

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y  
METALÚRGICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**“EVALUACIÓN GEOLOGICA-GEOTECNICA PARA LA  
ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA CARRETERA  
MUÑANI-SAYTOCOCHA TRAMO KM. 14+700 AL 30+00”**

**TESIS**

PRESENTADA POR:

**PERCY TUPA RUIZ**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PUNO – PERÚ**

**2017**

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

TESIS

**“EVALUACIÓN GEOLOGICA-GEOTECNICA PARA LA  
ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA CARRETERA  
MUÑANI-SAYTOCOCHA TRAMO KM. 14+700 AL 30+00”**

PRESENTADA POR:

**PERCY TUPA RUIZ**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

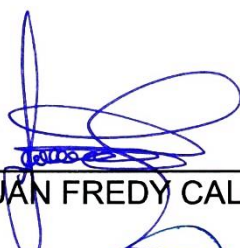
**INGENIERO GEÓLOGO**

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 08-11-2017



APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO  
POR:

**PRESIDENTE**

:   
M.Sc. JUAN FREDY CALLA FERNANDEZ

**PRIMER MIEMBRO**

:   
Ing. LUIS ALBERTO MAYDANA VILCA

**SEGUNDO MIEMBRO**

:   
Ing. MAURICIO PERALTA MOLINA

**DIRECTOR DE TESIS**

:   
M.Sc. LEONEL PALOMINO ASCENCIO

Área: Geotecnia.

Tema: Geotecnia Aplicada.

## DEDICATORIA

A mis queridos padres Jorge y Francisca, por brindarme su apoyo incondicional aún más en momentos difíciles pasado en mi vida y a seguir este camino arduo.

A mis queridos hermanos Marcos, Betty, Fernando, Mily, Jorge, María, Mayumi, Vicky, y Jesús; por ese aliento y apoyo incondicional día a día hasta llegar a este momento.

A toda mi familia por su apoyo constante e incondicional.

A mi Amor de mi vida Beatriz Huanca Ccasa, por ese aliento, apoyo y amor incondicional.

## AGRADECIMIENTOS

- A Jehová mi Dios, por brindarme esta vida, guiarme por el buen camino.
- A mí querida madre, mi querido padre y mis queridos hermanos, por sus sabios consejos, aliento, no perder la fe en mí; aun en momentos difíciles durante mi formación profesional.
- A la empresa CONSORCIO LICHTFIELD-LUJAN. Por darme la oportunidad de realizar esta investigación.
- A la Universidad Nacional del Altiplano-Puno, por ser mi alma mater y mentora en mí proceso de desarrollo personal y profesional.
- Al M.Sc. Leonel Palomino Ascencio, por aceptar ser mi guía y tutor en este trabajo e investigación.
- A los docentes de la escuela profesional de Ingeniería Geológica UNA-PUNO, Por haberme transmitido sus conocimientos, consejos y experiencia para desenvolverme en mi vida profesional.
- Finalmente agradezco a todos las personal que influyeron en mí y apoyaron durante esta ardua labor de preparación profesional.



**ÍNDICE GENERAL**

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
ÍNDICE GENERAL .....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xxii
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS .....	xxiii
RESUMEN .....	24
ABSTRACT .....	25

**CAPÍTULO I****INTRODUCCIÓN**

1.1. GENERALIDADES .....	26
1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	27
1.3. OBJETIVO GENERAL .....	28
1.3.1. Objetivos específicos .....	28

**CAPÍTULO II****REVISIÓN LITERARIA**

2.1.	ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN .....	29
2.2.	ANTECEDENTES DEL PROYECTO .....	33
2.2.1.	Ubicación .....	33
2.2.2.	Accesibilidad .....	35
2.2.3.	Clima .....	35
2.2.4.	Relieve .....	36
2.3.	GEOLOGÍA .....	36
2.3.1.	Estratigrafía local .....	36
2.3.2.	Era Paleozoico .....	38
2.3.2.1.	Formación Sandia (Os-s) .....	38
2.3.2.2.	Grupo Ambo (Ci-a) .....	39
2.3.2.3.	Grupo Tarma (Cs-t) .....	39
2.3.2.4.	Grupo Copacabana (Pi-co) .....	40
2.3.3.	Era Mesozoico .....	40
2.3.3.1.	Grupo Moho (K-mo) .....	40
2.3.3.2.	Formación Vilquechico (Ks-vi) .....	40
2.3.3.3.	Formación Muñani (K-mñ) .....	41

2.3.4.	Era Cenozoico .....	41
2.3.4.1.	Cuaternario .....	41
2.3.4.2.	Formación Azángaro (TQ-az) .....	41
2.3.5.	Holoceno .....	41
2.3.6.	Geomorfología .....	42
2.3.7.	Unidades geomorfológicas regionales .....	42
2.3.7.1.	Cordillera Oriental .....	42
2.3.7.2.	Faja Subandina .....	43
2.3.8.	Unidades geomorfológicas locales .....	43
2.3.8.1.	Terrazas .....	43
2.3.8.2.	Valles fluviales .....	44
2.3.8.3.	Conos de deyección .....	44
2.3.9.	Geología estructural .....	44
2.3.9.1.	Fallas .....	45
2.3.9.2.	Plegamientos: Sinclinales y anticlinales .....	45
2.3.9.3.	Fisuramientos .....	45
2.3.9.4.	Contactos geológicos .....	46
2.3.10.	Geodinámica externa .....	46
2.3.10.1.	Procesos geodinámicas .....	46

2.3.10.2. Derrumbe .....	46
2.3.10.3. Asentamiento .....	46
2.3.10.4. Desprendimiento de rocas .....	47
2.3.10.5. Erosión de laderas .....	47
2.4. MARCO TEÓRICO .....	48
2.4.1. Consideraciones sobre estabilidad de taludes .....	48
2.4.2. Factores influyentes en la estabilidad de taludes .....	48
2.4.3. Caracterización geológica .....	49
2.4.4. Litología .....	50
2.4.5. Caracterización estructural .....	51
2.4.6. Descripción cuantitativa de las estructuras .....	51
2.4.7. Discontinuidades y orientación de las estructuras .....	53
2.4.8. Proyección estereográfica .....	54
2.4.9. Espaciamiento de las estructuras .....	56
2.4.10. Persistencia o continuidad de las estructuras .....	58
2.4.11. Rugosidad de las estructuras .....	59
2.4.12. Abertura de las estructuras .....	62
2.4.13. Relleno en las discontinuidades .....	64
2.4.14. Filtración en las discontinuidades .....	65

2.4.15.	Resistencia de las paredes de las discontinuidades .....	65
2.5.	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA .....	66
2.5.1.	Clasificación geotécnica del macizo rocoso .....	67
2.5.1.1.	Índice de designación de la calidad de roca (RQD) .....	68
2.5.1.2.	Sistema de clasificación Bieniawski .....	69
2.5.1.3.	Modo de índice GSI .....	70
2.6.	CRITERIOS DE ROTURA .....	73
2.6.1.	Criterios de Hoek y Brown .....	73
2.6.2.	Criterios de Mohr- Coulomb .....	77
2.6.2.1.	Teoría de Falla de Mohr-Coulomb .....	77
2.6.2.2.	Envolvente de falla .....	78
2.7.	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES .....	81
2.7.1.	Rotura en suelos .....	81
2.7.2.	Tipo de rotura en suelos .....	82
2.7.3.	Estructura de los suelos .....	83
2.7.3.1.	Diaclasas .....	83
2.7.3.2.	Foliaciones .....	83
2.7.3.3.	Estratificaciones .....	84
2.7.3.4.	Fallas .....	85

2.7.4.	Propiedades mecánicas en los suelos .....	85
2.7.4.1.	Resistencia al cortante .....	85
2.7.4.2.	Variación de la resistencia al cortante .....	86
2.7.4.3.	Cohesión .....	87
2.8.	ROTURAS EN ROCAS .....	87
2.8.1.	Falla Planar .....	88
2.8.2.	Falla por cuña .....	89
2.8.3.	Falla por vuelco .....	90
2.8.4.	Métodos de equilibrio limite o analítico .....	91
2.8.4.1.	Parámetros utilizados en los análisis de equilibrio límite .....	92
2.8.4.2.	Métodos de Dovelas .....	92
2.8.4.3.	Método de Bishop simplificado .....	93
2.9.	DEFINICIONES CONCEPTUALES .....	94
2.9.1.	Macizo rocoso .....	94
2.9.2.	Discontinuidad .....	94
2.9.3.	Orientación .....	95
2.9.4.	Cohesión de suelo .....	95
2.9.5.	Factor de seguridad .....	95
2.9.6.	Buzamiento.....	95

2.9.7.	Clasificación geomecánica .....	96
2.9.8.	Dirección de buzamiento .....	96
2.9.9.	Esclerómetro .....	96
2.9.10.	Estabilidad de taludes .....	96
2.9.11.	Geodinámica externa .....	97
2.9.12.	Filtración .....	97
2.9.13.	Roca .....	97
2.9.14.	Rugosidad .....	97
2.9.15.	Talud .....	98
2.9.16.	Tipo de rotura .....	98

### CAPÍTULO III

#### MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	DISEÑO METODOLÓGICO .....	99
3.2.	REVISIÓN, RECOPIACIÓN DE INFORMACIONES PRELIMINARES	99
3.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA .....	100
3.4.	HIPÓTESIS .....	101
3.4.1.	Variables .....	101
3.4.2.	Variables dependientes .....	101
3.5.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	102

3.5.1.	Etapa de campo .....	102
3.5.1.1.	Caracterización geológica estructural y geotécnica .....	102
3.5.2.	Ensayos de laboratorio .....	103
3.5.2.1.	Equipos de laboratorio .....	103
3.6.	TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN ....	104
3.7.	MATERIALES .....	104
3.8.	ANÁLISIS DE TALUDES EN SUELOS .....	105
3.8.1.	Método de Bishop .....	105
3.9.	ANÁLISIS DE TALUDES EN ROCAS .....	105
3.9.1.	Método de Rotura Planar .....	105
3.9.2.	Método de Rotura por Cuña .....	106

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1.	ANÁLISIS GEOTÉCNICO .....	107
4.1.1.	Progresivas km 16+100- km 16+200 .....	107
4.1.2.	Progresivas km 17+010 - km 17+080 .....	110
4.1.3.	Progresivas Km 20+080- Km 20+160 .....	119
4.1.4.	Progresivas Km 26+480 - Km 26+540 .....	127
4.2.	RESULTADO DE LA INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS .....	134



4.2.1.	Información .....	134
4.2.2.	Procesamiento de la información .....	134
4.2.3.	Clasificación geotécnica de los taludes .....	134
4.2.3.1.	Progresivas Km 16+100- Km 16+200 .....	135
4.2.3.2.	Progresivas Km 17+010- Km 17+080 .....	135
4.2.3.3.	Progresivas Km 20+080- Km 20+160 .....	135
4.2.3.4.	Progresivas Km 26+480- Km 26+540 .....	135

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES**

CONCLUSIONES .....	136
--------------------	-----

## **CAPÍTULO IV**

### **RECOMENDACIONES**

RECOMENDACIONES .....	137
-----------------------	-----

## **CAPÍTULO VII**

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	138
----------------------------------	-----

ANEXOS .....	141
--------------	-----

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA N° 01: Coordenadas del tramo II de la carretera Muñani Saytocochoa.....	34
TABLA N° 02: .....Área de investigación parte de análisis de la estabilidad de taludes.....	34
TABLA N° 03: Acceso principal al área de investigación.....	35
TABLA N° 04: Espaciamiento de las estructuras.....	57
TABLA N° 05: Descripción de la persistencia de las estructuras.....	58
TABLA N° 06: Caracterización de la rugosidad de las estructuras según las recomendaciones de la ISRM.....	60
TABLA N° 07: Perfiles de rugosidad y valores asociados del coeficiente JRC.....	61
TABLA N° 08: Ábaco para evaluar el coeficiente JRC en función del largo del perfil de la estructura y la amplitud máxima de las asperezas de ésta.....	62
TABLA N° 09: Descripción de la apertura de las estructuras.....	63
TABLA N° 10: Descripción de la granulometría del material de relleno.....	64
TABLA N° 11: Descripción de la condición de humedad de las estructuras... ..	66

TABLA N° 12: Ábaco para la obtención de la resistencia a compresión simple de una roca de una discontinuidad con el martillo Schmidt tipo L. ....	67
TABLA N° 13: Clasificación geomecánica de GSI – Hoek. ....	71
TABLA N° 14: Progresiva de los taludes. ....	100
TABLA N° 15: Operacionalización de variables. ....	101
TABLA N° 19: Resumen del talud Km.17+010 al Km. 17+080 Se reconoció tres familias cuyas características son las siguientes:.....	116
TABLA N° 20: Índice de designación de la calidad de la roca RQD: .....	118
TABLA N° 21: Resumen del talud Km.20+080 al Km. 20+160 Se reconoció tres familias cuyas características son las siguientes:.....	124
TABLA N° 22: Índice de designación de la calidad de la roca RQD: .....	126
TABLA N° 23: Resumen del talud Km.26+480 al Km. 26+540 Se reconoció tres familias cuyas características son las siguientes:.....	131
TABLA N° 24: Índice de designación de la calidad de la roca RQD: .....	133

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA N° 01: Plano de ubicación. ....	34
FIGURA N° 02: Principales formaciones geológicas en el área de estudio. ...	37
FIGURA N° 03: Esquema ilustrativo de los parámetros que describen las estructuras presentes en el macizo rocoso. ....	53
FIGURA N° 04: Terminología para definir la orientación de las discontinuidades, vista isométrica del plano (Buzamiento y Dirección de buzamiento). ....	54
FIGURA N° 05: Proyección polar y ecuatorial en una esfera. ....	55
FIGURA N° 06: Representación estereográfica ecuatorial de igual ángulo. ...	55
FIGURA N° 07: Representación estereográfica polar de igual ángulo. ....	56
FIGURA N° 08: Medidas de espaciamiento entre discontinuidades en afloramiento de un macizo rocoso que muestra 3 sets o familias de estructuras. ....	57
FIGURA N° 09: Diagramas que muestran la definición de la apertura de las discontinuidades y el ancho de las discontinuidades rellenas. ....	63
FIGURA N° 10: Carta para evaluar el índice de resistencia geológica en macizos rocosos fracturados. ....	72

FIGURA N° 11: Carta para evaluar el índice de resistencia geológica en macizos rocosos estratificados y heterogéneos. ....	73
FIGURA N° 12: Representación del criterio de Hoek y Brown, .en el espacio de tenciones normal y tangencial. ....	76
FIGURA N° 13: Efectos de rugosidad en el ángulo de fricción. ....	77
FIGURA N° 14: Envolvente de falla, criterio de Mohr- Coulomb. ....	79
FIGURA N° 15: Dirección de esfuerzos principales en la falla de un talud. ....	80
FIGURA N° 16. Tipos de superficies de rotura en suelos. ....	82
FIGURA N° 17: Efectos de las discontinuidades en la falla de los taludes. ....	84
FIGURA N° 18: Variación de cohesión y el ángulo de fricción dentro de una discontinuidad por el aumento de humedad. ....	87
FIGURA N° 19: Disposición de discontinuidades en el estereograma para un modo de falla planar. ....	88
FIGURA N° 20: Disposición de discontinuidades en el estereograma para un modo de falla por cuña. ....	89
FIGURA N° 21: Disposición de discontinuidades en el estereograma para un modo de falla por vuelco de bloques. ....	90
FIGURA N° 22: Esquema de métodos para estabilidad de taludes. ....	91
FIGURA N° 23: Método de la dovela para una rotura circular en una serie de fajas y rebanas verticales. ....	93

FIGURA N° 24: En la imagen se aprecia el Talud inestable de material colosaluvial de la Progresiva Km 16+100- Km 16+200.....108

FIGURA N° 25: Método Bishop simplificado evaluado con el programa slide.....108

FIGURA N° 26: Método Bishop simplificado evaluado el talud modificado con el programa slide.....109

FIGURA N° 27: En esta imagen se aprecia un afloramiento del macizo rocoso de arenisca cuarzosa en la progresiva Km 17+010 - Km 17+080.....110

FIGURA N° 28: En la fotografía se aprecia tres familias de discontinuidades en el macizo rocoso de arenisca cuarzosa en La Prog. 17+010 al 17+080. ....111

FIGURA N° 29: Representación de la distribución de polos en la red estereográfica que se representa en el talud de la Prog. Km. 17+010 al 17+080.....112

FIGURA N° 30: Diagrama de densidad de polos representado por familias en la proyección estereográfica de la Prog. Km. 17+010 Km. 17+080. ....113

FIGURA N° 31: Diagrama de planos de distribución representado y agrupados en familias a partir del grafico de polos del talud de la Prog. Km. 17+010 Km. 17+080. ....113

FIGURA N° 32: Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla de cuña con límite lateral de 20° con cono de fricción del talud de la Prog. Km. 17+010 Km. 17+080..114

FIGURA N° 33: Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla por cuña para un ángulo básico de 35° en talud de la Prog. Km. 17+010 al Km. 17+080. ....115

FIGURA N° 34: Determinando el factor de seguridad resulta 1.233 con el programa Swedge que significa que es estable Para la Prog. 17+010 al 17+080. ....115

FIGURA N° 35: Histograma de abertura Km.17+010 al km. 17+080.....116

FIGURA N° 36: Histograma de relleno Km.17+010 al km. 17+080. ....117

FIGURA N° 37: Histograma de rugosidad Km.17+010 al km. 17+080. ....117

FIGURA N° 38: Afloramiento del macizo rocoso de arenisca en la Progresiva Km 20+080- Km 20+160. ....119

FIGURA N° 39: Se aprecian tres familias de discontinuidades en el macizo rocoso del talud Progresiva Km 20+080- Km 20+160. ....120

FIGURA N° 40: Representación de la distribución de polos en la red estereográfica en el talud de la Prog. Km. 20+080 Km. 20+160. ....121

FIGURA N° 41: Diagrama de planos de distribución representado y agrupados en familias a partir del grafico de polos del talud de la Prog. Km. 20+080 Km. 20+160. ....121

FIGURA N° 42: Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla planar con limite lateral de 20° del talud de la Prog. Km. 20+080 Km. 20+160. .... 122

FIGURA N° 43: Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla por cuña para un ángulo básico de 35° en talud de la Prog. Km. 20+080 al Km. 20+160. .... 122

FIGURA N° 44: Determinando el factor de seguridad con el programa Swedge. Siendo el factor de seguridad que es 1.181 Progresiva Km 20+080- Km 20+160. .... 123

FIGURA N° 45: Histograma de abertura Km.20+080 al km. 20+160. .... 124

FIGURA N° 46: Histograma de relleno Km.20+080 al km. 20+160. .... 124

FIGURA N° 47: Histograma de rugosidad Km.20+080 al km. 20+160. .... 125

FIGURA N° 48: Afloramiento del macizo rocoso se aprecia una roca sedimentaria de arenisca cuarzosa, en la Progresiva Km 26+480- Km 26+540. .... 127

FIGURA N° 49: Representación de la distribución de polos en la red estereográfica el talud de la Prog. Km. 26+480 Km. 26+540. .... 128

FIGURA N° 50: Diagrama de planos de distribución representado y agrupados en familias a partir de polos del talud de la Prog. Km. 26+480 al Km. 26+540. .... 128



FIGURA N° 51: Análisis de estabilidad por el método estereográfico para  
falla de cuña con límite lateral de 20° de la Prog. Km.  
26+480 al Km. 26+160..... 129

FIGURA N° 52: Análisis de estabilidad por el método estereográfico para  
falla por cuña para un ángulo básico de 35° en talud de  
la Prog. Km. 26+480 al Km. 26+540. .... 130

FIGURA N° 53: Determinando el factor de seguridad 1.189 con el  
programa Swedge. que nos indica que es estable de la  
Progresiva Km 26+480- Km 26+540. .... 130

FIGURA N° 54: Histograma de abertura Km.26+480 al km. 26+540. .... 131

FIGURA N° 55: Histograma de relleno Km.26+480 al km. 26+540. .... 132

FIGURA N° 56: Histograma de rugosidad Km.26+480 al km. 26+540. .... 132

**ÍNDICE DE ANEXOS**

	<b>Pág.</b>
ANEXO “A” MAPEO LINEAL .....	142
ANEXO “B” ENSAYOS DE LABORATORIO .....	160
ANEXO “C” PLANOS .....	173

## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

**H:** *Altura del talud*

**$\Phi$ :** *Ángulo de fricción interna*

**E:** Este.

**FS:** Factor de seguridad

**GSI:** Índice Geológico de Resistencia / *Geological Strength Index*.

**ISRM:** Sociedad internacional Mecanica de Rocas

**JRC:** Coeficiente de rugosidad de las juntas o estructuras

**m:** Metro

**MPa:** Mega Pascales.

**m.s.n.m:** Metros sobre el nivel del mar

**N:** Norte.

**RMR:** Calidad de maciso rocoso / *Rock Mass Rating*.

**RQD:** Índice de designación de la calidad de roca / *Rock Quality Designation*.

**S:** Sur.

**SENAMHI:** Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología

**S.U.C.S.:** Sistema unificado de clasificaciones de suelos

**U.N.A.:** Universidad nacional del altiplano

**UTM:** Sistemas de coordenadas universal / *Universal Transverse Mercator*

**W:** Oeste

## RESUMEN

El presente trabajo es el resultado de una investigación, con la finalidad de realizar un análisis, en la **estabilidad de taludes, de suelos y macizos rocosos** de la Carretera Muñani- Saytocochoa tramo Km.14+700 al Km.30+000, Distrito de Muñani, Provincia de Azángaro. Por lo cual se contempla demostrar las causas que se presentan en los deslizamientos de taludes; por tal razón que se ha pretendido determinar cuáles son las razones de esta inestabilidad. Es bastante complejo por la presencia de estructuras fuertemente disturbadas, dando lugar a fracturamiento en los macizos rocosos, los cuales por estar constituidos por areniscas, cuarzosas así como la cobertura de depósitos cuaternarios aluviales que son propensas a un fuerte proceso de erosión y meteorización, produciéndose alteraciones profundas en la estructura rocosa. Las fuertes precipitaciones, la infiltración, la erosión hidrogeológica y los cambios bruscos de temperaturas, están alterando la estructura de las rocas, produciendo alteraciones en las propiedades físicas mecánicas de la roca y de los suelos la disminución de los esfuerzos de resistencia como la cohesión, la fricción interna y las fuerzas resistentes, por lo cual el talud de la prog. 16+100 al 16+200 es un talud inestable. Se realizó un mapeo lineal, para determinar sus propiedades físicas mecánicas de los taludes de rocas de las prog. 17+010 al 17+080, 20+080 al 20+160, 26+480 al 26+540. son taludes estables de modo de falla de cuña. Determinados en campo y laboratorio, así mismo empleado: Rack Mass Rating (RMR - Bieniawski 1989), Rack Quality Designation (RQD - Deere 1967) y Geological Strength Index (GSI- Hoek 1994); y la clasificación de suelos en base del sistema SUCS Los resultados que se obtuvieron son de gran importancia para analizar el comportamiento de los taludes. Los análisis de estabilidad de taludes se efectuaran con la finalidad de alargar la vida útil de los mismos, estos han sido realizados en el presente trabajo de investigación pretendemos dar respuesta a las siguientes interrogantes:

**Palabras clave:** Estabilidad de taludes, propiedades geomecánica, equilibrio limite, factor de seguridad, geotecnia.

## ABSTRACT

The present work is the result of an investigation, with the purpose of making an analysis, in the stability of slopes, of soils and rocky massifs of the Carretera Muñani-Saytocochoa section Km.14 + 700 to Km.30 + 000, District of Muñani, Province of Azángaro. Therefore, it is contemplated to demonstrate the causes that occur in the slopes of slopes; for this reason it has been tried to determine what are the reasons for this instability. It is quite complex due to the presence of strongly disturbed structures, giving rise to fracture in the rocky massifs, which are constituted by sandstones, quartz as well as the coverage of alluvial quaternary deposits that are prone to a strong erosion and weathering process, producing deep alterations in the rock structure. The strong precipitations, the infiltration, the hydrogeological erosion and the abrupt changes of temperatures, are altering the structure of the rocks, producing alterations in the physical mechanical properties of the rock and of the soil the decrease of the resistance efforts such as the cohesion, internal friction and resistant forces, so the slope of the prog. 16 + 100 to 16 + 200 is an unstable slope. A linear mapping was carried out to determine the mechanical physical properties of the rock slopes of the prog. 17 + 010 to 17 + 080, 20 + 080 to 20 + 160, 26 + 480 to 26 + 540. are stable slopes of wedge fault mode. Determined in field and laboratory, likewise used: Rack Mass Rating (RMR - Bieniawski 1989), Rack Quality Designation (RQD - Deere 1967) and Geological Strength Index (GSI - Hoek 1994); and the classification of soils based on the SUCS system. The results obtained are of great importance to analyze the behavior of the slopes. The stability analyzes of slopes will be carried out with the purpose of extending the useful life of the same, these have been made in the present research work we intend to answer the following questions: What would be the stability of slopes of the highway muñoni saytocochoa section Km 14 + 700 to Km 30 + 000, evaluating from the geological and geotechnical point of view?.

