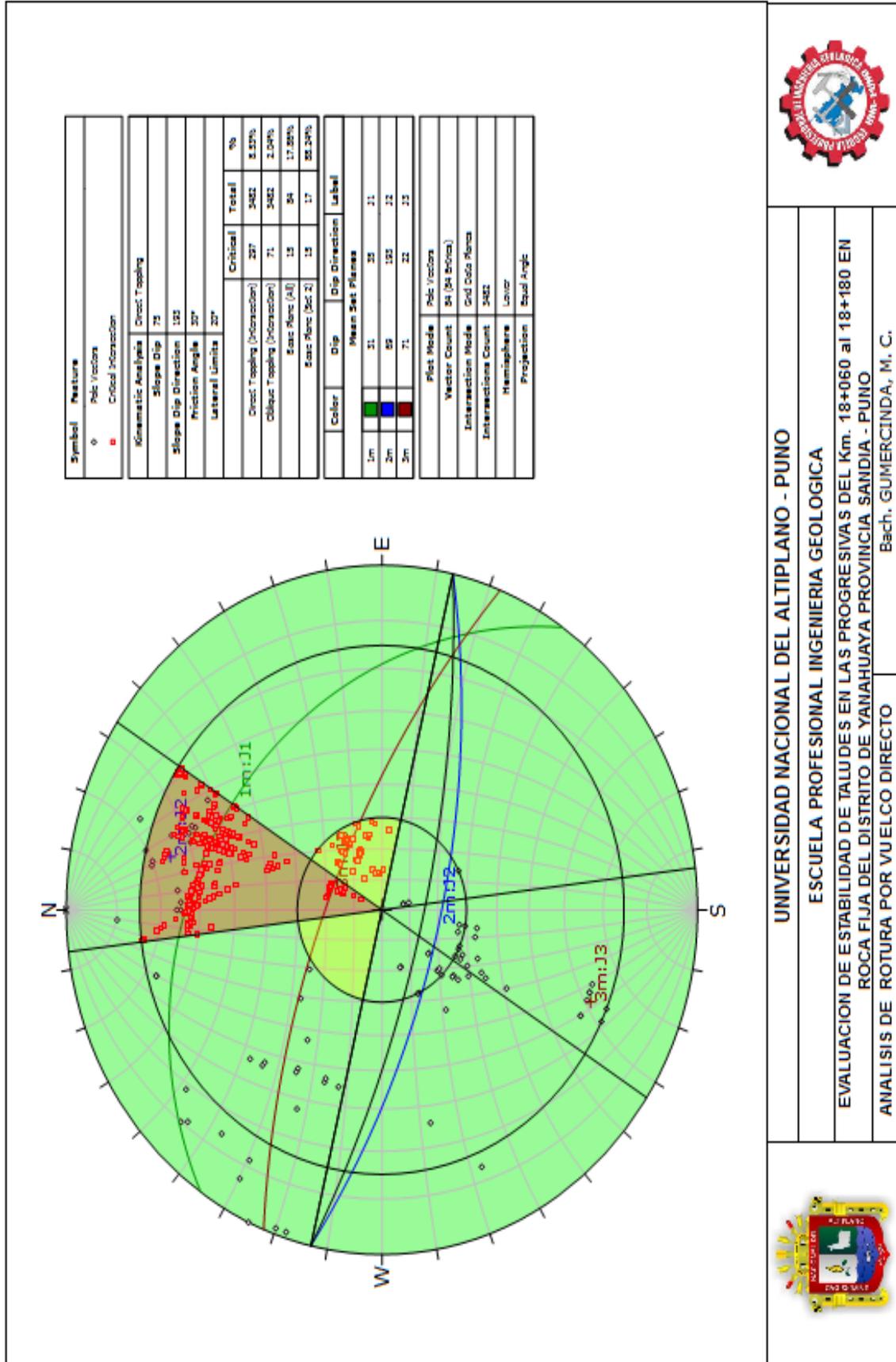
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA GEOLOGICA

EVALUACION DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LAS PROGRESIVAS DEL Km. 18+060 al 18+180 EN
ROCA FIJA DEL DISTRITO DE YANAHUAYA PROVINCIA SANDIA - PUNO

ANALISIS DE ROTURA POR VUELCO

Bach. GUMERCINDA, M. C.