**Keywords:** Stability of slopes, geomechanical properties, limit equilibrium, safety factor, geotechnics.

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1. GENERALIDADES

En el presente trabajo, de estabilidad de taludes se realizó por la necesidad de determinar los posibles taludes inestables que pueden deslizarse generando riesgos en la carretera muñani saytocochoa, La configuración geográfica de nuestro región, es complicada ha influenciado enormemente en el desarrollo de la economía, en esta parte de la región de Puno y por ende la provincia Azángaro y san Antonio de Putina, la formación que se presenta el relieve abruptos que atraviesan en especial en esta zona de investigación; constituyen algunos riesgos de inestabilidad de taludes.

Es importante mencionar que la geología presente en el área de estudio presentándose desde material rocoso hasta suelos, por lo tanto para determinar las amenazas la inestabilidad de taludes, se divide en el análisis en una etapa para suelos y otro para las rocas.

La estabilidad de taludes rocosos se determinó las propiedades de las discontinuidades presentes en el macizo rocoso y la influencia que pueden tener esas discontinuidades en la estabilidad, identificando los modos de falla que son de cuña para dichos macizos rocosos.

La presente investigación plasma a manera detallada la elección del método de análisis de taludes por el método de equilibrio límite en taludes estructuralmente controlados y así poder obtener un factor de seguridad, que nos ayudara a entender mejor el problema. Así mismo se realizó, el comportamiento de las aguas superficiales y subterráneas que pueden afectar en la estabilidad de los taludes.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Tanto en el pasado como en el presente siglo se han presentado cambios fundamentales en la relación hombre-medio ambiente. La actividad antrópica ha generado una aceleración de los agentes naturales, a la par que el desarrollo económico, ha aportado un incremento de la vulnerabilidad, acrecentando los riesgos de las actividades socioeconómicas, los taludes inestables se constituyen en un peligro latente que es importante caracterizar para su prevención y control.

Los fenómenos de remoción en masa tipo deslizamientos, caídas, flujos , reptación entre otros, hacen parte de fenómenos naturales que son manifestaciones de la construcción de vías, constituyéndose en uno de los procesos geotécnicos más comunes que inciden en la superficie terrestre y que son una amenaza latente.

Es posible considerar el tramo en estudio como una de las zonas de gran susceptibilidad a fenómenos importantes de remoción en masa que afectan los taludes; lo que convierte en una necesidad prioritaria la identificación, el análisis y la discriminación de las diferentes zonas inestables y los factores que contribuyen a la generación de las mismas y que convierten esta tramo de estudio, que a futuro podrían ser de riesgo.

Es perfectamente justificable la realización de un estudio con la finalidad de obtener el conocimiento de los parámetros geotécnicos del suelo y de las rocas, que puedan ayudar en la solución de estos problemas.

### **1.3. OBJETIVO GENERAL**

Determinar la estabilidad de taludes de la carretera Muñani Saytocochoa del tramo Km 14+700 al Km. 30+000, distrito Muñani, provincia Azángaro.

#### **1.3.1. Objetivos específicos**

- Determinar las propiedades físicas mecánicas de taludes de la carretera Muñani Saytocochoa del tramo Km 14+700 al Km. 30+000
- Analizar el flujo de aguas subterráneas y superficiales.
- Evaluar los taludes utilizando el método de equilibrio límite, tanto en rocas como en suelos.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN LITERARIA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

En su trabajo especial de grado de Título “Caracterización geológica y geomecánica de los macizos rocosos de la sección Guatire- Caucahua de la autopista Rómulo Betancourt, Estado Miranda”, presentada en la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela, concluye en lo siguiente: Conclusión N° 06: Los modelos cinemáticos, utilizados tradicionalmente (diagramación de discontinuidades en proyección estereográfica) para la predicción de ocurrencia de fallas siguen siendo certeros. Conclusión N° 10: Es importante para cualquier metodología que implique el uso de GSI como parámetro numérico de información geológica, una buena descripción en campo de las características de las discontinuidades, como rugosidad, meteorización, abertura y rellenos presentes. (Azuarte, 2004).

En su tesis de título “Consideraciones Geológico - Geotécnicas para el diseño de taludes en macizos rocosos” presentada en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala en sus conclusiones menciona.

- Conclusión N° 01: “La estabilidad de taludes rocosos depende en gran parte de la existencia, distribución espacial y naturaleza de planos defectuosos o discontinuidades dentro del macizo rocoso. - Conclusión N° 05: “El propósito de la recolección de datos estructurales es definir la geometría del macizo rocoso para promover una base para la escogencia más apropiada del modo de ruptura del macizo. Esta es una de las más importantes decisiones de todo el proceso de la investigación de la estabilidad de taludes, ya que la escogencia incorrecta del modo de ruptura invalidaría el análisis realizado”. - Conclusión N° 07: “La utilización de la platilla estereográfica, tiende a simplificar el análisis de tipo de falla de los diversos tipos de falla en macizos rocosos, por lo que se recomienda su utilización”. (Cosillo, 1999).

En su tesis de Titulo “Caracterización geotécnica y determinación de ángulos de talud en yacimiento Franke”, presentada en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería de Minas de la Universidad de Chile, concluye en lo siguiente: Conclusión N° 01: El UCS por unidad litológica ha sido estimado de acuerdo a ensayos de carga puntual para cada una de ellas; sin embargo existen ensayos de compresión uniaxial para tres de esas unidades (andesita porfídica, andesita porfídica amigdaloidal y ocoíta) que arrojan resultados mucho menores para este valor. Si bien no se tiene información acerca del equipamiento con el que han sido realizados ambos ensayos, sí es posible apreciar que existe una gran diferencia entre ambos métodos, y sólo considerando la desviación estándar en ambos casos se puede llegar a un valor común, pero muy alejado del promedio. Conclusión N° 02: El GSI por unidad geológica determina sólo las características globales de las cualidades geotécnicas de la misma, entonces se concluye que lo que realmente gobierna

el comportamiento es la profundidad y el evento mineralizador (asociado a fallas en el centro del yacimiento) tal como se puede apreciar en los planos y secciones transversales adjuntas. Conclusión N° 06: El análisis determinístico, según modo de falla para cada uno de los perfiles, entrega factores de seguridad mayores a 1.3 en todos los casos al considerar el ángulo global de diseño. Conclusión N° 07: Luego el análisis probabilístico se cumple para cada uno de los perfiles, satisfaciendo los requisitos establecidos como aceptables. Es importante destacar que los perfiles 6, 9, 10 y 11 presentan las mayores probabilidades de que el factor de seguridad sea menor a 1.3. (Morales, 2009).

En su tesis de Título “Estudio geotécnico para la estabilidad de taludes en la carretera: Patahuasi - Yauri - Sicuani tramo: el Descanso - Langui”, presentada en la Facultad de Ingeniería Geológica y Metalúrgica de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, concluye en lo siguiente: Conclusión N° 05: El factor de seguridad adoptado es de 1.30 para el cálculo estático y de 1.00 para el cálculo pseudoestático realizado con el programa (software) “slide” versión 5.0, utilizando los métodos de Janbu Simplificado y de Bishop Simplificado, y su comprobación con el método de Hoek Bray. Conclusión N° 07: La combinación de la pérdida de presiones efectivas verticales, unido al relajamiento de las tensiones horizontales y la existencia de presiones hidrostáticas producidas por la saturación, pueden provocar el efecto de rotura progresiva. Conclusión N° 08: El afloramiento de riodacita porfírica ha permitido la toma de datos estructurales y realizando el análisis cinemático para determinar la estabilidad del talud, con lo cual se determinó que no existe ningún tipo de falla que podría ocurrir en el talud, salvo algunos desprendimientos de pequeños bloques, lo cual requiere un buen desatado. (Carnero, 2011).

En el trabajo denominado “Evaluación de la estabilidad de taludes en la mina Lourdes” presentado en la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann en sus conclusiones menciona.

- Conclusión N° 03: “Se levantó información estructural mediante línea de detalle; determinándose como el sistema de discontinuidades más desfavorable, en la cantera Lourdes, Configurando el riesgo potencial de una inestabilidad por falla de corte plana. El análisis de estabilidad se desarrolló utilizando el método de equilibrio límite”. (Rodríguez, Morales, & Paredes, 2003).

En su tesis de título “Análisis de estabilidad de taludes en macizos rocosos aplicando el método de elementos distintos” presentada en la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano en sus conclusiones menciona. - Conclusión N° 05: “los factores de mayor influencia en la inestabilidad del talud sureste de la mina Cuajone son la geometría del talud (altura y ángulo de inclinación), las estructuras geológicas, el nivel freático y el factor sísmico. (García, 2005).

Al respecto de rocas, En su artículo de título “Problemas estructurales y la estabilidad de los macizos rocosos” presentado a la revista del Colegio de Ingenieros del Perú Puno en sus conclusiones menciona. - Conclusión N° 01: “La evaluación de problemas estructurales en macizos rocosos, mediante proyección estereográfica, es un medio conveniente en la identificación de direcciones dominantes de discontinuidades”. Conclusión N° 03: “La representación estereográfica permite verificar las relaciones angulares entre las direcciones dominantes de las discontinuidades y el talud propuesto”. (Rodríguez, 2014).

Tesis “Estudio de estabilidad de taludes y tratamiento de deslizamientos – Cancharani - Puno”. Presentada a la biblioteca especializada Ingeniería Civil U.N.A Puno). En cuyas conclusiones indica lo siguiente: Conclusión 2.- La pendiente del terreno no es preponderante en la desestabilización del talud. Conclusión 5.- La infiltración de agua en el talud es uno de los principales factores desestabilizantes del talud. Conclusión 6.-La inestabilidad del talud es gobernada fundamentalmente por parámetros geotécnicos. Conclusión 8.-La acción del sismo y la baja resistencia del suelo al cortante contribuyen adicionalmente al desequilibrio del talud. Conclusión 9.- Es necesario la ejecución de obras civiles con la finalidad de corregir la inestabilidad del talud, evitando el flujo del agua a la zona de deslizamiento con la construcción de un canal de coronación; la construcción de drenes subterráneos con la finalidad de deprimir nivel freático y la presión ejercida por el agua al suelo, así como la corrección del perfil del talud efectuando cortes de material en los perfiles transversales, con la finalidad de aminorar las fuerzas motoras del talud. (Molina, 2004).

## **2.2. ANTECEDENTES DEL PROYECTO**

### **2.2.1. Ubicación**

La Carretera Muñani Saytocochoa Tramo 02 (km 14+700 al km 30+000), está delimitado por las coordenadas UTM que se muestran en la tabla 01, políticamente la obra en ejecución se encuentra ubicada en:

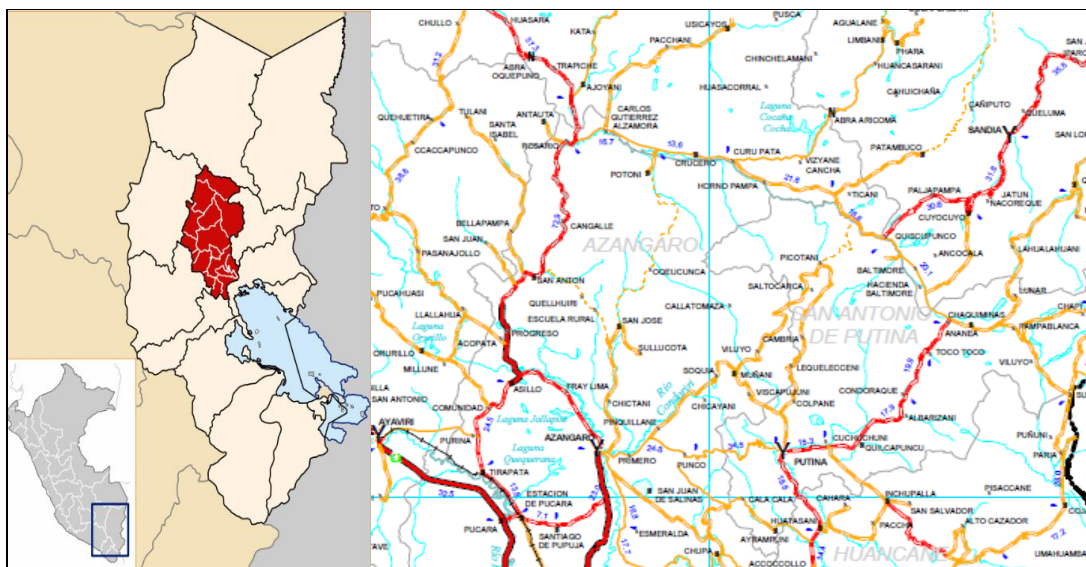
- Región: Puno
- Provincia: Azángaro y San Antonio de Putina

- Distrito: Muñani y San Antonio de Putina

**TABLA N° 01:** Coordenadas del tramo II de la carretera Muñani Saytocochoa.

NOMBRES	NORTE	ESTE	ALTITUD
Muñani	8 367 021	397 078	3 945.00 msnm
Inicio Tramo	8 374 189	404 493	4 418.00 msnm
Final Tramo	8 382 919	410 361	4 697.00 msnm

Fuente: Elaboración propia.



**FIGURA N° 01:** Plano de ubicación.

Fuente: Elaboración propia.

**TABLA N° 02:** Área de investigación parte de análisis de la estabilidad de taludes.

TRAMOS	NORTE	ESTE	ALTITUD
Km 16+100 al 16+200	8 374 095	404 906	4675.00 msnm
	8 374 370	405 227	4679.00 msnm
Km 17+010 al 17+080	8 374 615	405 958	4682.00 msnm
	8 374 689	406 102	4687.00 msnm
Km 20+080 al 20+160	8 377 665	406 465	4688.00 msnm
	8 376 749	406 636	4689.00 msnm
Km 26+480 al 26+540	8 380 603	408 640	4694.00 msnm
	8 380 616	408 632	4694.00 msnm

Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.2. Accesibilidad

Las vías de acceso disponibles para llegar a la zona del estudio son:

**TABLA N° 03:** Acceso principal al área de investigación.

VÍAS DE ACCESO	TRAMO	DIST. (Km)	TIEMPO (min)	TIPO DE VÍA	VÍA PRINCIPAL
	Puno – Juliaca	45	40	Asfaltada	Puno – Juliaca
Juliaca – Azángaro	66	60	Asfaltada	Juliaca – Sandia	
Azángaro – Muñani	32	60	Asfaltada	Muñani – Saytocochoa	
Muñani – Saytocochoa	58	150	Afirmada		

Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.3. Clima

En general el clima de Puno varía entre frío y cálido. En las orillas del lago y en los valles hasta los 4 000 m.s.n.m. es frío y temperado por la influencia del lago, a mayores alturas es muy frío y glacial; en la selva el clima es cálido con precipitaciones pluviales y La temperatura promedio máxima es de 22°C y la mínima de 1,4°C. Las precipitaciones pluviales en el altiplano, obedecen a una periodicidad anual de cuatro meses (diciembre a marzo); esta periodicidad, a pesar de determinar las campañas agrícolas.

El promedio máximo de precipitación total por año es de 1,119 milímetros y el promedio mínimo es de 410 milímetros administradas por Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), y la que se encuentra en la zona de estudio es la estación de MUÑANI Y ANANEA.

#### **2.2.4. Relieve**

El relieve topográfico es empinado por tramos y colinoso en las partes bajas presentando gradientes moderadas, ocupa las laderas y paredes de los valles interandinos. De Orografía accidentada en su mayor parte accidentada; con algunas zonas llanas.

### **2.3. GEOLOGÍA**

#### **2.3.1. Estratigrafía local**

La zona de estudio está constituida principalmente por cuarcitas, areniscas 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 de formación Muñani, compuesto de arenisca, cuarcitas seguida por una secuencia de estratos de cuarcitas interestratificadas con arenisca cuarzosa, sedimentos fliohoides 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.



COLUMNA ESTRATIGRAFICA					
UNIDADES ESTRATIGRAFICAS DE TIEMPO			UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS		
ERA	SISTEMA	SERIE	NOMBRE	SIMB.	LITOLOGIA
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOGENO	Fm. Azángaro	TQ-az	Lutitas y arenisca de grano fino sedimento con arcilla, cuaternario de material aluviales
			Fm. Muñani	K-mñ	Arenisca de grano grueso de color anaranjado, limo arcillitas
MESOZOICO	CRETACEO	SUPERIOR	Fm. Vilquechico	Ks-vi	Lutitas de color abigarrada, arenisca, limoarcillitas
			Gpo. Moho	K-mo	Arenisca a secuencia limonítica y fangolítica
		MEDIO	Fm. Huancané	Ki-hu	Arenisca cuarzosa blanco rosácea, calizas laminadas
		INFERIOR	Grupo Copacabana	Pi-c	Caliza y arenisca gris clara con presencia de chert en estratos tabulares
PALEOZOICO	PERMICO	INFERIOR	Grupo Tarma	Cs-t	Arenisca cuarzosa con intercalaciones de calizas
	CARBONIFERO	PENSILVANIANO	Grupo Ambo	Ci-a	Conglomerado, arenisca y lutita
		MISISIPIANO	Formación Sandía	Os-s	Pizarras, arenisca cuarcítica, y lutitas
	ORDOVÍCICO	SUPERIOR			

**FIGURA N° 02:** Principales formaciones geológicas en el área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

La Cordillera de los Andes definitivamente ha influido en el relieve de toda esta región, modificando las estructuras, como la lito-estratigrafía y geomorfología del contexto geológico; y como producto de dichas perturbaciones, se encuentran extensos depósitos de suelos con caracteres heterogéneos en potencia, litología y granulometría.

Como antecedentes de estudios de alcances regionales relacionados con la zona de estudio, solamente se ha consultado el Cuadrángulo de Putina (memoria y plano), publicado por Ingemmet en 1996; y la información actualizada

efectuado por la misma entidad publicada en el año 2002. Justamente tomando como referencia dicha información, se han elaborado los planos geológico regional y litológico – estructural, a escala 1:50 000, que. A continuación se describe en forma cronológica la secuencia lito-estratigráfica del ámbito regional pero relacionado con el área de estudio.

### **2.3.2. Era Paleozoico**

#### **2.3.2.1. Formación Sandia (Os-s)**

Esta formación es de origen marino, aflora en una franja continua en el flanco NE de la Cordillera Oriental. El contacto SO con la formación Ananea es por una falla inversa (falla Ollachea) y el contacto NE con el grupo San José es igualmente por fallamiento. Esta unidad se encuentra afectada por esquistosidades, que han originado pizarras. Así mismo es importante indicar que en esta formación se han emplazado la mayor parte de los cuerpos intrusivos.

Litológicamente su parte inferior está constituida por arenisca cuarzosa de grano medio a fino é intercaladas con pizarras. La parte superior está compuesta por bancos gruesos de areniscas de grano fino a medio, de 2 m a 4 m de espesor y cuarcitas grises, intercaladas con lutitas y secuencias de pizarras; la estructura interna de estas capas en laminación paralela, también se observa pirita diseminada en las areniscas de la parte inferior. Se le asigna una edad Ordovícico Superior y un grosor de 1500m, aproximadamente se encuentra en Km.18+500.

En esta formación las rocas son duras, parcialmente estables, moderadamente fracturadas, que no favorecen a la ocurrencia de acciones

erosivas, ni movimientos de masa, salvo situaciones muy locales, donde el buzamiento. Se da a favor de las pendientes, cuando éstas son muy pronunciadas. Los factores externos de pendiente y clima lluvioso son determinantes.

#### **2.3.2.2. Grupo Ambo (Ci-a)**

Para agrupar una secuencia de capas continentales de edad Misisipiana. En la sección tipo, proveniente del pueblo de Ambo en el Perú central, el grosor total de la secuencia fue medido en 825 m consistiendo esencialmente en areniscas cuarcíticas con intercalaciones de lutitas negras. Se hallan presentes, niveles de conglomerados delgados unidades con estratificación cruzadas, habiéndose encontrado plantas fósiles. La parte superior está caracterizada por tobas.

En el área del proyecto el Grupo Ambo ha sido reconocido en el cuadrángulo de Puno y tiene su mejor desarrollo en el cuadrángulo de Juliaca. Puede ser identificado sobre las fotografías aéreas por la presencia de una unidad basal de arenita cuarcífera que sobresale por su tono blanquecino, formando pequeñas escarpas, no se encuentran tobas.

#### **2.3.2.3. Grupo Tarma (Cs-t)**

Compuesto por areniscas feldespáticas de color verde a verde grisáceo intercalada con calizas micas de color grises con limo arcillas en menor proporción se encuentra en el Cuadrángulo de la Rinconada en los Cerros Huaractira Moraruni, en el Cuadrángulo de Putina en los Cerros Japu, Japujara.

#### **2.3.2.4. Grupo Copacabana (Pi-co)**

Son calizas con capas gruesas, se intercalan con calizas espáticas y calizas bioclásticas con presencia de fósiles, se establece a este grupo a la edad de Leonardiano inferior, se encuentra en el Cuadrángulo Putina en los Cerros de: Lamira, Callo, Llata, cerro Lloca, cerro Jotanan, Juaccuni, Pajjachani, cerro Selora, Cerro Pitanane, cerro Colini, en el Cuadrángulo de Rinconada en el Cerro Ccarcaccollo.

#### **2.3.3. Era Mesozoico**

##### **2.3.3.1. Grupo Moho (K-mo)**

Esta unidad de la sucesión en la cuenca Putina fue designada como Grupo Moho, identificando un área tipo cerca al pueblo de Moho. Sus afloramientos se encuentran únicamente en la Cuenca Putina, mayormente en la zona indicada al NE. Del Lago Titicaca. Esta formación descansa en conformidad sobre la Arenisca Huancané con un cambio marcado en la litología en unos 4 ó 5 m. pasando de predominantemente areniscosos a una secuencia limonítica y fangolítica de color rojo. Una sección completa de la Formación Moho fue medida en el presente estudio al Norte de la Carretera Moho-Huancané a Lloquecane (4382- 83075), 8 km. al Norte de Moho.

##### **2.3.3.2. Formación Vilquechico (Ks-vi)**

Conformado por lutitas de color abigarrado y areniscas cuarzosas en capas delgadas se ubica en el Cuadrángulo de Moho en los Cerros de Quishuarani, Torillo jarita, Pacahuacha, en el Cuadrángulo de Huancané en los Cerros de: Chataqueña, Putuni, Tarangani.

### **2.3.3.3. Formación Muñani (K-mñ)**

Son arenisca de grano grueso de colores anaranjados y marrón, carece de fósiles, es probable que sea de la edad Cretáceo Superior a Terciario Inferior, se encuentra en el Cuadrángulo de Huancané en el Cerro de: Antamira, en el Cuadrángulo de Moho en los Cerros de: Altocarca, Porocane, Salto. En el Cuadrángulo de Putina con los Cerros de: Jome.

### **2.3.4. Era Cenozoico**

#### **2.3.4.1. Cuaternario**

Los Depósitos Aluviales son Compuestos de arenas gravas arcillas heterogéneos conglomerados mal clasificados, terrazas bajos, depósitos cuaternarios reciente acumulaciones arrastrados por los ríos formando extensos depósitos de sedimentarios en planicies, se encuentra en el cuadrángulo de Putina en la Pampa Iliazapata, Ichoccollo, Liruccacca; en la zona de Ichuccota en Cuadrángulo Azángaro en: Jayunipampa; en el Cuadrángulo de la Rinconada en las pampas de: San Miguel pata e Iscacruz.

#### **2.3.4.2. Formación Azángaro (TQ-az)**

Son lutitas sueltas y areniscas de grano fino sedimento lacustre con arcillas, se encuentra en el Cuadrángulo de Putina en planicies de la Hacienda Churura.

### **2.3.5. Holoceno**

Compuesto por bloques angulosos a sub angulosos de rocas sedimentarias, metamórficas, volcánicas de diámetro variable con matriz arena

limo arcilla suelto, formados durante la última glaciación y desglaciación principalmente en zonas laterales que cubrieron partes de las montañas del altiplano, estas geo formas son depósitos porosas retienen el agua y alimentan manantiales, se encuentra en el Cuadrángulo de Putina en los depósitos de: Sacrarane, Comeoicco, Ancoccalá, Islapampa, Saltocarca, pampa Pulchiracota; en el Cuadrángulo de la Rinconada en los depósitos de: Pararani, Ccaccani, Angosto, Pajacollo.

### **2.3.6. Geomorfología**

El área del subtramo Muñani- Saytocochoa muestra geoformas relacionadas con el modelado resultante de la acción erosiva de las escorrentías superficiales y procesos de sedimentación; habiéndose desarrollado el sistema de drenaje tipo dentrítico a rectangular que desemboca en el río Putina. Como resultado de la evolución geomorfológica, se ha generado un relieve caracterizado por profundas depresiones limitadas por flancos de suaves a fuertes pendientes con morfologías irregulares a sumamente accidentadas. Dicho relieve geomorfológico está vinculado a las geoformas de alcance regional, que se describen a continuación:

### **2.3.7. Unidades geomorfológicas regionales**

#### **2.3.7.1. Cordillera Oriental**

Es la unidad más relevante por su topografía abrupta y su extensión; hacia el Este el relieve tiene fuerte pendiente dando origen a laderas escarpadas, ocupadas por una vegetación de bosques y plantas, característicos de zonas agrestes. El relieve de esta unidad geomorfológica no se extiende por el área de estudio que nos ocupa. (Ingemmet, 1996).

### **2.3.7.2. Faja Subandina**

Es conocida como Pre-cordillera, conformada por basamentos de rocas sedimentarias mesozoicas y paleozoicas, cubiertas mayormente por el cuaternario aluvial, la vegetación es espesa propia de la selva alta y desarrollada en relieves moderados a abruptos. Esta faja subandina es la parte intermedia entre la cordillera oriental topográficamente viene a constituir las estratificaciones más alejadas de la cordillera oriental. Esta unidad está conformada por una estrecha faja de colinas de relieve moderado, los cauces con escorrentías permanentes y regímenes tipo torrente se inician en las cuencas altas, luego van entregando progresivamente sus descargas a ríos de mayor envergadura. En cada ciclo hidrológico se vienen desarrollando procesos erosivos y colmataciones de materiales aluviales en volúmenes considerables, cuyos elementos líticos tienen tamaño promedio de 0.30 m. de diámetro. (Ingemmet, 1996).

### **2.3.8. Unidades geomorfológicas locales**

#### **2.3.8.1. Terrazas**

Estas unidades geomorfológicas están formadas en las llanuras como resultado de los procesos de erosión fluvial (socavación, erosión) en los cauces de los ríos; debido a los cambios producidos durante los periodos de rejuvenecimiento que modifican los perfiles de los niveles de base de los ríos especialmente, del río Putina. A lo largo del sub-tramo Muñani- Saytococho se observan terrazas en niveles diferentes, donde las más antiguas se encuentran en las partes más altas y alejadas de los actuales cauces; mientras que las recientes se encuentran a niveles bajos y están ubicadas por las cercanías a los

cauces, siendo sus materiales de arenas y limos, que en algunos casos pueden ser afectados por procesos fluviales en épocas de crecidas temporales extraordinarias. Estas geoformas se presentan en las zonas Km 29+00 al Km30+00.

#### **2.3.8.2. Valles fluviales**

Se emplazan en la mayor parte del trazo, conformando los cursos inferiores de los pequeños ríos y quebradas; especialmente en las zonas de la quebrada Quisuarani al Norte de Muñani Tienen pendientes suaves, con fondo plano rellenado por depósitos fluviales inconsolidados; los cuales están conformados por gravas, arenas y limos con cantos rodados de formas sub redondeadas a sub angulosas de composición heterogénea.

#### **2.3.8.3. Conos de deyección**

Son depósitos localizados en las desembocaduras de los cauces de los ríos y quebradas, con formas suaves y modeladas, sus elementos conformantes son fragmentos, bloques, cantos rodados, gravas y arenas, con escasos finos. En el trazo, hay un cono de deyección pleistoceno Km 19+570.

#### **2.3.9. Geología estructural**

En el área que nos ocupa se encuentran rasgos estructurales tipo fallas, plegamientos y otras discontinuidades como fisuramientos y contactos geológicos.



### **2.3.9.1. Fallas**

En general los fallamientos tienen rumbos sub – paralelos sw 15/68 falla normal en el Km. 30+320 y son de considerables longitudes y con relación al trazo lo cruzan en forma transversal; se encuentran desde el Cerro Mallcacatahui, Cerro Pitacane, Cerro Jaquihuarconi, y Cerro Collini.

### **2.3.9.2. Plegamientos: Sinclinales y anticlinales**

Estos fenómenos de naturaleza estructural están plegando a las formaciones sedimentarias y también tienen incidencia directa en la alteración geomecánica de sus componentes; cuyos ejes axiales son de 1 Km a 2 Km y se orientan transversalmente al trazo de la vía. En el sector Muñani- Saytocochoa hay sinclinales ubicados en las zonas Km16+780 al Km 28+580; donde hay peligros geológicos como deslizamientos, huaycos, desmoronamientos y erosión fluvial. La secuencia de anticlinales ubicados entre las zonas Km 14+700 al Km24+680 deben relacionarse con desmoronamientos, deslizamientos en el macizo rocoso de arenisca y erosión fluvial del río de la zona de Muñani observándose una cadena de cerros Colinas y Lomadas.

### **2.3.9.3. Fisuramientos**

Constituyen discontinuidades en los macizos rocosos, que por sus frecuencias, longitudes y caracteres de los planos de los fisuramientos afectan de manera diferencial la estabilidad de los macizos rocosos, especialmente los existentes en el trazo de la vía.

#### 2.3.9.4. Contactos geológicos

Son otros rasgos estructurales que normalmente constituyen discontinuidades en donde se producen alteraciones físico-mecánicas de los componentes litológicos de las formaciones; lo que finalmente contribuye en cierta medida en la desestabilización de laderas.

#### 2.3.10. Geodinámica externa

##### 2.3.10.1. Procesos geodinámicas

Entre los principales procesos de geodinámica externa, se tiene los siguientes:

##### 2.3.10.2. Derrumbe

Es la caída repentina de una porción de suelo o roca por pérdida de la resistencia al esfuerzo cortante. No presenta planos o superficies definidas de deslizamiento. Este fenómeno suele estar condicionado por la presencia de discontinuidades o grietas, generalmente ocurren en taludes de fuerte pendiente.

**Causas:** La fuerza de la gravedad; socavamiento del pie de un talud, modificación o corte de un talud natural; presencia de zonas de debilidad (fallas, fracturas, etc.); precipitaciones pluviales e infiltración de agua, provocando la presión hidrostática de agua acumulada; movimientos sísmicos; fuertes vientos; diseños de voladuras con factor de carga no optimizado, o uso indebido de ellos; resistencia física inadecuada de los materiales.

##### 2.3.10.3. Asentamiento

Es el descenso o movimiento vertical de una porción de suelo o roca.

**Causas:** Disolución de rocas calcáreas, circulación de aguas subterráneas; extracción de aguas subterráneas, petróleo y minerales; extracción o remoción del subsuelo; falta de sustentación en perforaciones mineras; excavación de túneles o cavernas artificiales; cavernas naturales.

#### **2.3.10.4. Desprendimiento de rocas**

Son caídas violentas de fragmentos rocosos de diverso tamaño, en forma libre, saltos, rebote y rodamiento por pérdida de la cohesión. Ocurren en pendientes empinadas, de afloramientos rocosos muy fracturadas y/o meteorizados, así como en taludes de suelos que contengan fragmentos rocosos o en bloques sueltos sobre laderas.

**Causas:** Intensas precipitaciones pluviales; fuerte pendiente de los taludes y densidad de fractura miento en las rocas; pérdida de resistencia en los planos de discontinuidades por la presencia de agua que ejerce presiones intersticiales; fuerzas desarrolladas por la acción del hielo y deshielo en las juntas y fracturas; acción de la gravedad y movimientos sísmicos.

#### **2.3.10.5. Erosión de laderas**

Es un término bastante amplio que involucra varios fenómenos que pueden a mayor detalle, ser particularizados (erosión en zanjas profundas, remoción de escombros de talud, erosión en mantos). En términos generales se entiende por erosión de laderas todos los procesos que ocasionan el desgaste y traslado de los materiales de superficie (suelo o roca) por el continuo ataque de agentes erosivos tales como, agua de lluvias, escurrimiento superficial, vientos, etc. que tienden a degradar la superficie natural del terreno.

**Causas:** Laderas desprovistas de cobertura vegetal, depósitos inconsolidados, intensas precipitaciones pluviales, componente vertical y horizontal de la fuerza erosiva de la corriente; erosión difusa y en surcos; pendientes moderadas a fuertes de la ladera.

## **2.4. MARCO TEÓRICO**

### **2.4.1. Consideraciones sobre estabilidad de taludes**

En cualquier parte de la superficie terrestre la gravedad empuja continuamente los materiales hacia niveles inferiores. Los problemas que presenta la estabilidad de taludes, tanto naturales como excavados, han sido objeto de análisis en varios dominios de la actividad humana y con especial atención en los incluidos en la ingeniería civil. La distinta naturaleza de las rocas que forman los macizos rocosos implica una problemática determinada en su comportamiento ante la estabilidad de taludes. El comportamiento de un macizo rocoso generalmente depende de las características de las discontinuidades (estratificación, diaclasas, fallas, esquistosidad, etc.) que presenta, así como la litología de la matriz rocosa y su historia evolutiva. Ya que generalmente los diferentes modos de falla que se producen en los medios rocosos siguen superficies ya existentes. (Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1987).

### **2.4.2. Factores influyentes en la estabilidad de taludes**

La estabilidad de un talud está determinada por factores:

- Geométricos (altura e inclinación)
- Factores geológicos (que condicionan la presencia de planos y zonas de debilidad y anisotropía en el talud)

- Factores hidrogeológicos (presencia de agua)
- Factores geotécnicos o relacionados con el comportamiento mecánico del terreno (resistencia y deformabilidad).

La combinación de los factores citados puede determinar la condición de rotura a lo largo de una o varias superficies, y que sea cinemáticamente posible el movimiento de un cierto volumen de masa de suelo o roca. La posibilidad de rotura y los mecanismos, y modelos de inestabilidad de los taludes están controlados principalmente por factores geológicos y geométricos.

Los factores geológicos, hidrogeológicos y geotécnicos se consideran factores condicionantes, y son intrínsecos a los materiales. En los suelos, la litología, estratigrafía y las condiciones hidrogeológicas determinan las propiedades resistentes y el comportamiento del talud. En el caso de macizos rocosos competentes el principal factor condicionante es la estructura geológica: la disposición y frecuencia de las superficies de discontinuidad y el grado de fracturación, la litología y el grado de alteración juegan también un papel predominante. (González, 2002).

### **2.4.3. Caracterización geológica**

El propósito es el de relacionar la geología física regional y los eventos que conducen a la formación de los cuerpos mineralizados efectuando su descripción de los depósitos atendiendo a su génesis, distribución y la naturaleza de los suelos de recubrimiento y tipos de rocas en la zona, incluyendo los efectos de alteración y erosión. La preparación de modelo es fundamental para el proceso de diseño de los taludes y requiere un entendimiento básico de los conceptos esenciales de la geología física. (Read & Stacey, 2009).

A partir de la información de la descripción geológica regional descrita con anterioridad, se recomienda hacer una descripción geológica local. 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. (Suarez, 2013).

La caracterización geológica debe permitir no solo definir la geometría de su superficie, en lo que dice relación con los contactos entre los diversos entes geológicos, sino también permitir una definición de los distintos tipos de unidades geotécnicas básicas que aparecen en el área de interés. (Flores & Karzulovic, 2003).

#### **2.4.4. Litología**

La naturaleza del material que forma un talud está íntimamente relacionada con el tipo de inestabilidad que este puede sufrir, presentando las diferentes litologías distinto grado de susceptibilidad potencial ante la ocurrencia de deslizamientos o roturas. Las propiedades físicas y resistentes de cada tipo de material, junto con la presencia de agua, gobiernan su comportamiento tenso-deformaciones y, por tanto, su estabilidad. En los macizos rocosos, la existencia de capas o estratos de diferente competencia implica también un diferente grado de fracturación en los materiales, lo que complica la caracterización y el análisis del comportamiento del talud. (González, 2002).

#### **2.4.5. Caracterización estructural**

El análisis estructural procura representar la orientación espacial de las diferentes estructuras geológicas, con el objeto de entender los mecanismos de deformación en el área de estudio y también pudiéndose definir una distribución de tensiones que originan las 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 que posteriormente, con esa información se realicen análisis cinemáticos para resolver problemas estructurales. (González, 2002).

#### **2.4.6. Descripción cuantitativa de las estructuras**

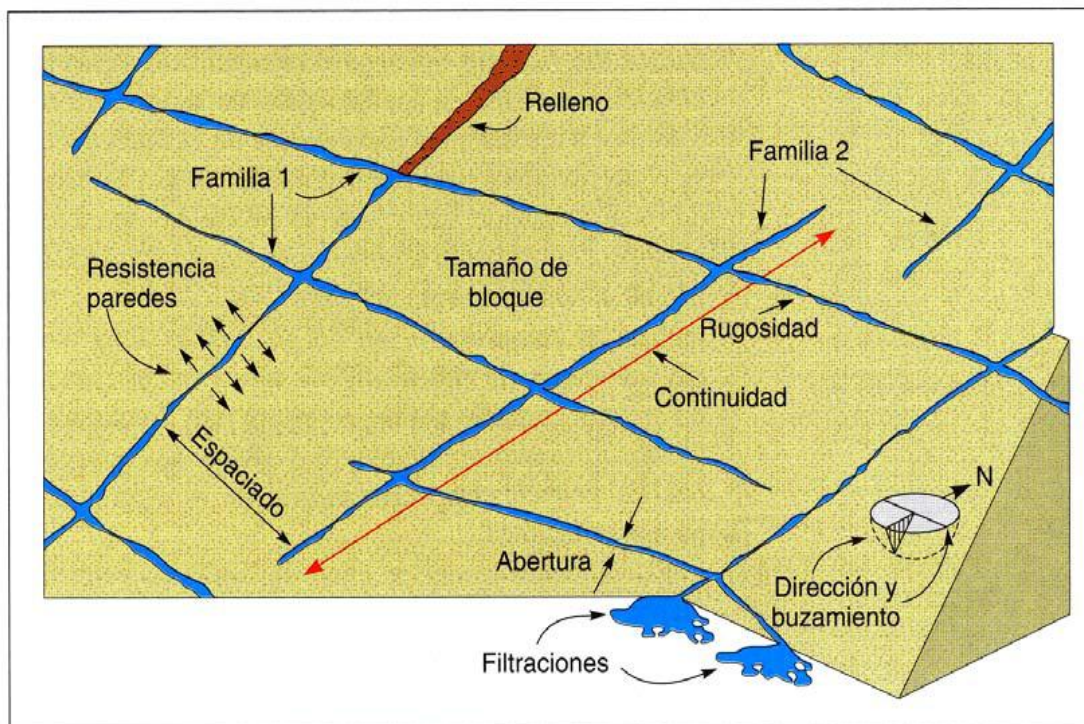
1. Número de familias o sistemas de estructuras que aparecen en el macizo rocoso.
2. Orientación de cada familia (definida por valores característicos del buzamiento y de la dirección de buzamiento).
3. Espaciamiento entre estructuras de una misma familia o set estructural (puede ser verdadero si se mide en la dirección normal al plano de las estructuras, o aparente si se mide en otra dirección).
4. Persistencia o extensión de las estructuras de cada familia de discontinuidad.
5. Rugosidad de las estructuras de cada familia.

6. Apertura (estructuras abiertas) o potencia (estructuras selladas) de las estructuras de cada familia.
7. Tipo(s) de relleno(s) presente(s) en las estructuras de cada familia.
8. Resistencia de la roca de caja para cada set de estructuras (si bien el tipo de roca puede ser el mismo, distintos sets de estructuras pueden presentar distintas características de alteración, afectando de diferente forma a la roca de caja).
9. Características de la percolación de aguas observada en las estructuras de cada familia.
10. Tamaño de los bloques que definen las estructuras en el macizo rocoso.

En el caso de no tener acceso total del objeto levantado, el mapeo por ventanas es favorable para el levantamiento del macizo rocoso, un mapeo típico puede incluir la colección de los siguientes datos de las discontinuidades. (Suarez, 2013).

La utilización de métodos de proyección estereográfica es la mejor forma de representar los datos geológicos estructurales. Permitiendo un estudio estadístico de la distribución de los datos por métodos gráficos; este estudio estadístico de distribución de las discontinuidades se realiza con programas computacionales. (Hoek & Bray, 1981).