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA GEOLOGICA

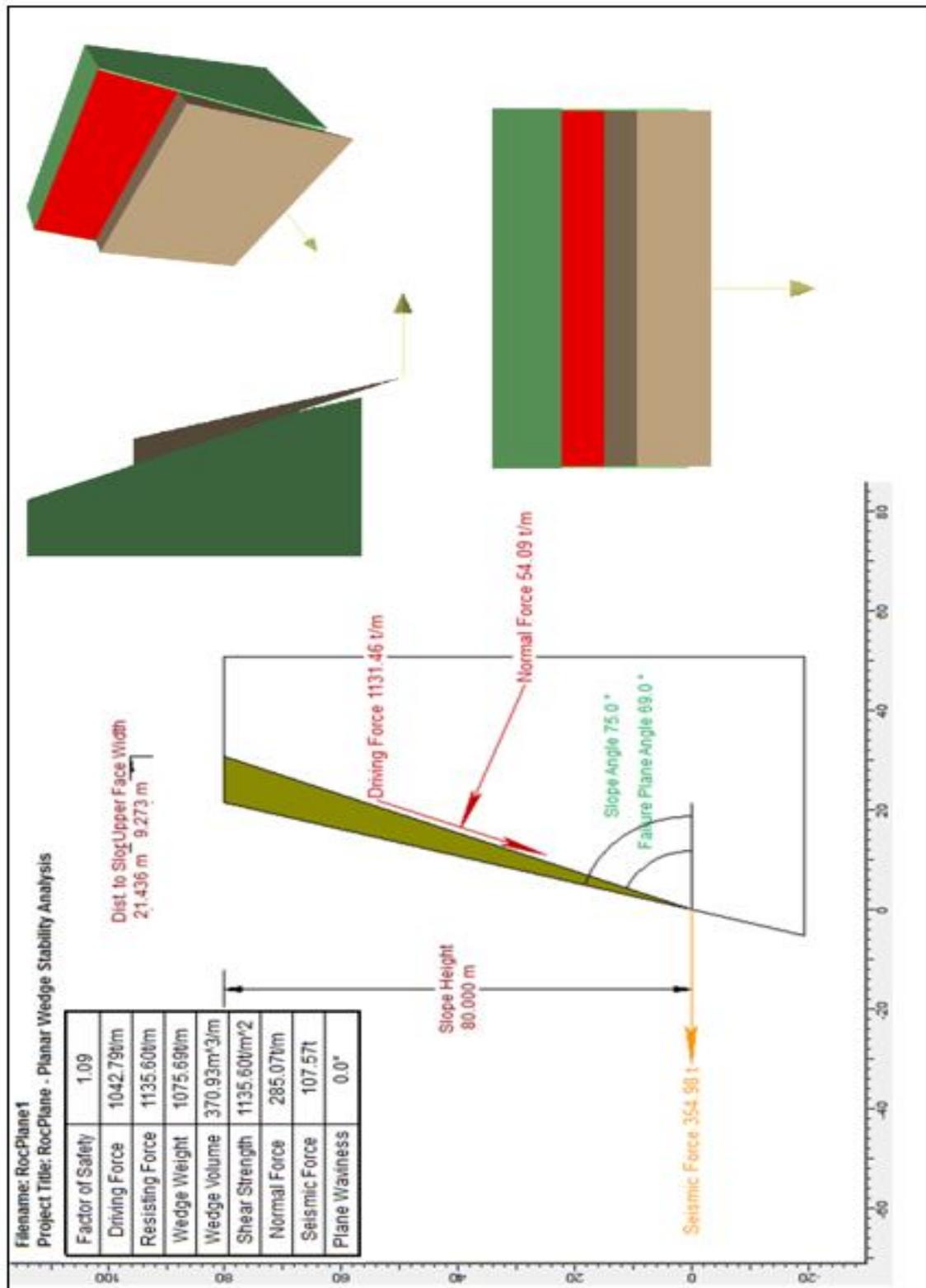
EVALUACION DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LAS PROGRESIVAS DEL Km. 18+060 al 18+180 EN
ROCA FIJA DEL DISTRITO DE YANAHUAYA PROVINCIA SANDIA - PUNO

Bach. GUMERCINDA, M. C.