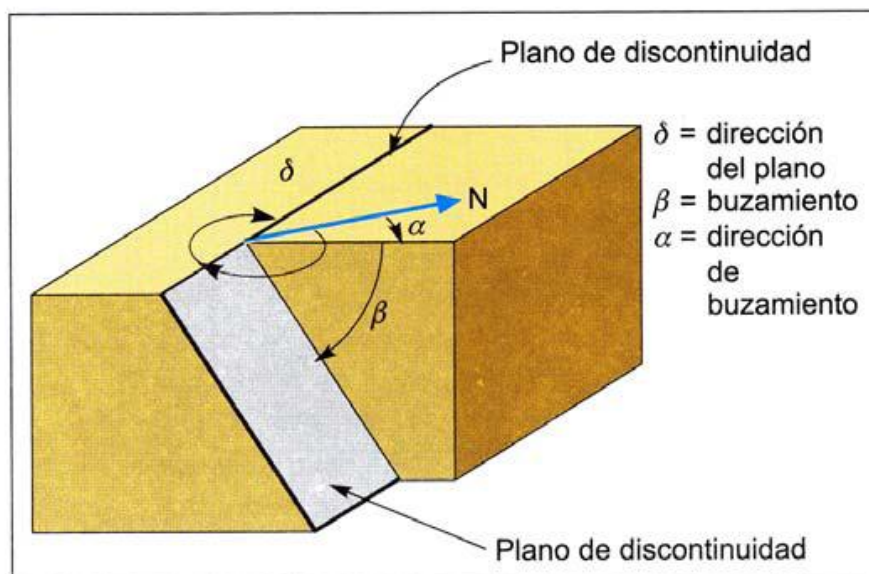


**FIGURA N° 03:** Esquema ilustrativo de los parámetros que describen las estructuras presentes en el macizo rocoso.

Fuente: Hudson, 1989.

#### 2.4.7. Discontinuidades y orientación de las estructuras

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 es la brújula. La notación que se usa para especificar estos dos valores es de escribir primero la dirección de buzamiento, representado por tres dígitos seguidos de un quebrado tendido hacia adelante (/), para luego especificar el buzamiento del el plano, representado por dos dígitos. (Suarez, 2013).



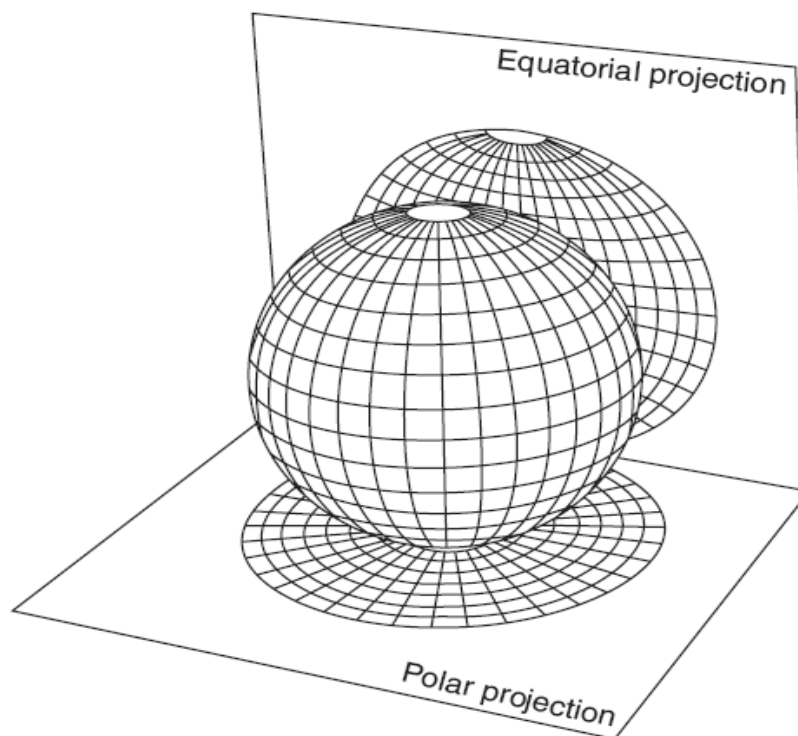
**FIGURA N° 04:** Terminología para definir la orientación de las discontinuidades, vista isométrica del plano (Buzamiento y Dirección de buzamiento).

Fuente: Wyllie & Mah, 2004.

#### 2.4.8. Proyección estereográfica

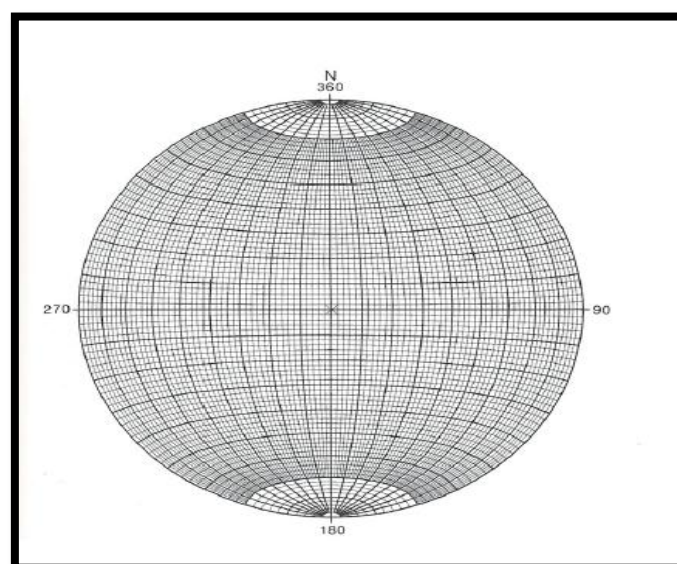
Desde el punto de vista de análisis, la característica más importante de una discontinuidad es su orientación (rumbo y buzamiento). La interpretación de los datos geológicos estructurales requiere del uso de proyecciones estereográficas que permiten la representación en dos dimensiones, de datos en tres dimensiones. Las proyecciones más comúnmente utilizadas son la red de Wulf de igual ángulo y la red de Schmidt de igual área. La proyección estereográfica hace que los datos de orientación en tres dimensiones sean representados y analizados 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. Los dos tipos de proyección estereográfica usados en geología estructural son las proyecciones polar y ecuatorial. La proyección polar solo se utiliza para el

ploteo de planos, mientras la proyección ecuatorial puede ser utilizada para el ploteo de planos mayores y polos. (Wyllie & Mah, 2005).



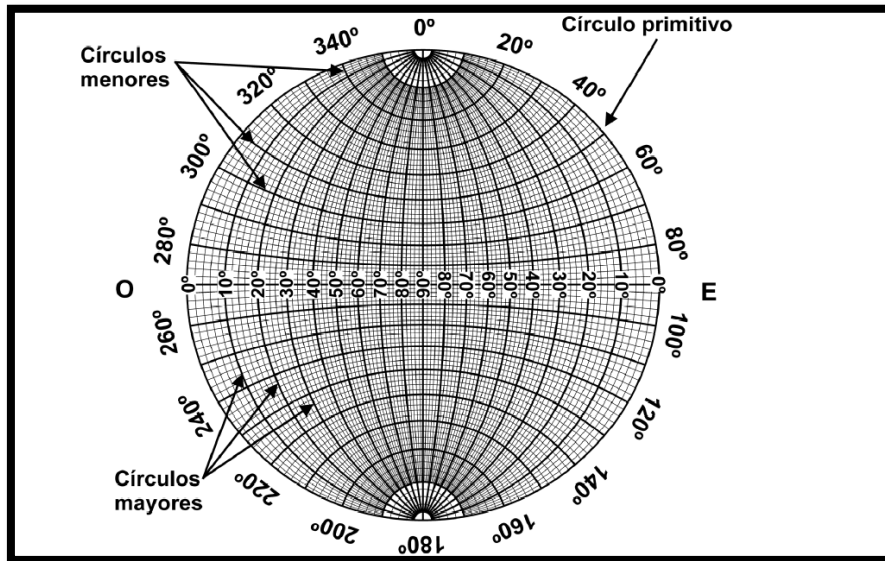
**FIGURA N° 05:** Proyección polar y ecuatorial en una esfera.

Fuente: Schmidt, wulf.



**FIGURA N° 06:** Representación estereográfica ecuatorial de igual ángulo.

Fuente: Schmidt, wulf.



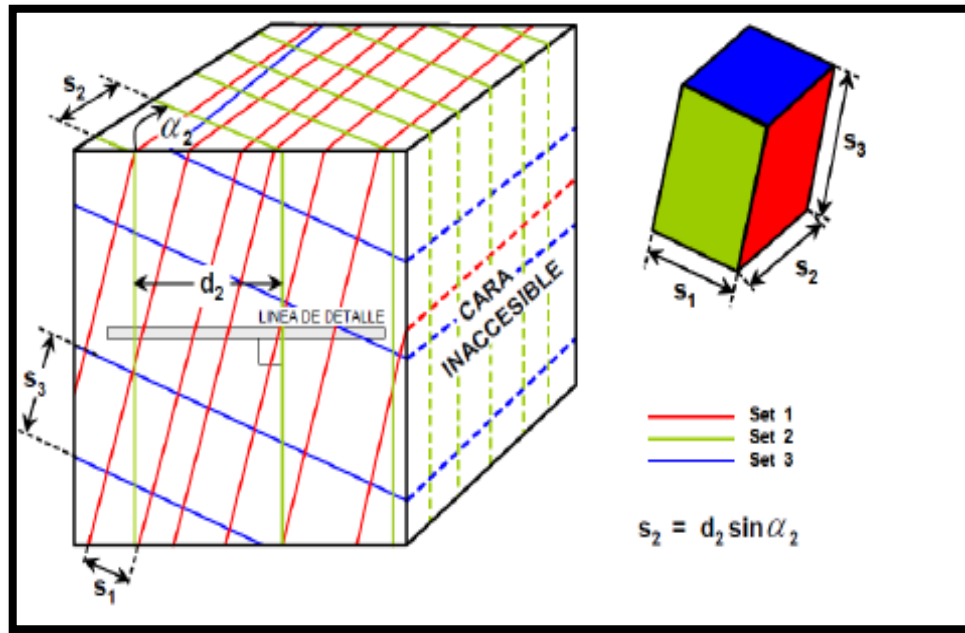
**FIGURA N° 07:** Representación estereográfica polar de igual ángulo.

Fuente: Schmidt, wultf.

#### 2.4.9. Espaciamiento de las estructuras

El espaciado de las discontinuidades es el promedio entre los planos de debilidad en el macizo rocoso en la dirección perpendicular al plano de las discontinuidades. El espaciado de las discontinuidades es el factor que más influye en el tamaño de los bloques que componen el macizo rocoso. Este aspecto cobra la máxima importancia cuando existen otros factores que contribuyen a aumentar la deformabilidad del macizo rocoso, como, por ejemplo, una pequeña resistencia al corte de las discontinuidades; tiene también gran influencia en la permeabilidad del macizo rocoso y. El espaciado se mide colocando una cinta métrica perpendicular a las discontinuidades en el afloramiento. (Ramirez & Alejano, 2007).





**FIGURA N° 08:** Medidas de espaciamiento entre discontinuidades en afloramiento de un macizo rocoso que muestra 3 sets o familias de estructuras.

Fuente: Brown, 1981.

Es la distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes, la figura 07, determina el tamaño de los bloques de roca intacta. Cuando menos espaciado tenga, los bloques serán más pequeños y cuando más espacio tengan los bloques, serán más grandes. (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2004).

**TABLA N° 04:** Espaciamiento de las estructuras.

Descripción	Espaciamiento (mm)
Extremadamente Junto	< 20
Muy Junto	20 a 60
Junto	60 a 200
Moderado	200 a 600
Separado	600 a 2000
Muy Separado	2000 a 6000
Extremadamente Separado	> 6000

Fuente: International society for rock mechanics commission on standardization of laboratory and field test, 1978.

#### 2.4.10. Persistencia o continuidad de las estructuras

El espaciado de las discontinuidades es el factor que más influye en el tamaño de los bloques que componen el macizo rocoso. Este aspecto cobra la máxima importancia cuando existen otros factores que contribuyen a aumentar la deformabilidad del macizo rocoso, como, por ejemplo, una pequeña resistencia al corte de las discontinuidades; tiene también gran influencia en la permeabilidad del macizo rocoso y, por tanto, en la circulación del agua en el mismo. El espaciado se mide colocando una cinta métrica perpendicular a las discontinuidades en el afloramiento. (Ramirez & Alejano, 2007).

**TABLA N° 05:** Descripción de la persistencia de las estructuras.

Descripción	Persistencia (m)
Muy Baja	< 1
Baja	1 a3
Media	3 a 10
Alta	10 a 20
Muy Alta	> 20

Fuente: International society for rock mechanics commission on standardization of laboratory and field test, 1978.

La persistencia o extensión de las estructuras de cada familia de discontinuidades corresponde al largo de la traza de la estructura, el cual medirse en la dirección del rumbo o en la dirección de buzamiento de la estructura. En problemas de estabilidad de taludes resulta preferible definir la persistencia en la dirección del buzamiento.. Para describir la persistencia de las estructuras se sugiere usar las definiciones de la ISRM. (Flores & Karzulovic, 2003).

#### 2.4.11. Rugosidad de las estructuras

La rugosidad de los labios de una discontinuidad tiene una gran influencia sobre su resistencia al corte. Esta influencia es tanto menor cuanto mayor sea su apertura y el espesor de relleno. La rugosidad de una discontinuidad se puede caracterizar mediante dos factores: ondulación y aspereza. Las ondulaciones son rugosidades a gran escala que provocan una fuerte expansión o dilatación de la discontinuidad al experimentar ésta un desplazamiento cortante, si ambos lados están en contacto. Las asperezas son rugosidades a pequeña escala que pueden desaparecer en parte durante el desplazamiento cortante de la discontinuidad, si éste produce la rotura de los pequeños picos de roca que constituyen la rugosidad. Si la resistencia de la roca de los labios de la discontinuidad es elevada o la tensión normal aplicada es pequeña, El valor de la resistencia al corte debido a las asperezas se puede obtener en el laboratorio ensayando una muestra de la discontinuidad o, a mayor escala, mediante un ensayo de corte directo “in situ”. (Ramirez & Alejano, 2007).

Muchos autores discuten métodos para medir la rugosidad de las estructuras, pero en la práctica las evaluaciones de la rugosidad de las estructuras se suelen hacer con comparación con “perfiles de rugosidad”, lo que indudablemente introduce subjetividad y, al mismo tiempo, un potencial problema de escala, es por eso que para definir la rugosidad se recomienda el empleo de los perfiles que se muestran y considerar 2 escalas:

***Escala intermedia (Varios metros)***, en la que a ondulación de las estructuras permite clasificarlas en 3 clases: escalonadas, onduladas, y planas.

**Escala menor (Varios centímetros)**, en la que las disparidades de las estructura perite clasificarlas en 3 clases: rugosas, lisas, y pulidas. primero el más conocido y utilizado.

**TABLA N° 06:** Caracterización de la rugosidad de las estructuras según las recomendaciones de la ISRM.

Clase	Escala		Perfil Típico de Rugosidad de la Estructura	JRC <sub>20</sub>	JRC <sub>100</sub>
	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

Fuente: Modificada de Brown (1981).

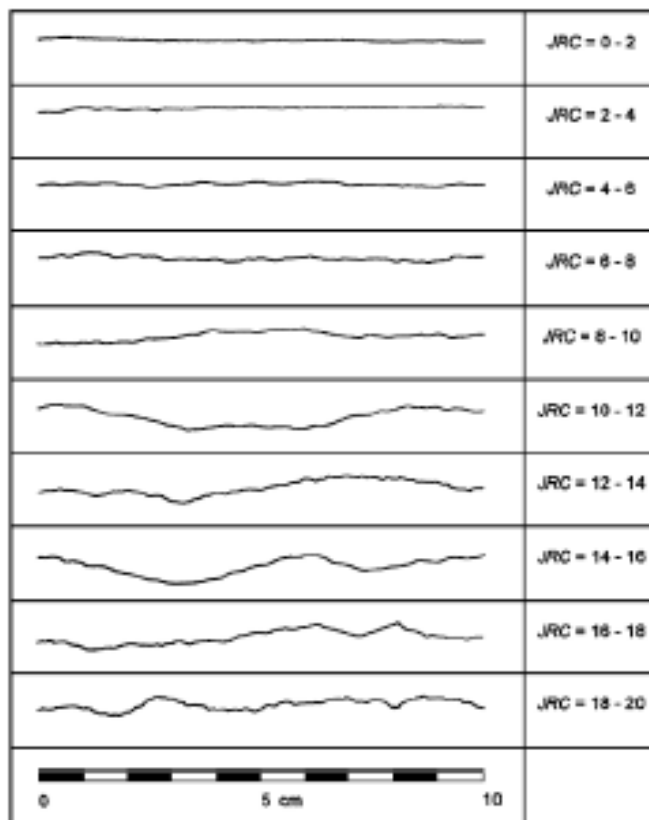
JRC<sub>20</sub> y JRC<sub>100</sub> corresponde al valor estimado del coeficiente de rugosidad de la estructura (Barton & Choubey, 1977). cuando el perfil se “asimila” a un largo de 20 y de 100 cm, respectivamente. (Bandis, 1993).

Sin perjuicio de lo recién recomendado, es también relativamente frecuente el empleo del coeficiente de rugosidad de la estructura (*Joint Roughness Coefficient*), JRC, definido por (Barton & Choubey, 1977). Para caracterizar la rugosidad de las estructuras a escala centimetrica, utilizando los



perfiles de rugosidad. Finalmente, cabe señalar que a veces resulta útil el ábaco propuesto por (Barton 1982).

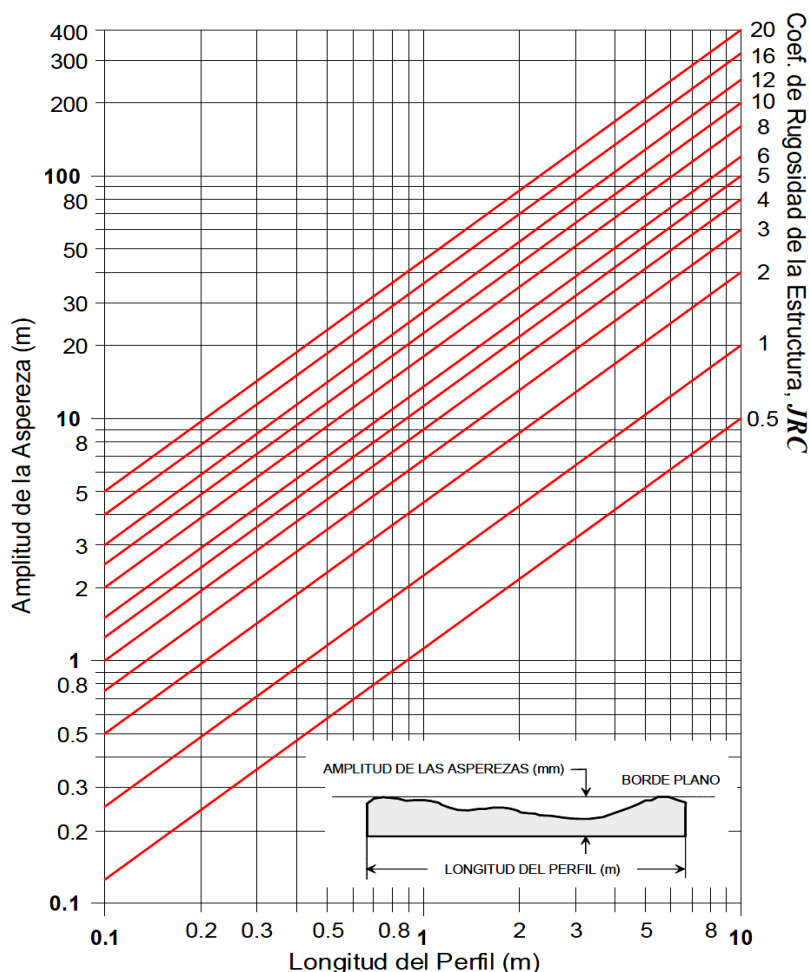
**TABLA N° 07:** Perfiles de rugosidad y valores asociados del coeficiente JRC.



Fuente: Barton & Choubey, 1977.

Sin perjuicio de lo recién recomendado, es también relativamente frecuente el empleo del coeficiente de rugosidad de la estructura (joint roughness coefficient), JRC, definido por Barton & Choubey para caracterizar la rugosidad de las estructuras a escala centimétrica, utilizando los perfiles de rugosidad.

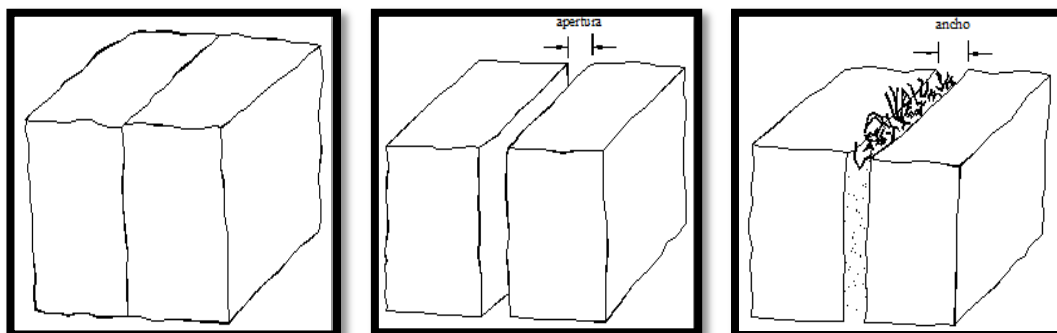
**TABLA N° 08:** Ábaco para evaluar el coeficiente JRC en función del largo del perfil de la estructura y la amplitud máxima de las asperezas de ésta.



Fuente: Barton & Choubey, 1977.

### 2.4.12. Abertura de las estructuras

Se define abertura como la distancia perpendicular que separa las paredes adyacentes de roca de una discontinuidad, cuando este espacio intermedio tiene agua o aire. En esto se distingue la abertura del espesor de relleno. Se deben anotar las aberturas de todas las discontinuidades intersectadas por la línea se toma de datos. Las variaciones de abertura que suelen tener las grandes discontinuidades se suelen medir a lo largo de la traza de las mismas. (Ramirez & Alejano, 2007).



**FIGURA N° 09:** Diagramas que muestran la definición de la apertura de las discontinuidades y el ancho de las discontinuidades rellenas.

Fuente: International society for rock mechanics commission on standardization of laboratory and field test, 1978.

Este parámetro puede ser muy variable en diferentes zonas de un mismo macizo rocoso: mientras que en superficie la abertura puede ser alta, ésta se reduce con la profundidad pudiendo llegar a cerrarse. Su medida puede realizarse directamente con una regla graduada en milímetros. (Gonzales, 2002).

**TABLA N° 09:** Descripción de la apertura de las estructuras.

Apertura	Descripción	Tipo
<0.1 mm	Muy cerrado	Rasgos “cerrados”
0.1 a 0.25 mm	Cerrado	
0.25 – 0.5 mm	Parcialmente abierto	
0.50 – 2.5 mm	Abierto	Rasgos “semiabiertos”
2.50 – 10 mm	Moderadamente amplio	
>10 mm	Amplio	
1 – 10 cm	Muy amplio	Rasgos “abiertos”
10 – 100 cm	Extremadamente amplio	
>1 m	Cavernoso	

Fuente: Brown, 1981.

### 2.4.13. Relleno en las discontinuidades

La presencia de relleno gobierna el comportamiento de la discontinuidad, por lo que deben ser reconocidos y descritos todos los aspectos referentes a sus propiedades y estado. (Gonzales, 2002).

Las estructuras pueden presentar una enorme variedad de tipos de relleno, los que pueden tener distintas propiedades mecánicas e hidráulicas. Una descripción del tipo de relleno debe considerar al menos lo siguiente: Mineralogía, granulometría, competencia (resistencia y deformabilidad), humedad y permeabilidad, alteración de la roca caja, etc. (Flores & Karzulovic, 2003).

**TABLA N° 10:** Descripción de la granulometría del material de relleno.

Tamaño (mm)	Descripción	Material	Granulometría
>600	Bloques	Granular	Muy gruesa
200 a 600	Bolones		
60 a 200	Bolones pequeños		
20 a 60	Gravas gruesas		
6 a 20	Gravas		Gruesa
2 a 6	Gravas finas		
0.6 a 2	Arenas gruesas		
0.2 a 0.6	Arenas		
0.06 a 0.2	Arenas finas		
< 0.06	Limos, Arcillas	Fino	Fina

Fuente: Brown, 1981.

#### **2.4.14. Filtración en las discontinuidades**

La presencia de agua subterránea es de suma importancia en la estabilidad e taludes por ende en la clasificación de macizo rocoso en las cuales puede estar seco, ligeramente húmedo, húmedo, goteando y fluyendo. Generalmente, la circulación de agua en los macizos rocosos se realiza a lo largo de las discontinuidades (permeabilidad secundaria), excepto en las rocas sedimentarias. (Ramirez & Alejano, 2007).

#### **2.4.15. Resistencia de las paredes de las discontinuidades**

La resistencia de las paredes está definida por el ISRM, el cual indica que este es el equivalente a la resistencia a la compresión de la roca adyacente a las paredes de las discontinuidades. Este es un componente muy importante de la resistencia al corte y la deformabilidad. 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 y el martillo de Schmidt. (Giani, 1992).

**TABLA N° 11:** Descripción de la condición de humedad de las estructuras.

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.

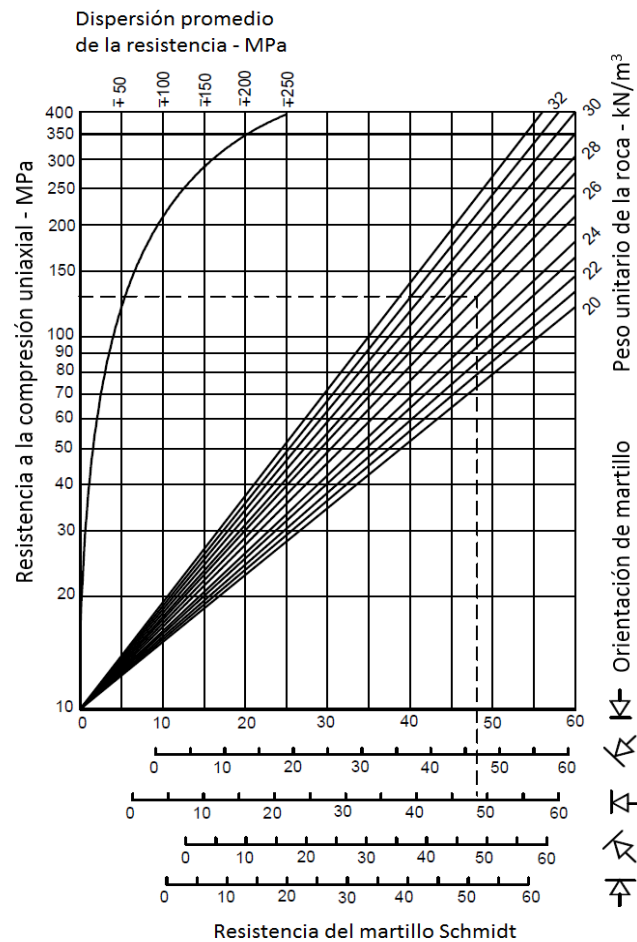
Fuente: Brown, 1981.

## 2.5. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

Por roca “intacta” se entiende los trozos de roca que se ubican entre las estructuras presentes en el macizo rocoso, y usualmente se considera que las propiedades de la roca “intacta” pueden determinarse mediante ensayos de laboratorio sobre probetas con un diámetro del orden de 50 mm y una altura de unos 100 mm, o sea con un volumen del orden de  $10^{-4} \text{ m}^3$ . Por otra parte, por macizo rocoso se entiende el conjunto roca “intacta” y estructuras, en un volumen de tamaño tal que representa adecuadamente la situación que se está considerando. Esto significa que el macizo rocoso puede tener un volumen del orden de  $10^5 \text{ m}^3$ , si se está analizando la estabilidad de una galería, a más de  $10^7 \text{ m}^3$ , si se está analizando la estabilidad de un sector productivo. Lo anterior

significa que las propiedades del macizo rocoso no pueden medirse directamente, sino que deben estimarse en función de las propiedades de la roca “intacta” y las características del arreglo de bloques que componen el macizo rocoso, usualmente representadas en función de algún índice de calidad geotécnica. . (Flores & Karzulovic, 2003).

**TABLA N° 12:** Ábaco para la obtención de la resistencia a compresión simple de una roca de una discontinuidad con el martillo Schmidt tipo L.



Fuente: Hoek, Practical Rock Engineering, 2000.

### 2.5.1. Clasificación geotécnica del macizo rocoso

Las clasificaciones geotécnicas tienen por objeto caracterizar ingenierilmente un determinado macizo rocoso en función de una serie de parámetros a los que se les designa un cierto valor. Clasificar geo

mecánicamente un macizo rocoso consiste en otorgarle una puntuación según. Las clasificaciones geomecánica se utilizan mucho actualmente, sobre todo en estudios geotécnicos, en lo que se refiere a los taludes, la principal ventaja de las clasificaciones geomecánica consiste en que permiten obtener, mediante unas correlaciones establecidas, los principales parámetros mecánicos del macizo rocoso. Los sistemas de clasificación de los macizos rocosos tienen por objeto evaluar sus características para determinar de forma cuantitativa su calidad. (Ramirez & Alejano, 2007).

#### **2.5.1.1. Índice de designación de la calidad de roca (RQD)**

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. Para determinar el RQD en el campo existen dos procedimientos de cálculo. (Morales, 2009).

Para promover en cuantitativo de la calidad de la masa rocosa, a partir de los testigos de perforación diamantina. El RQD es definido como el porcentaje de piezas de testigos intactos mayores a 100 mm en la longitud total del testigo. El testigo deberá tener por lo menos un tamaño NX (54.7 mm de diámetro). y deberá ser perforado con un cilindro de doble tubo de perforación. (Palstrom, 1982).

- A partir del mapeo de celdas geotécnicas: comprende el cálculo del RQD en función del número de fisuras por metro, determinadas al realizar el levantamiento litológico-estructural.



- Se hace el cálculo del RQD en función del número de fisuras por metro cúbico ( $J_v$ ), determinadas al realizar el levantamiento litológico-estructural en el área o zona predeterminada.

$$RQD = 100 \exp^{-0.1\lambda} (0.1\lambda + 1)$$

### 2.5.1.2. Sistema de clasificación Bieniawski

Bieniawski (1976), publicó una clasificación del macizo rocoso denominada Clasificación Geomecánica o Sistema Rock Mass Rating (RMR). Posteriormente este sistema ha sido mejorado hasta llegar a la versión de clasificación de los siguientes 6 parámetros son utilizados para clasificar un macizo rocoso usando el sistema RMR de Bieniawski (1989):

1. Resistencia a la compresión uniaxial.
  - Determinada en laboratorio y ensayos de carga puntual en terreno.
2. Valor del RQD.
  - Se asigna desde puntaje de 20 si este índice es mayor a 90% hasta 3 si es menor a 25%.
3. Espaciamiento de discontinuidades.
  - Se asume que la roca tiene 3 conjuntos de fracturas y se utiliza el sistema más relevante.

4. Condición de discontinuidades.
  - Descripción de “aspereza” de la superficie y del material de relleno. Se usa el más liso y desfavorable.
5. Aguas subterráneas.
  - De acuerdo al flujo de agua en excavación subterránea (si está disponible) o la presión de agua en discontinuidades. Se puede usar también el testigo.
6. Orientación de discontinuidades.
  - Determinada mediante cámaras en sondajes y/o mapeo de piques.

La clasificación final por este método se realiza en intervalos de 20 puntos comenzado por 100 y hasta llegar a 0.

#### **2.5.1.3. Modo de índice GSI**

Propuso el Índice Geológico de Resistencia (GSI, Geological Strength Index), para evaluar la calidad del macizo rocas en función del grado y las características de la fracturación, estructura geológica, tamaño de bloques y alteración de las discontinuidades. El uso en el criterio de Hoek - Brown ha sido presentado en diversos artículos por Hoek (1994), Hoek et al. (1995), y Hoek - Brown (1997), asociado a macizos de roca dura y equivalente al sistema RMR. A partir de 1998 a la fecha se ha desarrollado el sistema GSI con el objetivo de incluir macizos rocosos de mala calidad (Hoek *et al.*, 1998; Marinos y Hoek, 2000 y 2001). El GSI proporciona un sistema para estimar la disminución de la resistencia que presentaría un macizo rocoso con diferentes condiciones

geológicas y se obtiene de la combinación de 2 parámetros geológicos fundamentales, la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades.

**TABLA N° 13:** Clasificación geomecánica de GSI – Hoek.

<b>Calidad del Macizo</b>	<b>clase</b>	<b>GSI</b>
Muy mala	V	0-20
Mala	IV	21-40
Regular	III	41-60
Buena	II	61-80
Muy buena	I	81-100

Fuente: Marinis y Hoek, 2001.

Además es posible establecer una relación del GSI con el caso del RMR de 1989, la que ha sido establecida de manera empírica, siempre de forma aproximada, que se cumple la siguiente igualdad:

$$GSI = RMR89 - 5$$

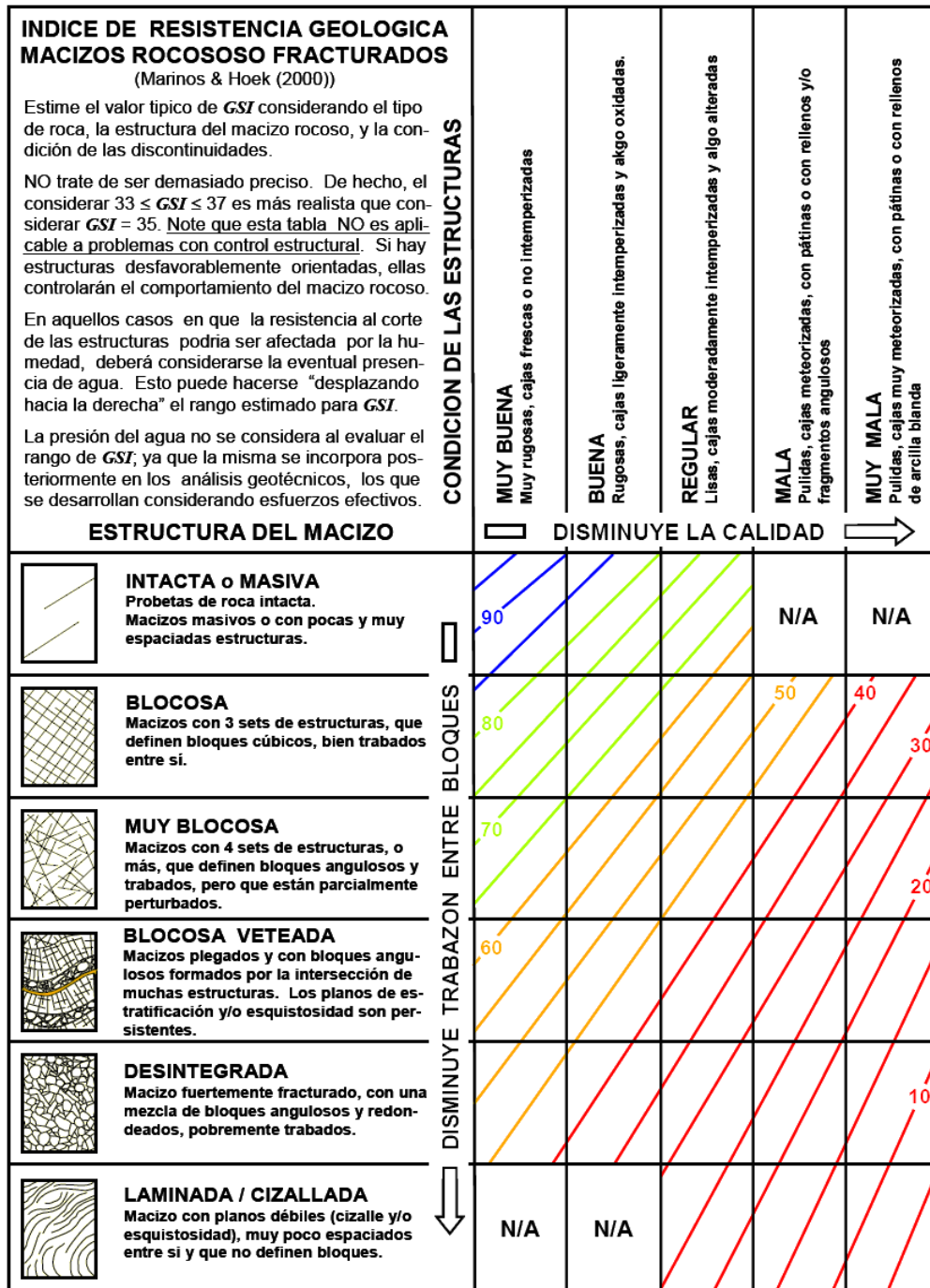


Figura N° 10: Carta para evaluar el índice de resistencia geológica en macizos rocosos fracturados.

Fuente: Marinos & Hoek, 2000.

<b>INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA</b> <b>MACIZOS ROCOSOS ESTRATIFICADOS HETEROGENEOS</b> <small>(Marinos &amp; Hoek (2000))</small>		CONDICION ESTRUCTURAS (PLANOS DE ESTRATIFICACION)							
En base a una descripción de la litología, la estructura del macizo y la condición de las estructuras (especialmente los planos de estratificación), seleccione una zona en la tabla. Ubique en esa zona la posición correspondiente a la condición de las estructuras y estime el valor medio de GSI. NO trate de ser demasiado preciso. De hecho, el considerar $33 \leq GSI \leq 37$ es más realista que suponer $GSI = 35$ . <u>Note que esta tabla NO es aplicable a problemas con control estructural.</u> Si hay estructuras desfavorablemente orientadas ellas controlarán el comportamiento del macizo rocoso. En aquellos casos en que la resistencia al corte de las estructuras podría ser afectada por la humedad, deberá considerarse la eventual presencia de agua. Esto puede hacerse "desplazando hacia la derecha" el rango estimado para GSI para condiciones regular, mala o muy mala de las estructuras. La presión del agua no se considera al evaluar el GSI (análisis en esfuerzos efectivos).		<b>MUY BUENA</b> Muy rugosas, superficies frescas o no meteorizadas.	<b>BUENA</b> Rugosas, superficies algo meteorizadas.						
<b>COMPOSICION Y ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO</b>		<b>REGULAR</b> Lisas, superficies moderadamente meteorizadas y lateradas.	<b>MALA</b> Muy lisas, ocasionalmente pulidas, con patinas compactas o rellenos con fragmentos angulosos.						
<b>MUY MALA</b> Muy lisas y pulidas o de superficies muy meteorizadas, y con patinas o rellenos de arcilla blanda.									
<p><b>A.</b> Estratos gruesos de arenisca de mucha blocosidad. El efecto de posibles pátinas peliicas en los planos de estratificación se ve minimizado por el confinamiento del macizo rocoso; sin embargo, en túneles poco profundos y/o taludes, estos planos de estratificación pueden generar inestabilidades controladas estructuralmente.</p>	70	A							
<p><b>B.</b> Arenisca con lentes delgadas de limolita.</p>	60		B, C, D, E						
<p><b>C.</b> Arenisca y limonita, en estratos de similar potencia.</p>									
<p><b>D.</b> Limolitas o esquistos limosos con estratos de arenisca.</p>									
<p><b>E.</b> Limolitas débiles o esquistos arcillosos con estratos de arenisca.</p>									
<p><b>C, D, E y G:</b> Pueden estar más o menos plegados que lo indicado, pero esto no altera su resistencia. Si presentan deformación tectónica, fallamientos y pérdidas de continuidad, cambie estas categorías a <b>F</b> y <b>H</b>.</p>	50								
<p><b>F.</b> Esquistos limosos o arcillosos, deformados tectónicamente, muy plegados y Cizallados, con estratos de arenisca deformados y quebrados, definiendo una estructura casi caótica.</p>	40								10
<p><b>G.</b> Esquistos limosos o arcillosos no perturbados, con o sin intercalaciones de estratos delgados de arenisca.</p>									
<p><b>H.</b> Esquistos limosos o arcillosos, deformados tectónicamente, con una estructura caótica y bolsones de arcilla. Estratos delgados de arenisca quebrados en pequeños bloques de roca.</p>		N/A	N/A						

→ Indica deformación por tectonismo.

Figura N° 11: Carta para evaluar el índice de resistencia geológica en macizos rocosos estratificados y heterogéneos.

Fuente: Marinos & Hoek, 2000.

## 2.6. CRITERIOS DE ROTURA

### 2.6.1. Criterios de Hoek y Brown

El criterio de rotura de Hoek&Brown su versión original fue introducida en el 1980 desde entonces su uso se ha generalizado en el ámbito de la mecánica de rocas, traspasando los límites para los que fue propuesto (cálculo de la estabilidad en taludes y estados tensionales en el entorno de un túnel, para macizos rocosos duros). (Hoek y Brown, 1980).

El criterio es válido para evaluar la resistencia de la matriz rocosa, siendo no lineal el criterio donde representa la gráfica de rotura siendo una curva de tipo cóncava. Desarrollado inicialmente para su aplicación a macizos rocosos fracturados sin alterar su matriz rocosa resistente. Proponiendo Hoek (1985), el Índice Geológico de Resistencia GSI (Geological Strength Index), que evalúa la calidad del macizo en función del grado y las características de la fracturación, estructura geológica, tamaño de los bloques y alteración de las discontinuidades. Como consecuencia de problemas prácticos se tuvieron que introducir la idea de macizos "inalterados" y "alterados" por Hoek y Brown (1988), y la introducción de un criterio modificado para macizos de muy mala calidad con una tendencia a cero (O) (Hoek Wood y Shah, 1992). La resistencia del macizo rocoso está definida por la expresión (Hoek y Brown, 1980):

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \sqrt{m \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s}$$

Donde  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$  son los esfuerzos principales efectivos mayor y menor respectivamente,  $\sigma_{ci}$  es la resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta,  $m$  y  $s$  son constantes adimensionales de Hoek y Brown para la roca del material, con  $s=1$  para roca intacta. Los valores de la resistencia a la compresión uniaxial,  $m$ ,  $s$  pueden ser obtenidos a partir de ensayos de compresión uniaxial ( $\sigma_c$ ) y triaxiales ( $m$ ,  $s$ ,  $a$ ). Estos últimos parámetros pueden obtenerse también a partir de observación en terreno y las siguientes relaciones (Hoek et al., 2002; considera casos particulares de estados tensionales en taludes y el factor de "disturbancia" sobre macizos rocosos):

$$m = m_i \cdot \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right)$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right)$$

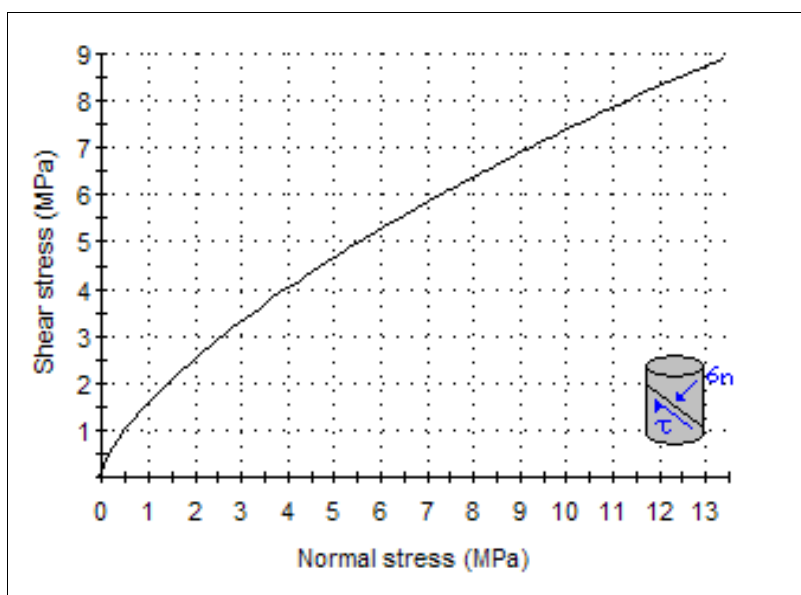
$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \cdot \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3}\right)$$

Alternativamente, para valores de  $GSI > 25$  éste puede determinarse a partir del valor del RMR (Bieniawski, 1989), donde  $GSI = RMR_{89} - 5$ .

Para determinar el valor de  $m$  se requiere conocer  $m_i$ . Este último valor se obtiene a partir de ensayos de compresión uniaxial o bien se estima a través de tablas, donde se le asocia un valor de acuerdo al tipo de roca. En tanto, el valor de  $O$  es el llamado "factor de perturbación" y depende del grado de perturbación y relajación de stress de la roca y varía entre  $O$  (no perturbada) y (muy perturbada). ) (Hoek *et al.*, 2002).