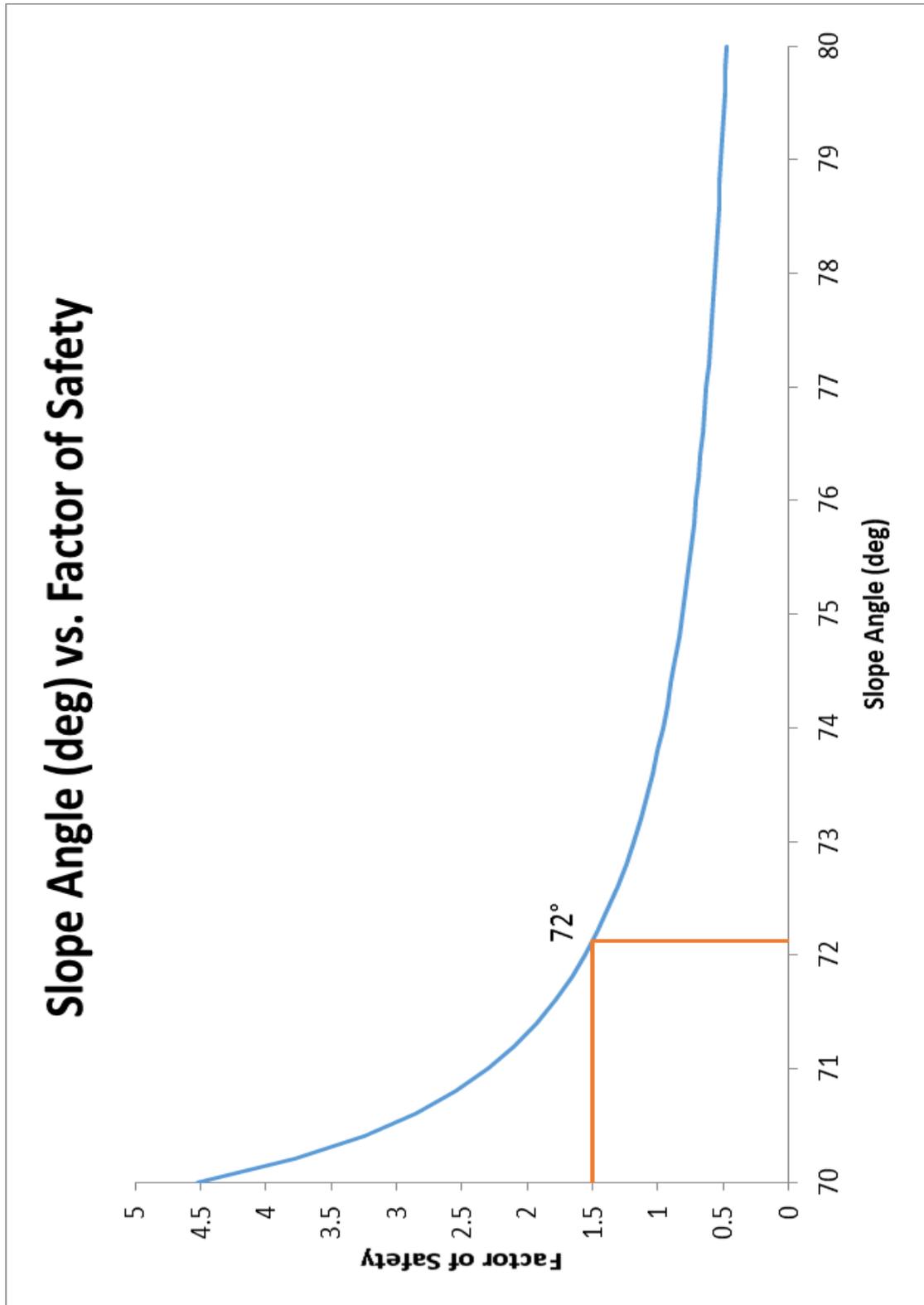
ANALISIS DE ROTURA POR VUELCO DIRECTO



Anexo 6. Análisis de estabilidad de taludes con software ROCPLANE V. 2.0 -
ROCSCIENCE



Anexos 7. Análisis de estabilidad de talud corregido con software ROCPLANE V. 2.0 -
ROCSCIENCE





Anexo 8. Ensayos de laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS
LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS Y SUELOS



INFORME 00139 – 2016-LMS &R-FIM-UNA-PUNO.

ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE ENSAYOS DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

PROYECTO:

Servicio de Corte en roca suelta – fija del Proyecto Mejoramiento de la carretera Desvío Vilquechico – Cojata – Sina – Yanahuaya Trámite III, Subtramo 03 del Km 15+840 al Km 31+200.

SOLICITADO POR:
CONSORCIO PURUMPATA

MUESTRA:
Testigo de roca alterada
Con Pirita

FECHA:
Junio, 2016

Nota:

- La empresa solicitante es responsable por la toma de muestras en campo.
- La información correspondiente a las muestras fue proporcionada por el cliente.



Dr. E. Alfredo Cámac Torres
Laboratorio de Mecánica de Rocas y Suelos
Facultad de Ingeniería de Minas

Dirección: Av. Torral 1103 - Ciudad Universitaria - Pab. Ing. de Minas - Puno
Teléfono fijo: 051-2861100
E-mail: ingenieria@unap.edu.pe
Web: <http://web.unap.edu.pe/web/ingmin>



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS
LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS Y SUELOS

ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D 2938-95, obteniéndose los siguientes resultados:

ID	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Relación L/D	Carga (Kg-f)	UCS (MPa)	Tipo de Rotura	Observaciones
UCS - 01	3.85	7.7	11.64	2.0	8120.0	68.40	matriz	
UCS - 02	3.85	7.7	11.64	2.0	4560.0	38.24	matriz	
UCS - 03	3.85	7.7	11.64	2.0	3750.0	31.59	matriz	
Número de resultados						3		
Valor máximo, MAX						68.40		
Valor mínimo, MEN						31.59		
Mediana, MED						38.24		
Valor promedio, MEAN						46.08		
Desviación estándar, SDEV						19.62		
Coeficiente de variación, CV						1.51		

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS
LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS Y SUELOS
FIS - 1000 (PUNO)



FOTOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE

Antes:



Después:

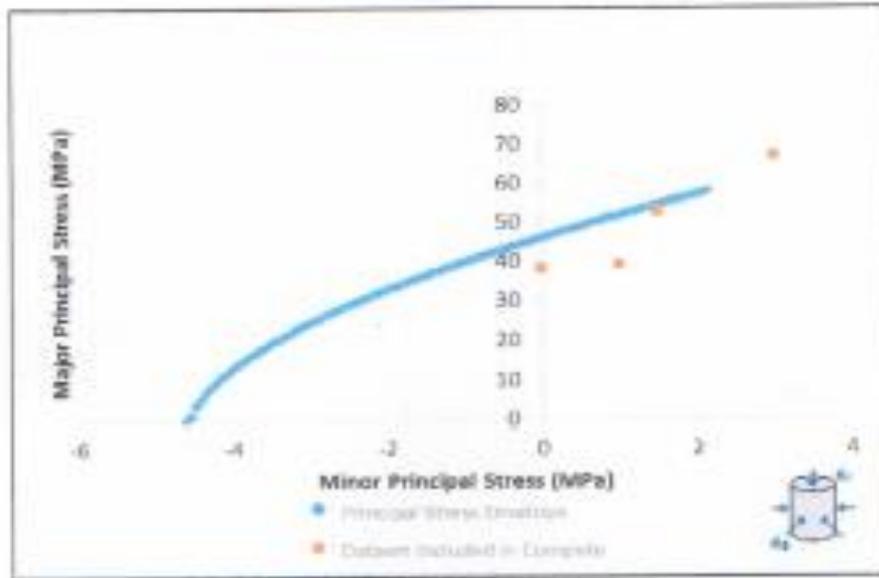


[Handwritten signature]
Ing. Carlos Torres
C.I. 14682000
Puno 1983 - Perú

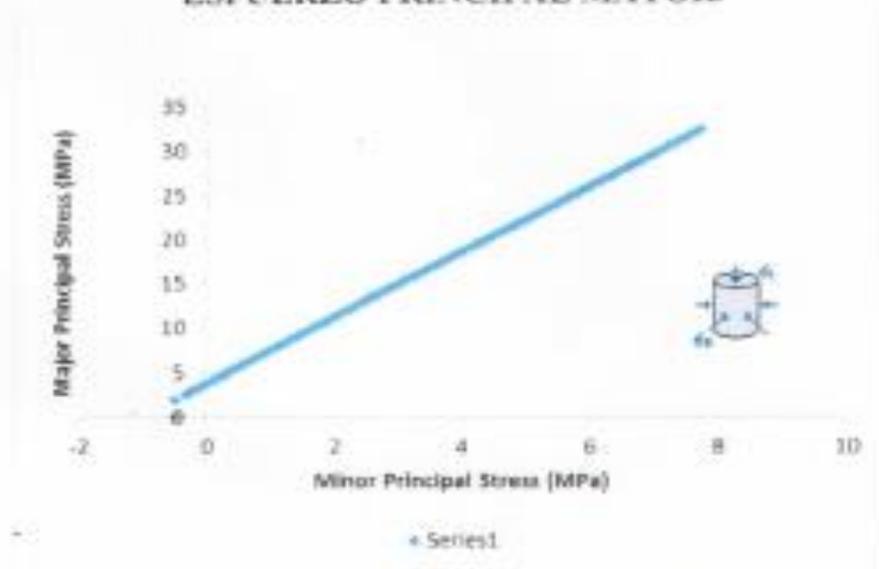
Dirección: Av. Fierro 1155 - Ciudad Universitaria - Pab. Ing. de Metales - Puno
Teléfono: (051) 087 461
E-mail: ingenieria@unap.edu.pe
Web: <http://web.unap.edu.pe/web/ingles>



*GRÁFICO
TRIAxIAL*



ENVOLVENTE DE ESFUERZO PRINCIPAL MENOR VS ESFUERZO PRINCIPAL MAYOR.



ENVOLVENTE DE ESFUERZO NORMAL VS ESFUERZO DE CORTE (MOHR-COULOMB).



E. ALVARO CUMBE
C/PO. DE LASOCTOPORCO
PUM-ABRA-PT-10

Dirección: Av. Tiyaki 1182 - Ciudad Universitaria - Puno, Ing. de Minas - Puno
Teléfono: 051- 589183
E-mail: unap@unap.edu.pe
Web: <http://web.unap.edu.pe/web4/minas>



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS
LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS Y SUELOS



ENSAYOS TRIAXIALES

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D 2664, obteniéndose los siguientes resultados:

ID	Díámetro del testigo (cm)	Altura del testigo (cm)	Área del testigo (cm ²)	Relación (L/D)	Carga Máxima (kg-f)	sig (kg/cm ²)	sig1 (MPa)	sig3 (MPa)
TX-01	3.85	7.7	11.64	2.0	4540	389.98	38.74	0.00
TX-02	3.85	7.7	11.64	2.0	4640	398.57	39.09	1.00
TX-03	3.85	7.7	11.64	2.0	6260	537.73	52.73	1.50
TX-04	3.85	7.7	11.64	2.0	7970	681.18	66.80	3.00

σ_{d1} (MPa)	GSI	mi	D	mb	a	s	ϕ (°)	cohesión (MPa)	τ_c (MPa)	σ_v (MPa)	σ_{cm} (MPa)	F_{cm} (MPa)
46.08	100	6	0	6	0.5	1	42.98	10.15	-7.68	46.08	42.74	11931.941