Hoek (1990), trato la desviación de las resistencias cohesivas y de los ángulos de fricción equivalentes para diferentes situaciones prácticas. Estas deducciones se basaron en las tangentes a la envolvente de Mohr obtenida por Bray. Hoek (1994), sugirió que la resistencia cohesiva determinada al ajustar una tangente a la envolvente curvilínea de Mohr es un valor sobredimensionado y pueden dar unos resultados optimistas en los cálculos de estabilidad. Consecuente, pueden ser más apropiados al ajustar una relación lineal de Mohr - Coulomb por método de mínimos cuadrados. Hoek y Brown (1997), intentaron consolidar todos los procesos anteriores en una presentación comprensiva del criterio de rotura. Hoek y Brown. En la figura se aprecia que la función que define el dominio elástico es no lineal. Tal y como se ha indicado para el criterio de

rotura de Mohr Coulomb los estados de tensiones encima de la curva están en rotura.



**FIGURA N° 12:** Representación del criterio de Hoek y Brown, .en el espacio de tensiones normal y tangencial.

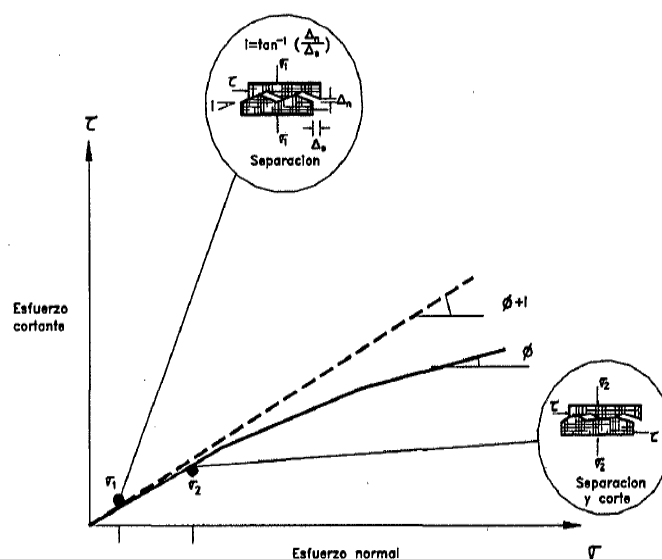
Fuente: Hoek y Brown.

El comportamiento mecánico de las rocas está generalmente controlado por discontinuidades presentes, especialmente cuando se trata de fracturas abiertas y cuando las orientaciones de las discontinuidades son favorables a deslizamientos. Esta resistencia provocada por esfuerzos solicitantes ejercidos sobre los planos de discontinuidades suele analizarse asumiendo un comportamiento mecánico de acuerdo al criterio de falla de Mohr-Coulomb. En este caso la roca desarrollará una cohesión "aparente" en la superficie de contacto de la fractura, que es función de la rugosidad de la superficie.

$$\phi_i = \phi + i$$



Donde  $(\Phi_i)$  corresponde al ángulo de fricción efectiva de una superficie rugosa, y el valor  $i$  a la inclinación promedio de las asperezas con respecto al plano de discontinuidad. Esta aspereza consecuentemente provoca un aumento en la resistencia al deslizamiento



**FIGURA N° 13:** Efectos de rugosidad en el ángulo de fricción.

Fuente: Jaime Suarez Díaz.

## 2.6.2. Criterios de Mohr- Coulomb

### 2.6.2.1. Teoría de Falla de Mohr-Coulomb

El criterio de rotura Mohr- Coulomb, fue propuesto por primera vez por Coulomb en el año 1773, En el caso de una falla de deslizamiento por corte, o por continua flexibilidad, el círculo de Mohr que contiene los esfuerzos normal y de corte en el plano de deslizamiento es desde luego un círculo límite. A los círculos límite para diferentes valores del esfuerzo principal tocan una tangente común que se llama evolvente de falla.

La ecuación envolvente de falla, el cual se llama ecuación de Coulomb, es:

$$\tau = c' + \sigma \cdot \tan \varphi.$$

Dónde:

$c'$  = la cohesión, en efectivas. Es una constante que representa la tensión cortante que puede ser resistida sin que haya ninguna tensión normal aplicada.

$\varphi$  = el ángulo de rozamiento interno

$\tau$  = la tensión tangencial que actúa en el plano de rotura

$\sigma$  = la tensión normal que actúa en el plano de rotura

#### 2.6.2.2. Envolvente de falla

El círculo de Mohr se utiliza para representar o describir la resistencia al cortante de los suelos, utilizando la envolvente de falla Mohr – Coulomb, lo cual equivale a que una combinación crítica de esfuerzos se ha alcanzado. Los esfuerzos por encima de la envolvente de falla no pueden existir.

La envolvente de falla Mohr - Coulomb es generalmente una línea curva que puede representarse en la forma:

$$s = A(\sigma')^b$$

Donde:

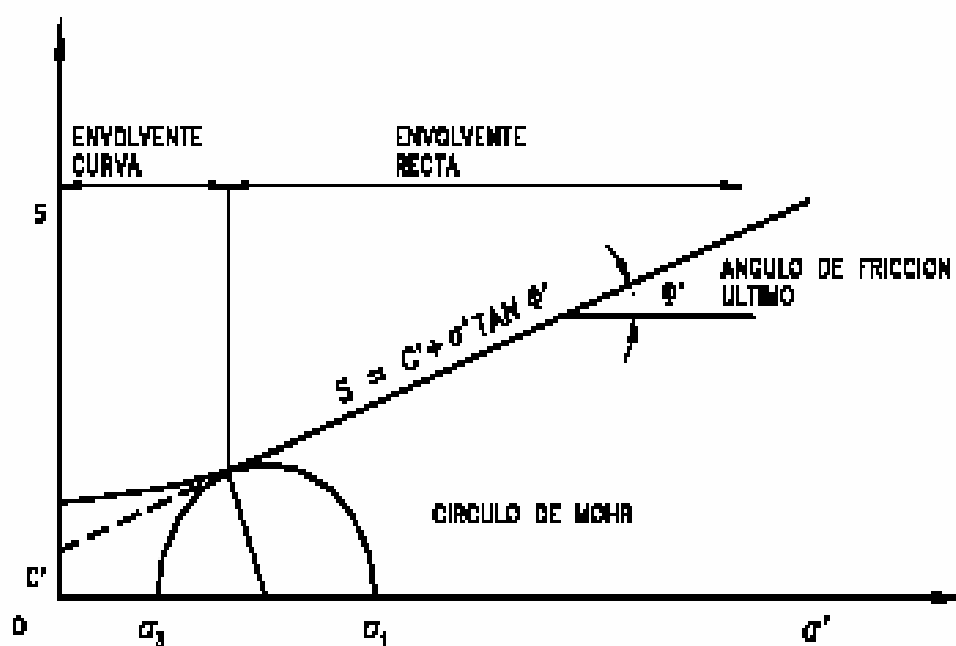
$s$  = Resistencia al cortante

$\sigma'$  = Esfuerzo normal efectivo

A y b = Constantes

En la práctica normal de Ingeniería, generalmente, esta curva se define como una recta aproximada dentro de un rango seleccionado de esfuerzos en el cual

$$s = c' + \sigma' \tan \phi'$$

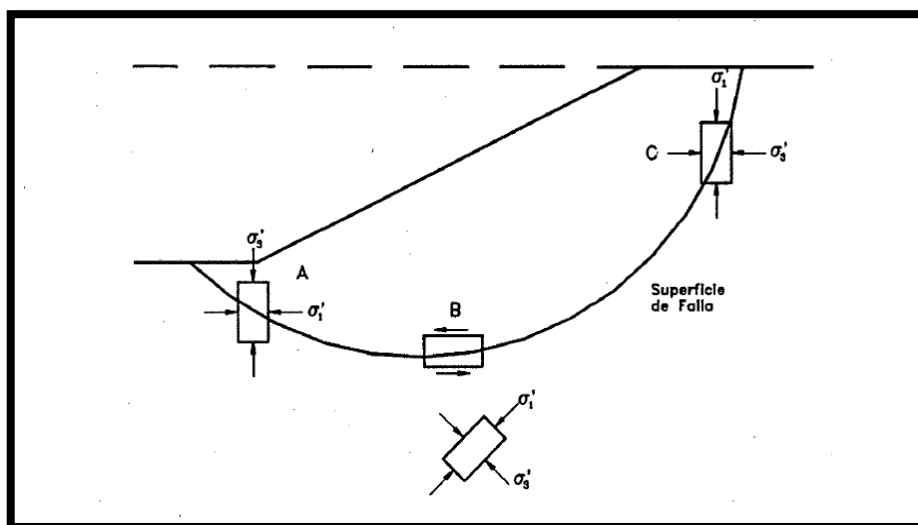


**FIGURA N° 14:** Envolvente de falla, criterio de Mohr- Coulomb.

Fuente: Lambe & Whitman, 1972.

Los suelos no cohesivos como la grava, arena, y limos no plásticos se asumen sin cohesión, y ensayos de laboratorio lo confirman. Casos de suelos típicos que merecen ser mencionados corresponden a los suelos no cohesivos saturados, arcillas normalmente consolidadas y limos arcillosos. El valor de  $\phi$  para suelos no cohesivos saturados varía generalmente entre 27 y 45° grados, dependiendo por ejemplo del aumento de la densidad relativa, de la granulometría y de la forma de las partículas. El valor de este parámetro en un suelo bien gradado puede ser varios grados mayor que la de un suelo uniforme

del mismo tamaño y forma de partículas. Lo mismo se puede decir para un suelo compuesto por partículas angulares en comparación con un suelo de partículas redondeadas. La distribución de estas tensiones en una talud se asocia al tipo de movimiento que experimenta ésta a lo largo de la superficie de cizalla. La Figura 18 muestra las diferentes condiciones de stress a las que es sometido un elemento de roca y/o suelo en un talud.



**FIGURA N° 15:** Dirección de esfuerzos principales en la falla de un talud.

Fuente: Lambe & Whitman, 1972.

El efecto de la humedad sobre este valor es solamente de uno o dos grados sin embargo puede influir fuertemente sobre valores de cohesión otorgándole al suelo una cohesión que podría llamarse "aparente", sobre todo si el suelo se encuentra en condiciones de humedad óptima, donde éste alcanza su densidad seca máxima.

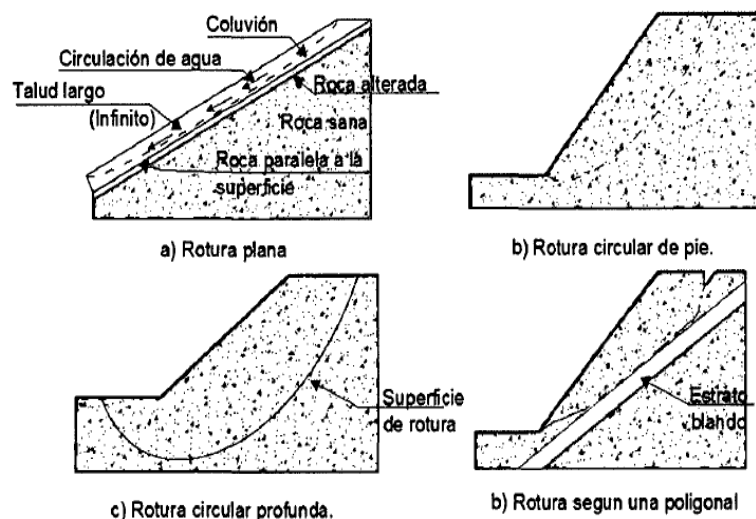
## 2.7. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Los diseños de taludes es uno de los aspectos más importantes de la Ingeniería Geológica, está presente en la mayoría de las actividades constructivas o extractivas. Los podemos clasificar en taludes permanentes para la construcción de infraestructura o fines de edificación se diseñan para ser estables a largo plazo, precisando medidas de estabilización complementarias cuando no sea posible realizar excavaciones con las alturas y ángulos requeridos. Presentando muchas veces sobrecargas estáticas y cargas dinámicas que se ejercen sobre los taludes modificando la distribución de las fuerzas y generan condiciones de inestabilidad. Entre las primeras están el peso estructural o edificios, u otro tipo de cargas como rellenos escombreras, pasó de vehículos pesados, etc. Las cargas dinámicas se deben principalmente a los movimientos sísmicos, naturales o inducidos y las vibraciones producidas por la voladura cercana al talud.

### 2.7.1. Rotura en suelos

Las roturas de taludes en suelos se generan a favor de un único plano paralelo a talud son prácticamente inexistentes, aunque este modelo puede ser válido en el caso de laderas naturales con recubrimientos de suelos sobre rocas. Rompiéndose generalmente a favor de las superficies curvas, como forma diversa condicionada por la morfología y estratigrafía del talud. Puede ser aproximadamente circular (la más frecuente), con su extremo interior en el pie del talud, (deslizamiento de pie), cuando este está formando por terreno homogéneo o por varios estratos de propiedades geotécnicas homogéneas. Si se dan determinadas condiciones en el talud, como la existencia de estratos o

capas de diferente competencia, puede tener lugar a la rotura a favor de una superficie plana o de superficie poligonal formando así varios tramos planos.



**FIGURA N° 16:** Tipos de superficies de rotura en suelos.

Fuente: Gonzales, 2002.

### 2.7.2. Tipo de rotura en suelos

Los tipos de rotura para botaderos de desmonte los consideraremos como suelos, estos generalmente rompen a favor de superficies curvas, con forma diversa: Puede ser aproximadamente circular (la más frecuente), con su extremo inferior en el pie del talud, cuando éste está formado por terreno homogéneo o por varios estratos de propiedades geotécnicas homogéneas.

Puede ser casi circular pero pasando por debajo del pie del talud (deslizamiento profundo). Si se dan determinadas condiciones en el talud, como la existencia de estratos o capas de diferente competencia, puede tener lugar una ruptura a favor de una superficie plana o de una superficie poligonal formada por varios tramos planos. (Gonzales, 2002).

### **2.7.3. Estructura de los suelos**

Según citando las juntas en la mayoría de las rocas ígneas y la estratificación en rocas sedimentarias permanecen en los suelos residuales. Igual cosa ocurre con la esquistosidad y la foliación de algunas rocas metamórficas. (Blight, 1977).

#### **2.7.3.1. Diaclasas**

Las juntas juegan un papel importante en las fallas de materiales residuales. Si se encuentran abiertas actúan como conductores de agua y activadores de presiones de poro. Por lo general, se encuentran más abiertas en la superficie que a profundidad. El agua al pasar a través de la junta produce meteorización de sus paredes, formando arena o arcilla que forma superficies de debilidad. Adicionalmente, el agua que viaja a lo largo de las juntas puede llevar arcilla en suspensión que es depositada en ellas y las discontinuidades se hacen muy peligrosas si se encuentran rellenas de arcilla. Las superficies de falla pueden coincidir con una junta o puede comprender varias familias.

#### **2.7.3.2. Foliaciones**

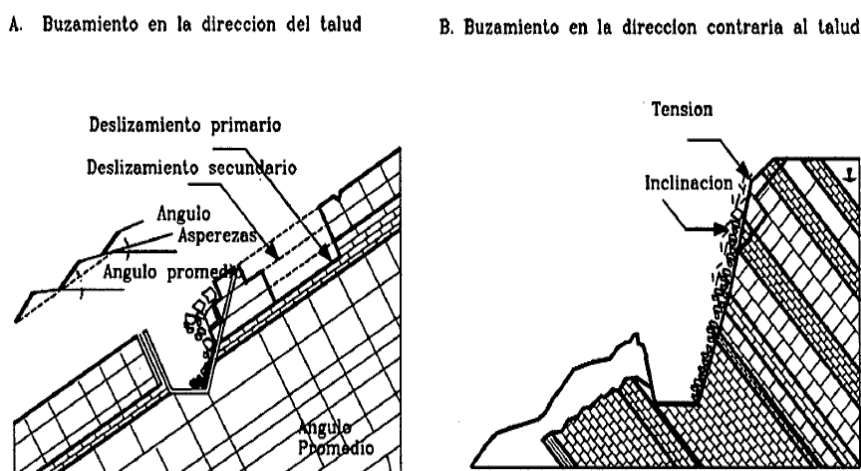
Las foliaciones son superficies generalmente paralelas de baja cohesión y por las cuales las rocas se pueden partir. Estas son debidas principalmente, a efectos de metamorfismo y conocidas como pizarrosidad, esquistosidad, foliación, etc.

Este fenómeno produce direcciones de debilidad muy similares a diaclasas, pero son menos separadas y pueden inducir el desmoronamiento de

los suelos al momento de moverse, produciéndose flujos secos del material desintegrado.

- A. Buzamiento en la dirección del talud.
- B. Buzamiento en la dirección contraria al talud.

Deslizamiento primario.



**FIGURA N° 17:** Efectos de las discontinuidades en la falla de los taludes.

Fuente: Jaime Suarez Díaz.

### 2.7.3.3. Estratificaciones

La estratificación genera superficies de debilidad por cambio de material. Cuando los materiales a lado y lado de la estratificación son de propiedades mecánicas similares, trabajan en forma similar a una diaclasa pero cuando la diferencia de propiedades es grande, como en el caso de estratificación de areniscas y Lutitas, la situación se hace más compleja, produciéndose concentración de agua en la interface y flujo dentro del material más permeable. Este fenómeno genera una zona de meteorización a partir del plano de estratificación que debilita esta superficie.



#### **2.7.3.4. Fallas**

Su influencia en los problemas de taludes en materiales residuales pueden definirse así: producen una zona de debilidad varios metros de lado a lado y en el caso de fallas de gran magnitud, de varios centenares de metros en dirección normal a éstas. En algunos casos las fallas son verdaderas familias de fallas que parecen especies de diaclasa miento. El material fracturado a lado y lado de la falla puede producir zonas inestables dentro de la formación estable. Los planos de falla a su vez pueden estar rellenos de arcilla o completamente meteorizados, esté directamente relacionado con la presencia de una falla geológica.

#### **2.7.4. Propiedades mecánicas en los suelos**

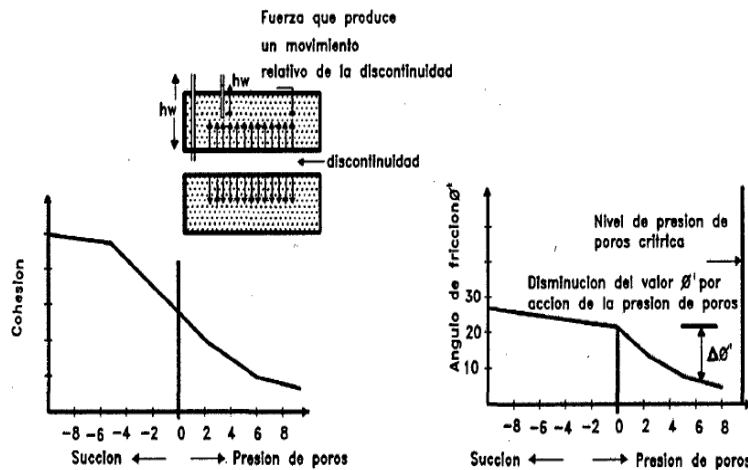
##### **2.7.4.1. Resistencia al cortante**

La estabilidad de los suelos muy meteorizados (grado VI en la clasificación de Hong Kong), se puede analizar utilizando las teorías tradicionales de la mecánica de suelos, con cierto grado de confiabilidad; sin embargo a medida que se profundiza en el perfil las propiedades de los materiales cambian sustancialmente. Las muestras de roca son difíciles de muestrear y las muestras de tamaño para ensayos de laboratorio generalmente, dan estimativos muy pobres de la resistencia al cortante y de la permeabilidad. Son generalmente, no saturados, muy débilmente cementados y muy heterogéneos, con varios sistemas de juntas heredadas. (Mitchell y Sitar'1982).

#### 2.7.4.2. Variación de la resistencia al cortante

La cohesión y la fricción entre las partículas o bloques varían considerablemente de acuerdo al tipo de suelo, contenido de minerales, tamaño y forma de las partículas, humedad, presión de poros y la historia de la formación del material. Adicionalmente, cuando ha ocurrido anteriormente un movimiento, la cohesión y la fricción han disminuido especialmente, cerca de las superficies de falla o fractura.

La resistencia al cortante es generalmente, menor en el suelo en la roca, pero las formaciones residuales tienen generalmente, superficies de discontinuidad equivalentes a superficies de debilidad de baja resistencia que facilitan la posibilidad de movimientos. Es común que la resistencia al cortante sea menor a lo largo de las discontinuidades heredadas, que en la matriz del material residual y se reportan casos en los cuales la resistencia a lo largo de la discontinuidad puede ser muy pequeña, comparada con la resistencia a través del suelo en sí, especialmente cuando las discontinuidades se encuentran rellenas. De estudios realizados, discontinuidades con ángulo de fricción para presiones efectivas de aproximadamente  $30^\circ$  se comportan en la práctica como si el ángulo de fricción fuera de menos de  $15^\circ$ , al producirse presiones de poros "preferenciales" a lo largo de las discontinuidades de valores superiores a más de 3 metros de columna de agua.



**FIGURA N° 18:** Variación de cohesión y el ángulo de fricción dentro de una discontinuidad por el aumento de humedad.

Fuente: Jaime Suarez Díaz.

### 2.7.4.3. Cohesión

Es una propiedad determinante en el comportamiento de un suelo residual. En suelos no saturados hay una cohesión aparente, la cual es el producto de las presiones negativas en el agua de poros, la cual desaparece por saturación, sin embargo en muchos casos. La cohesión generalmente, no es continua a lo largo de una superficie y desaparece con frecuencia por la abertura de las discontinuidades debida a fuerzas de tensión o a presión de poros.

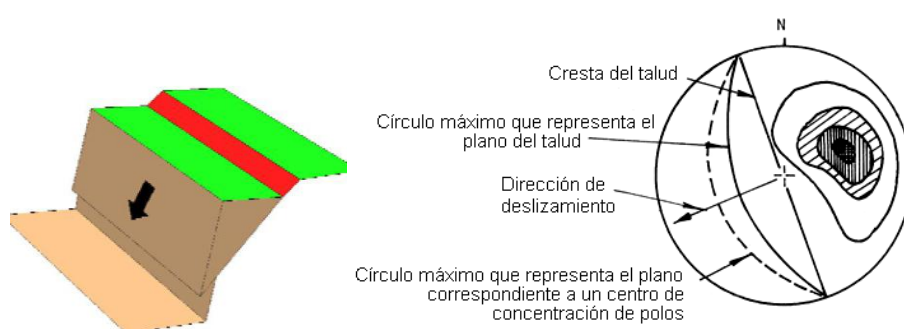
## 2.8. ROTURAS EN ROCAS

Los diferentes tipos de roturas están condicionados por el grado de fracturación del macizo rocoso y por la orientación y distribución de las discontinuidades con respecto al talud, quedando la estabilidad definida por los parámetros resistentes de las discontinuidades y de la matriz rocosa. Como se presentan en los macizos duros o resistentes, las discontinuidades determinan la situación de los planos de rotura. Presentándose los modelos de rotura más frecuentes son: rotura plana, en cuña.

### 2.8.1. Falla Planar

Es muy poco común en taludes altos en rocas debido a las condiciones estructurales requeridas, las cuales son: superficie de rotura en dirección paralela o casi paralela a la cara del talud, el ángulo de buzamiento del talud mayor que el ángulo de buzamiento de la superficie de rotura, y este último mayor que el ángulo de fricción. Se llama rotura planar o plana a aquella en la que el deslizamiento se produce a través de una única superficie plana.

Se entiende por falla plana, o rotura planar, como aquella en el que el deslizamiento se produce a través de una única superficie plana. Siendo la más sencilla de las formas de rotura posibles se produce cuando existe una fracturación dominante en la roca y convenientemente orientada respecto al talud. La representación semiesférica en la red de Schmidt se prevé el deslizamiento cuando el rumbo de la familia de discontinuidades es similar al del talud y su buzamiento menor que este. (Instituto Tecnológico Geo Minero de España, 1987).



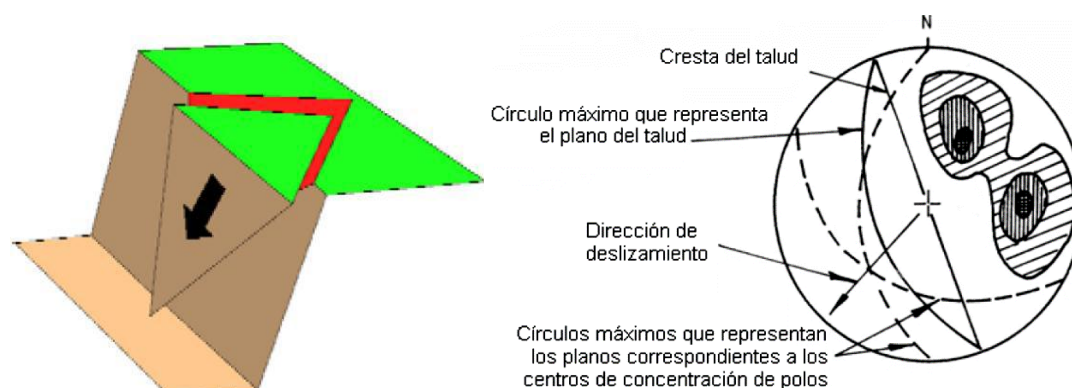
**FIGURA N° 19:** Disposición de discontinuidades en el estereograma para un modo de falla planar.

Fuente: Modificado de Hoek y Bray, 1977.

### 2.8.2. Falla por cuña

La falla en cuña es un tipo de deslizamiento traslacional que está controlado por dos o más discontinuidades (estratificación, esquistosidad, diaclasa, falla, etc.). Este tipo de deslizamientos generalmente se dan en macizos rocosos resistentes, con discontinuidades bien marcadas. Este tipo de fallas es sin duda una de las más comunes en taludes excavaos en roca, fácilmente observados en canteras.

Se desarrolla a través de la intersección de dos planos de discontinuidad, los cuales generan un bloque deslizante en forma de cuña, para que se produzca la rotura los dos planos deben de aflorar en la cara del talud. (Instituto Tecnológico Geo Minero de España, 1987).



**FIGURA N° 20:** Disposición de discontinuidades en el estereograma para un modo de falla por cuña.

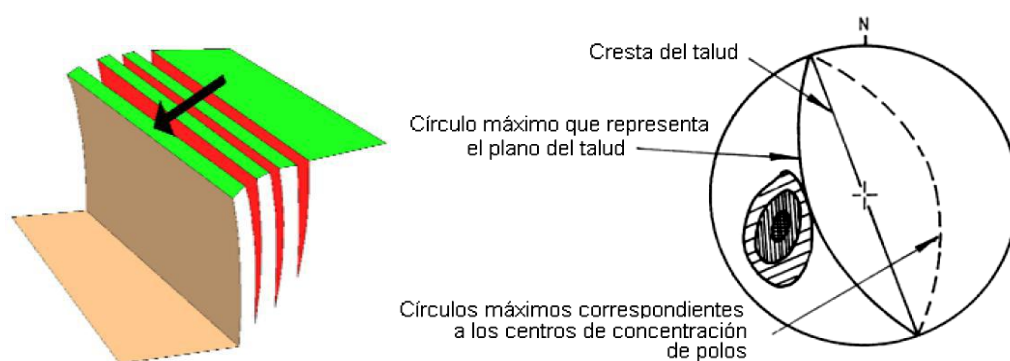
Fuente: Modificado de Hoek y Bray, 1981.

Si representamos el plano del talud y las discontinuidades en una proyección estereográfica, la disposición típica de los casos en que es posible la falla por cuñas es la que aparece en la Figura 23 en ella se aprecia la existencia de dos familias de discontinuidades de rumbos oblicuos respecto al del talud, quedando el rumbo de éste comprendido entre los de las dos familias de

discontinuidades. La dirección de deslizamiento es la intersección de las dos familias de discontinuidades y ha de tener menos inclinación que el talud.

### 2.8.3. Falla por vuelco

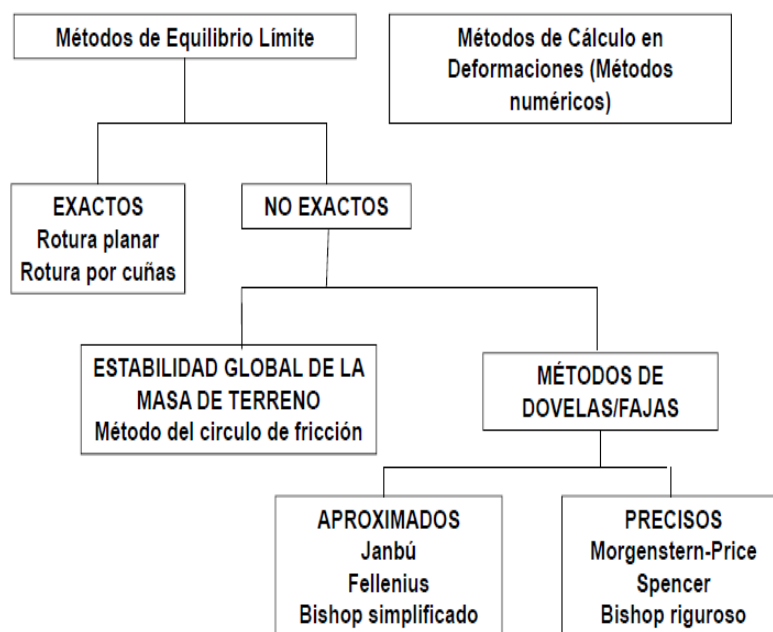
Las fallas por vuelco de taludes aparecen principalmente cuando el rumbo del plano de discontinuidad: falla, estratificación, etc., coincide aproximadamente con el del plano del talud y además tiene un fuerte buzamiento hacia el interior del macizo rocoso. Cuando el macizo rocoso presenta un conjunto de paquetes que quedan en voladizo, se produce el vuelco por flexión; además, puede aparecer una familia de discontinuidades conjugada con la principal, produciéndose en este caso un vuelco de bloques o un vuelco de bloques por flexión. (Ramirez & Alejano, 2007).



**FIGURA N° 21:** Disposición de discontinuidades en el estereograma para un modo de falla por vuelco de bloques.

Fuente: Modificado de Hoek y Bray, 1981.

El vuelco en taludes es posible siempre que un conjunto de discontinuidades bien definidos se inclina abruptamente en un talud. En este tipo de fallas, son largas, delgadas columnas de roca formadas por las discontinuidades fuertemente inclinadas estos pueden girar alrededor de un punto de giro situado en la esquina más baja del bloque. (Kliche, 1999).



**FIGURA N° 22:** Esquema de métodos para estabilidad de taludes.

Fuente: Morales, 2009.

#### 2.8.4. Métodos de equilibrio límite o analítico

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

- Métodos que suponen una superficie de deslizamiento predeterminada de la que se calcula su factor de seguridad, y
- Métodos en los que se busca la superficie de deslizamiento pésima y su factor de seguridad.

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

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

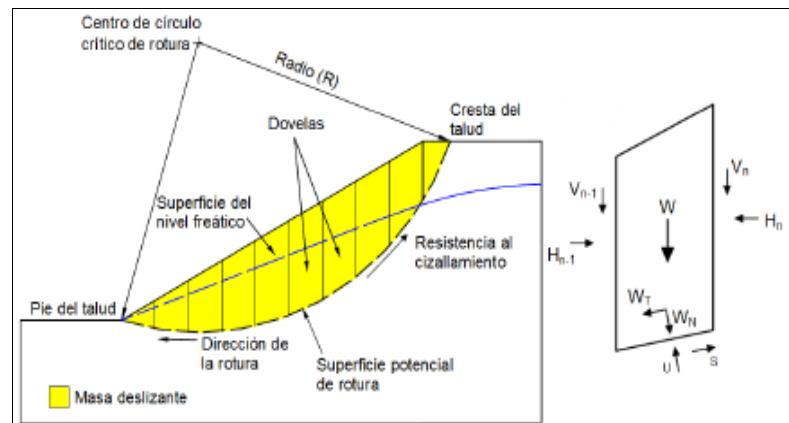
#### **2.8.4.1. Parámetros utilizados en los análisis de equilibrio límite**

Los modelos tienen en cuenta los factores primarios que afectan la estabilidad. Estos factores incluyen geometría del talud, parámetros geológicos, presencia de grietas de tensión, cargas dinámicas por acción de los sismos, flujo de agua, propiedades de resistencia y peso unitario de los suelos, etc. Sin embargo, no todos los factores que afectan la estabilidad de un talud se pueden cuantificar para incluirlos en un modelo matemático de límite de equilibrio. Por lo tanto, hay situaciones en las cuales un enfoque de límite de equilibrio no produce resultados satisfactorios.

#### **2.8.4.2. Métodos de Dovelas**

Los métodos de dovelas consideran el problema bidimensional por lo que la estabilidad del talud se analiza en una sección transversal del mismo. La zona de terreno potencialmente deslizante se divide en una serie de fajas verticales estudiándose el equilibrio de cada una de ellas, tal como se muestra en la figura 20.





**FIGURA N° 23:** Método de la dovela para una rotura circular en una serie de fajas y rebanas verticales.

Fuente: Suarez, 2002.

La gran utilización que tienen actualmente los métodos de dovela se debe a que se pueden aplicar a una gran generalidad de problemas con un grado razonable de exactitud en la gran mayoría de los casos. Permiten considerar la acción de presiones intersticiales, la existencia de cargas externas actuando sobre el talud, la existencia de materiales de diferentes características y, en muchos casos, son aplicables a superficies de rotura de cualquier forma. (Instituto Geológico y Minero de España, 2006).

#### 2.8.4.3. Método de Bishop simplificado

En 1955. Bishop presentó su método utilizando dovelas donde la superficie potencial de falla se admite como circular y el factor de seguridad es calculado satisfaciendo la ecuación de equilibrio de momentos y de fuerzas verticales empleada para la obtención de fuerzas normales, la resultante de fuerzas laterales actuantes en cada dovela es admitida como horizontal.

$$F.S. = \frac{\sum [C'b + (W - ub) \tan \alpha]}{\sum W \sin \alpha}$$

$$ma = \cos \alpha \left( 1 + \frac{\tan \alpha \tan \phi}{FS} \right)$$

$b$  = Ancho de la Dovela

$W$  = Peso de cada dovela

$C', \phi$  = Parámetros de resistencia del suelo.

$u$  = Presión de poros en la base de cada dovela

$\alpha$  = Angulo del radio y la vertical en cada dovela.

## 2.9. DEFINICIONES CONCEPTUALES

### 2.9.1. Macizo rocoso

Es el material rocoso exento de discontinuidades, 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. (Gonzáles, 2002).

### 2.9.2. Discontinuidad

Es cualquier plano de origen mecánico o sedimentario que independiza o separa los bloques de matriz rocosa en un macizo rocoso. (Gonzáles, 2002).

Una discontinuidad es una superficie del macizo rocoso que está abierta o puede abrirse fácilmente a causa de tenciones inducidas por la excavación. Las superficies de discontinuidad aparecen durante la formación de la roca. (Jorda, 2013).

### **2.9.3. Orientación**

Es la posición de la discontinuidad en el espacio y comúnmente es descrito por la dirección de buzamiento y el buzamiento de la línea de máxima pendiente en el plano de la discontinuidad. (Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1987).

### **2.9.4. Cohesión de suelo**

Fuerza de unión entre las partículas de un suelo, cuya magnitud depende de la naturaleza y estructura del mismo. En los suelos cohesivos la estructura depende del contenido de minerales arcillosos presentes y de las fuerzas que actúan entre ellos. (Terzaghi y Peck, 1989).

### **2.9.5. Factor de seguridad**

El Factor de Seguridad es una medida determinista de la relación entre las fuerzas de resistencia (capacidad) y las fuerzas impulsoras (demanda) del sistema en su entorno considerado. El FoS es el criterio más básico de diseño aceptado en la ingeniería. En geomecánica saltó a la fama a mediados del siglo 20, cuando la ingeniería geotécnica se desarrolló como una disciplina de ingeniería independiente en 1940. (Read & Stacey, 2009).

### **2.9.6. Buzamiento**

Ángulo que forma con la horizontal la línea de máxima pendiente de un plano. (Instituto Geológico y Minero de España, 2006)

### **2.9.7. Clasificación geomecánica**

Es un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros de diseño y de sostenimiento. (Torrijo & Córtes, 2007).

### **2.9.8. Dirección de buzamiento**

Ángulo, medido en el sentido de las agujas del reloj, entre la dirección Norte y la proyección horizontal de la línea de máxima pendiente considerada siempre en el sentido hacia que desciende el plano. (Instituto Geológico y Minero de España, 2006).

### **2.9.9. Esclerómetro**

Martillo de rebote Schmidt es el medidor de dureza de la superficie que proporciona un medio rápido y sencillo para verificar la uniformidad del concreto. Mide el rebote de un émbolo cargado con un resorte después de golpear una superficie lisa de concreto.

### **2.9.10. Estabilidad de taludes**

Es la teoría que estudia la estabilidad de un talud a la hora de realizar un proyecto, o llevar a cabo una obra de construcción de ingeniería civil siendo un aspecto directamente relacionado con la geotecnia; la estabilidad de un talud, se puede producir por un desnivel.

### **2.9.11. Geodinámica externa**

Conjunto de fenómenos geológicos de carácter dinámico, que puede actuar sobre el terreno materia del estudio como: erupciones volcánicas, inundaciones, huaycos avalanchas, tsunamis, actividades de fallas geológicas.

### **2.9.12. Filtración**

Flujo de agua y humedad libre visible en discontinuidades o en la totalidad de la roca.

### **2.9.13. Roca**

Es un agregado natural duro y compacto de partículas minerales con fuertes uniones cohesivas permanentes que habitualmente se consideran un sistema continuo. (Gonzáles, 2002).

Agregado natural compuesto de partículas de uno o más minerales, con fuertes uniones cohesivas, que no pueden ser disgregados o excavados con herramientas manuales, originada en forma natural por procesos geológicos. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2012).

### **2.9.14. Rugosidad**

Conjunto de irregularidades de diferentes órdenes de magnitud (asperezas, ondulaciones), que componen la superficie de las paredes de una discontinuidad.

### **2.9.15. Talud**

Inclinación de diseño dada al terreno lateral de la carretera, tanto en zonas de corte como en terraplenes, con estructura de roca o suelo. Inclinación o pendiente de un terreno que queda al excavar. Perfil conseguido tras una excavación o terraplenado no necesariamente vertical, sino con cierto ángulo con la horizontal, llamado ángulo de talud. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2012).

### **2.9.16. Tipo de rotura**

En cualquier parte de la superficie terrestre la gravedad actúa continuamente sobre los materiales, que tienden a dirigirse hacia niveles más bajos. El término más comúnmente usado para designar los movimientos producidos en los taludes es el de deslizamiento, dicho término implica movimientos de masas formadas por diferentes tipos de materiales: rocas, suelos, rellenos artificiales o también combinaciones de los mismos, a través de una superficie determinada denominada de rotura. Produciéndose inicialmente una rotura local, que va progresando hasta convertirse en una rotura generalizada. (Ramirez & Alejano, 2007).

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. DISEÑO METODOLÓGICO**

El presente trabajo de investigación, se sustentan en la investigación no experimental, de tipo descriptivo, orientándose al análisis de la estabilidad de taludes denominada “Evaluación Geologica-Geotecnica para la estabilidad de taludes en la carretera Muñani-Saytococho tramo Km. 14+700 al 30+00” Así, para que sea posible atender los objetivos anteriormente descritos, serán cumplidos los siguientes pasos.

#### **3.2. REVISIÓN, RECOPIACIÓN DE INFORMACIONES PRELIMINARES**

Se realizó una planificación según las metodologías a aplicar para ejecutar el proyecto de investigación, se revisaron y recopilaron informaciones bibliográficas relacionadas al tema de investigación. Se hizo una revisión tesis bibliográficas para tener una visión del estado de conocimiento en relación al análisis de estabilidad de taludes en macizos rocosos y las metodologías

relacionadas a la caracterización geológica estructural y geotécnica, y la resistencia a la compresión simple.

### 3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

La presente investigación se llevó a cabo solamente en los taludes de corte a lo largo del tramo 02, de la Carretera Muñani-Saytocochoa tramo Km. 14+700 al 30+00” Provincia de Azángaro y San Antonio de Putina, de la región de Puno.

El muestreo se realizó utilizando los criterios de alturas considerables, pendientes pronunciadas (geometría del talud), esto en los taludes, el estudio fue realizado solamente en el sub tramo II, en la que se escogieron cuatro taludes de interés a lo largo de la vía que actualmente se encuentra culminada. Para su descripción se utilizó el sistema de ubicación basado en las progresivas que cubre cada talud, propias de la obra, cuyo km 14+700 está al inicio no se rige por las progresiva del proyecto.

**TABLA N° 14:** Progresiva de los taludes.

<b>N°</b>	<b>Progresiva</b>
<b>01</b>	<b>km. 16+100 al 16+200.</b>
<b>02</b>	<b>km. 17+010 al 17+080.</b>
<b>03</b>	<b>km. 20+080 al 20+160.</b>
<b>04</b>	<b>km. 26+480 al 26+540.</b>

Fuente: Elaboración propia.



### 3.4. HIPÓTESIS

Los taludes de la carretera Muñani Saytocochoa del tramo Km 14+700 al Km. 30+000 son estables, considerando las metodologías y sus parámetros geotécnicos de cada talud.

#### 3.4.1. Variables

#### 3.4.2. Variables dependientes

Las variables dependientes son los modos de falla estructural en el talud y el factor de seguridad.

**TABLA N° 15:** Operacionalización de variables.

	<b>Variable(s)</b>	<b>Dimensión(es)</b>	<b>Indicador(es)</b>
<b>Variables Independientes</b>	Altura del talud	Longitud	Metros (m)
	Dirección de la base del talud	Ángulo	Grados (°)
	Longitud del talud	Longitud	Metros (m)
	Pendiente del talud	Ángulo	Grados (°)
	Dirección de Buzamiento	Ángulo	Grados (°)
	Buzamiento	Angulo	Grados (°)
	Espaciado	Longitud	Milímetros (mm)
	Persistencia	Longitud	Metros (m)
	Rugosidad	Adimensional	Texto
	Apertura	Longitud	Milímetros (mm)
	Relleno	Longitud	Milímetros (mm)
	Agua	Adimensional	Texto
	Meteorización	Adimensional	Texto
	Alteración	Adimensional	Texto
	Peso específico	Peso	Newton/metro <sup>3</sup>
Resistencia a la compresión uniaxial	Fuerza	Mega pascales (MPa)	
<b>Variables Dependientes</b>	Modo de falla estructural	Adimensional	Porcentaje de falla (%)
	Factor de seguridad	Adimensional	Numero

Fuente: Elaboración propia.

### **3.5. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **3.5.1. Etapa de campo**

Las investigaciones de campo constituyen la parte más esencial e importante en los análisis de estabilidad de taludes. La técnica que se a usado en la presente investigación es la observación y la caracterización; que es una técnica que consiste en observar atentamente el afloramiento, fenómeno, hecho o caso, se tomó información y registro para un posterior hacer análisis. Los instrumentos usados en esta etapa son para la obtención de los datos en campo in situ, De ellos se obtienen características, físicas y propiedades que definen las condiciones del talud, geometría del talud de análisis. En esta etapa se realizaron las siguientes actividades:

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

##### **3.5.1.1. Caracterización geológica estructural y geotécnica**

Mediante trabajos de campo estrictamente geológicos, se identificaron las diferentes litologías presentes en el área de investigación, el grado de meteorización de los taludes en análisis. En la caracterización geológica estructural se realizó por línea de detalles (mapeo lineal) a lo largo del pie del

talud, tomándose como datos de campo dirección de buzamiento, buzamiento, espaciamiento, persistencia, apertura, rugosidad, relleno, alteración, resistencia a la compresión simple de las juntas y la presencia de agua, que se determinó en forma cualitativa y cuantitativa; y la toma de muestras para realizar pruebas en laboratorio.