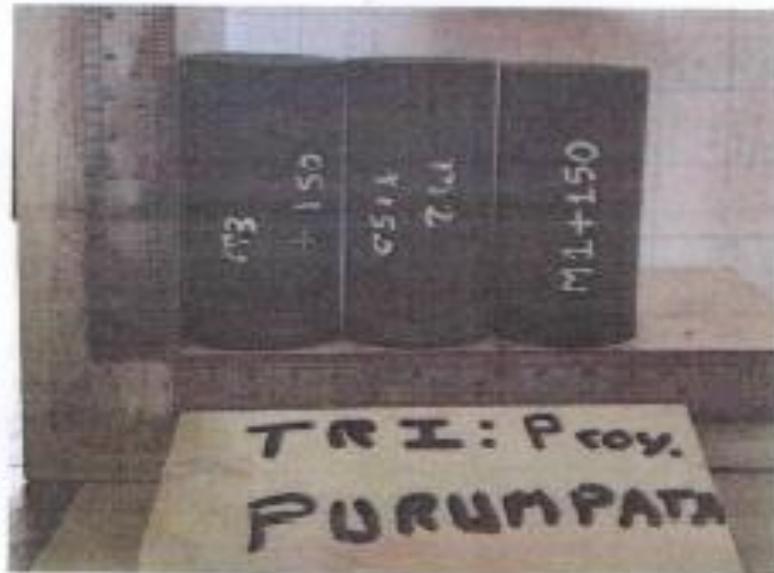
Dr. ALBERTO CARRERA VIGIL
DPTO DE LABORATORIO
FAC. DE INGENIERIA DE MINAS

Directorio de: Pérez (13) - Ciudad de Arequipa - P.O. Box 1700 - Peru
Telefono: 051 - 822 100
E-mail: repositorio@unap.edu.pe
Web: <http://www.unap.edu.pe>

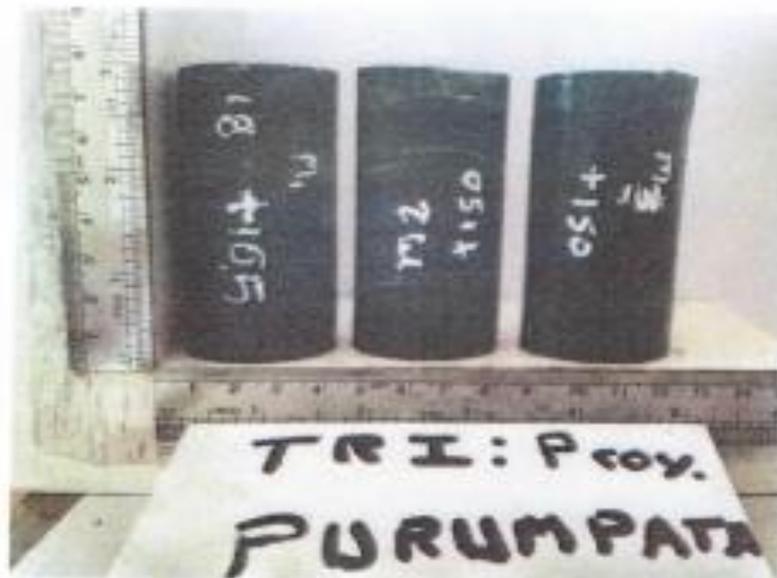


FOTOS ENSAYOS TRIAXIALES

Antes:



Después:



E. Alfredo Campos Torres
JEFE DE LABORATORIO
F.M. 4864-PT-10

Dirección: Av. Pared 1180 - Ciudad Universitaria - Puno, Ing. de Minas - Puno
Teléfono fijo: 015 580 021
E-mail: proyector@unap.edu.pe
Web: <http://web.unap.edu.pe/proyector>

Anexo 9. Panel fotográfico

PANEL FOTOGRAFICO



VISTA 01: EN LA IMAGEN PODEMOS APRECIAR EL AREA DE ESTUDION DE LA CARRETERA SINA YANAHUAYA.



VISTA 02: SE OBSERVA EN LA IMAGEN LA MEDICION DEL RELLENO DE LAS ESTRUCTURAS

PANEL FOTOGRAFÍCO



VISTA 01: SE REALIZA DATOS DE TOMA DE ALTITUDES EN EL PROYECTO DE INVESTIGACION.



VISTA 02: SE OBSERVA EL AFLORAMIENTO CON PROPIEDADES DE DISCONTINUIDAD