### **3.5.2. Ensayos de laboratorio**

Se realizaron ensayos que permitieron obtener las propiedades mecánicas de las litologías presentes en el talud para la identificación de los modos de falla estructural presentes en el talud del tramo, en tal forma que son lo más representativos de las situaciones reales en el campo.

Los ensayos de laboratorio realizados en el talud son las siguientes:

- Ensayos de triaxial (ASTM D2435-90 AASTHO T 216)
- Peso específicos (ASTM C 97-02)
- % de humedad (ASTM D 2216)
- Ensayo de granulometría (ASTM D 422)

Todos los ensayos de laboratorio fueron realizados en el laboratorio de la obra.

#### **3.5.2.1. Equipos de laboratorio**

- Tamizes
- Horno
- Casa Granda

- Brocha
- Varilla
- Matrices

### **3.6. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

Los datos de la caracterización estructural y geotécnica del talud fueron almacenados en el software Dips v.6.0 y finalmente el análisis de estabilidad por el método de equilibrio límite para el cálculo del factor de seguridad se realizó con la ayuda del software de la firma Rocscience .El Slide es un programa de estabilidad de taludes para la evaluación de la estabilidad de superficies de falla circulares o no circulares en suelos y macizos rocosos, el programa analiza la estabilidad de las superficies de deslizamiento utilizando el criterio de los métodos de equilibrio límite.

### **3.7. MATERIALES**

Los materiales empleados en la presente investigación son los siguientes:

- Brújula.
- Martillo de geólogo.
- Martillo Schmidt tipo L.
- GPS.
- Lupa de geólogo.
- Flexómetro.
- Cinta métrica. .

- Libreta de notas.
- Impresora.
- Cámara.
- Laptop.
  - Softwares especializados.

### **3.8. ANÁLISIS DE TALUDES EN SUELOS**

#### **3.8.1. Método de Bishop**

Este método es el más conocido y utilizado supone además, que las fuerzas de contacto entre cada dos rebanadas no influye, por estar equilibradas. La superficie de rotura circular; en el cual la masa deslizante se divide en  $n$  rebanadas o fajas verticales. Estableciendo un equilibrio de momentos de fuerzas actuantes en cada rebanada con respecto al centro del, círculo. Dependiendo de esta condición el equilibrio de fuerzas verticales en cada rebanada se obtiene las fuerzas  $N$  (normales a la superficie de rotura) y sustituyen en la ecuación resultante de equilibrio de momentos.

### **3.9. ANÁLISIS DE TALUDES EN ROCAS**

#### **3.9.1. Método de Rotura Planar**

Se realiza a partir de las fuerzas actuantes sobre la superficie de rotura considerada, estableciendo la ecuación el coeficiente de seguridad el deslizamiento y las fuerzas resistentes del terreno que se oponen al mismo, proyectadas todas según la dirección del plano de rotura. Al calcular FS de esta manera, se le supone implícitamente constante a lo largo de toda la superficie

de rotura, lo cual se acepta a pesar de no ser estrictamente cierto. Por otra parte, se supone que la roturase produce únicamente por deslizamiento, considerando que los momentos que pueden aparecer sobre el plano de rotura tienen efecto despreciable.

### **3.9.2. Método de Rotura por Cuña**

La obtención del factor de seguridad es más compleja que en el caso de rotura planar debido a que el cálculo ha de hacerse en tres dimensiones, entrando en la caracterización geométrica del problema un número mucho mayor de variables angulares.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. ANÁLISIS GEOTÉCNICO

##### 4.1.1. Progresivas km 16+100- km 16+200

El talud está ubicado en distrito de Muñani, Provincia Azángaro Región Puno; en el margen izquierdo. La base del talud presenta un depósito aluvial compuesta por gravas finas a gruesas de 0.20 m de diámetro, de color blanquecino, englobando una matriz arenosa de grano fino a medio con poco porcentaje de finos, con presencia de arenisca erosionada. La corona del talud ha sido modificada por la erosión; presentando un cuerpo del deslizamiento actual por la ocurrencia de una serie de deslizamientos individuales, lo cual le da una morfología distorsionada al talud haciendo aparentar un movimiento general de todo el cuerpo de deslizamiento actual. Siendo controlado por una superficie de rotura curvo cilíndrico, por su morfología aluvial con una matriz de areniscas

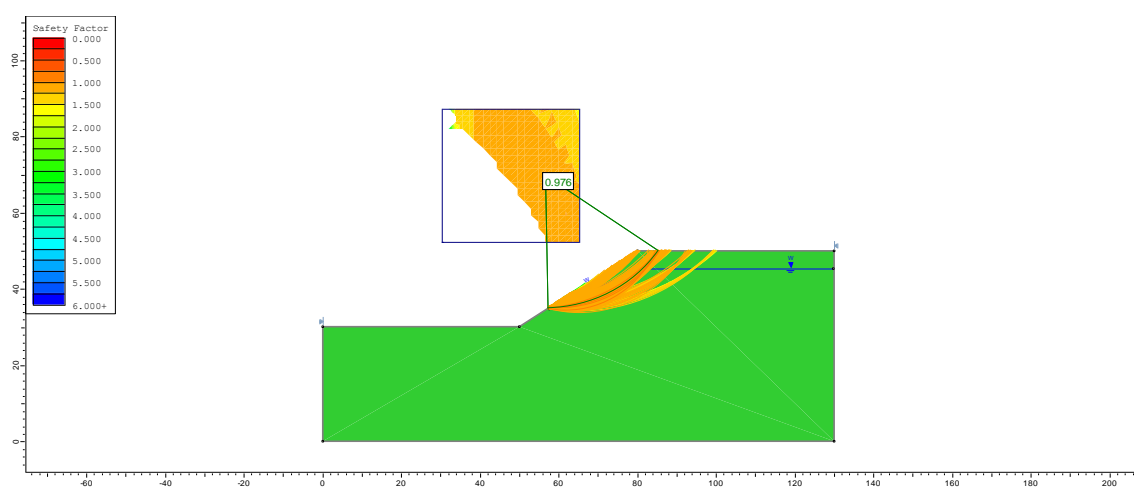


**FIGURA N° 24:** En la imagen se aprecia el Talud inestable de material coloidal de la Progresiva Km 16+100- Km 16+200.

Fuente: Elaboración propia.

### Análisis slide

Se importó la sección al programa Slide v6.0 y se definieron los materiales presentes, la parte superior como un suelo con peso específico de  $1.603 \text{ KN/m}^2$ , cohesión  $20 \text{ KN/m}^3$  y ángulo de fricción de  $38^\circ$ . Tal como se muestra en el anexo N°xxx Este estrato único de suelo representa una altura de 50 metros aproximadamente.

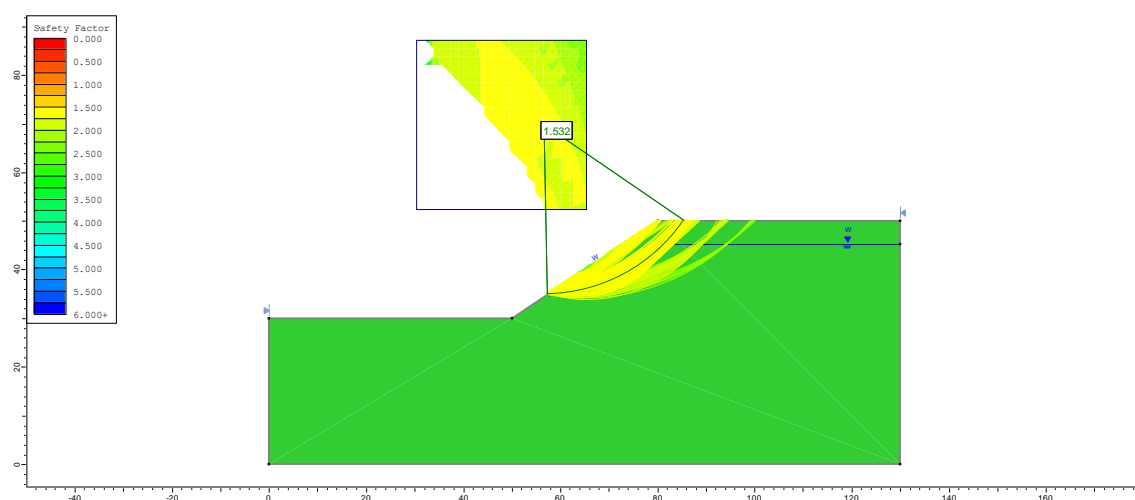


**FIGURA N° 25:** Método Bishop simplificado evaluado con el programa slide.

Fuente: Elaboración propia.



Se observarse que el talud con los parámetros geotécnicos del talud con las siguientes características altura 50 metros, ángulo de inclinación del talud  $45^\circ$ , ángulos de fricción interna  $38^\circ$ . Peso específico  $1.603\text{KN}/\text{m}^2$ , cohesión  $20\text{KN}/\text{m}^3$ . Resultado un talud inestable con un factor de seguridad  $FS = 0.976$ . Por lo que se muestra que el talud es inestable y no garantiza por lo que es necesario corregir la geometría del talud para que sea un talud estable tendrá que ser mayor 1.5 su factor de seguridad.



**FIGURA N° 26:** Método Bishop simplificado evaluado el talud modificado con el programa slide.

Fuente: Elaboración propia.

Para que se un talud estable tendremos que modificar la geometría del talud se modificó el ángulo de inclinación del talud que al principio era  $45^\circ$  Considerando los resultados y modificando en el segundo análisis con un ángulo de inclinación  $38^\circ$  y los otras propiedades del talud se mantienen con las siguientes características altura 50 metros ángulos de fricción interna  $38^\circ$ , Peso específico  $1.603\text{KN}/\text{m}^2$ , cohesión  $20\text{KN}/\text{m}^3$ . Resultado un talud estable. Talud con un  $FS = 1.532$  considerando respectivamente con ese resultado el talud es

estable, para determinar que sea estable tiene que ser mayor 1.5 y con la nueva geometría del talud resulta 1.532 su factor de seguridad.

#### 4.1.2. Progresivas km 17+010 - km 17+080

El talud de la carretera está compuesto por areniscas perteneciente a la Formación Muñani con estratificación bien definida, cuyos planos están ligeramente erosionada; conformando tres familias de discontinuidades, con matriz de sílice. Encontramos cuyos resultados son derrumbes de rocas la parte superior del talud, generados por la erosión y meteorización, siendo una zona por los derrumbes de rocas Su litología está conformada por rocas de la Formación Muñani, con intercalaciones altamente meteorizadas, evidenciándose en su tonalidad blanquecina verdusca. Lo constituyen derrumbes en la corona del talud en forma progresiva por su matriz altamente alterada de arcilla, formando surcos en la parte frontal del talud por la precipitación, socavando de manera progresiva en el talud.



**FIGURA N° 27:** En esta imagen se aprecia un afloramiento del macizo rocoso de arenisca cuarzosa en la progresiva Km 17+010 - Km 17+080.

Fuente: Elaboración propia.

**PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO:**

- **Grado de Meteorización:** Ligeramente meteorizado.
- **Número de familias de discontinuidades (Sets):** Tipo VIII, 3 Familias de discontinuidades.
- **Blocosidad:** Cubico.

**Parámetros de la Matriz Rocosa:**

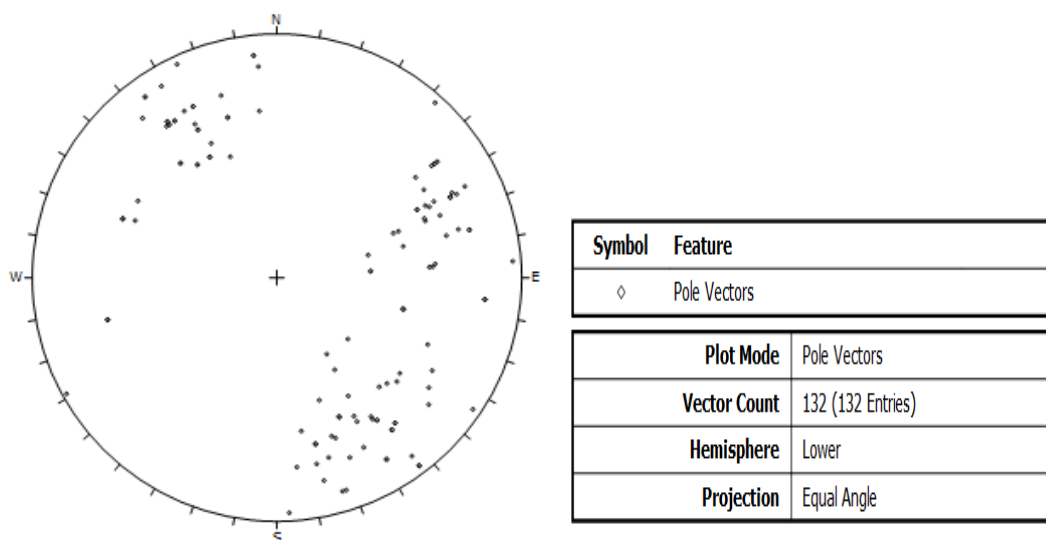
- **Litología:** Areniscas.
- **Textura y Tamaño de grano:** Fanerítica de grano medio.
- **Color:** Blanquecino verdusco.
- **Resistencia:** de 50-25 MPa de resistencia a la compresión.



**FIGURA N° 28:** En la fotografía se aprecia tres familias de discontinuidades en el macizo rocoso de arenisca cuarzosa en La Prog. 17+010 al 17+080.

Fuente: Elaboración propia.

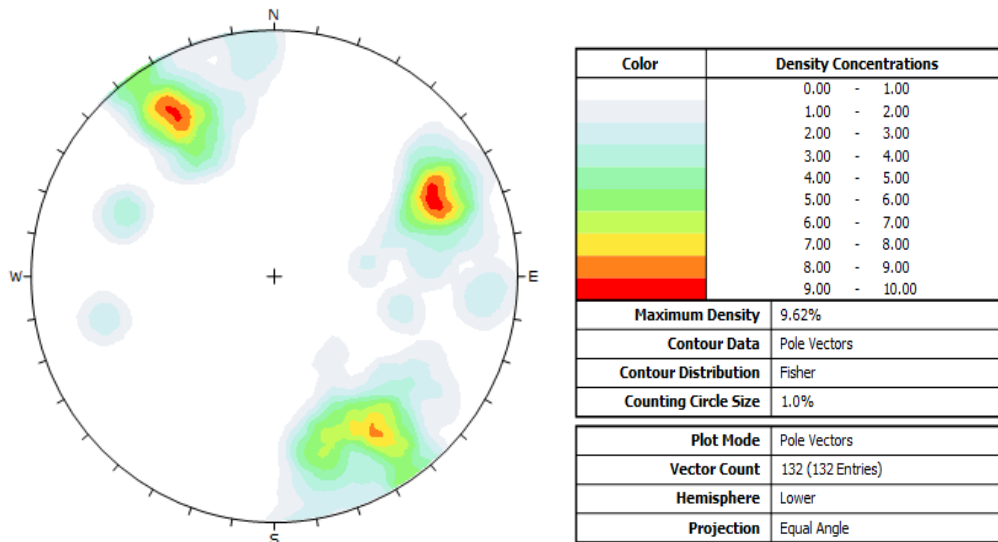
Aspecto general del talud figura 25 se aprecia notablemente el sistema de fractura miento ortogonal con respecto a la estratificación ubicada km 17+010 al 17+080



**FIGURA N° 29:** Representación de la distribución de polos en la red estereográfica que se representa en el talud de la Prog. Km. 17+010 al 17+080.

Fuente: Elaboración propia.

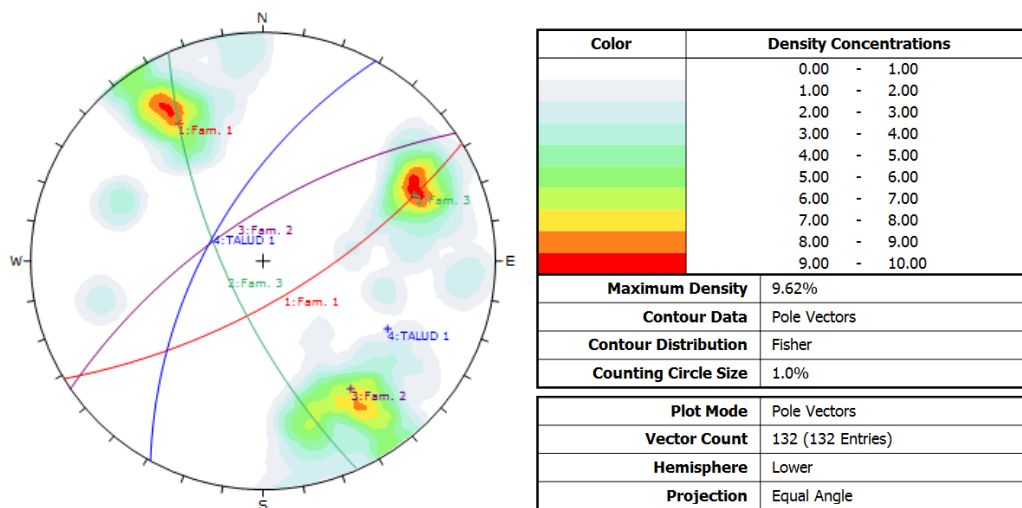
En la figura 26 se aprecia los polos de datos cada polo se representa en una parte del plano los datos de orientación que aparecen en las en la representación de la distribución de polos en la red estereográfica con 132 puntos con el programa de dips



**FIGURA N° 30:** Diagrama de densidad de polos representado por familias en la proyección estereográfica de la Prog. Km. 17+010 Km. 17+080.

Fuente: Elaboración propia.

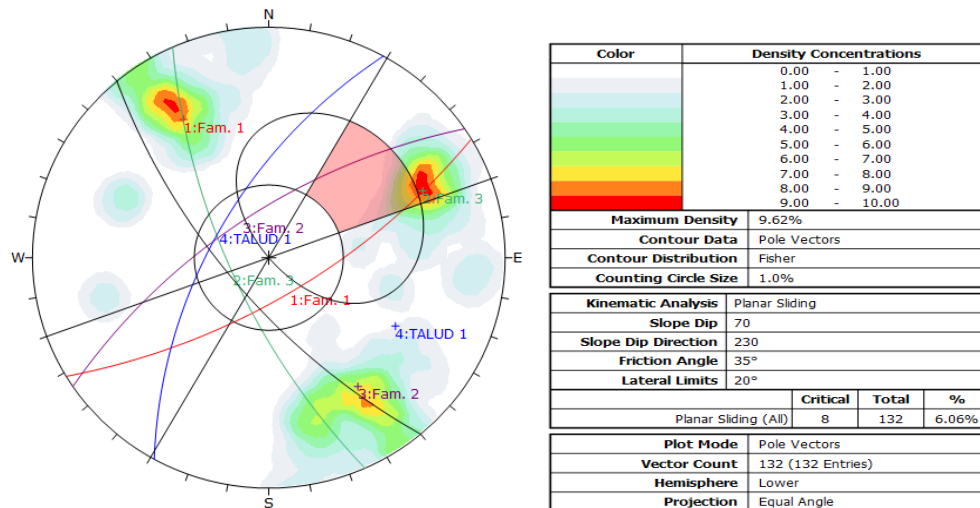
Se aprecia en la figura 27 las orientaciones definen las familias de discontinuidades y se emplearon para llevar a cabo el análisis de estabilidad, pues considerando de 132 datos de diaclasados con su contorno de 3 familias predominantes.



**FIGURA N° 31:** Diagrama de planos de distribución representado y agrupados en familias a partir del grafico de polos del talud de la Prog. Km. 17+010 Km. 17+080.

Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia en la figura 28 los diagramas de polos y círculos máximo de las discontinuidades se observa que el plano del talud es cortado por las discontinuidades 1, 2,3 generando rotura en cuña con respecto al talud.

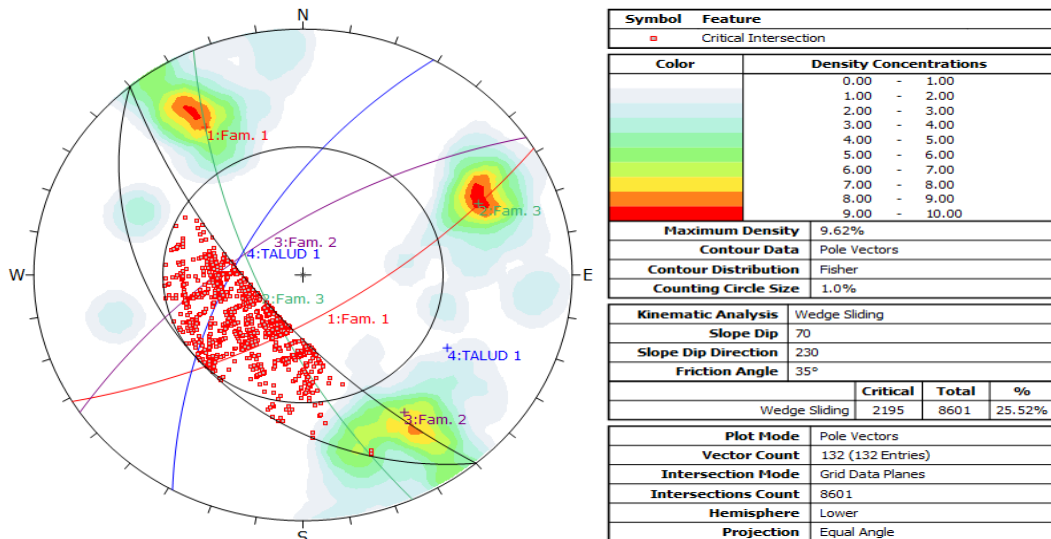


**FIGURA N° 32:** Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla de cuña con límite lateral de 20° con cono de fricción del talud de la Prog. Km. 17+010 Km. 17+080.

Fuente: Elaboración propia.

La línea de intersección formados por los planos de familia 1, 2,3, se encuentra dentro del área del círculo de fricción, lo cual se puede interpretar que cinematicamente que puede haber un deslizamiento, la parte envolvente sombreada no se encuentra para un potencial de vuelco. Mediante los estereogramas fue posible determinar que existen 3 familias de los sistemas de discontinuidades dominantes que forman una falla de cuña con potencia de caer de acuerdo al cono de fricción.

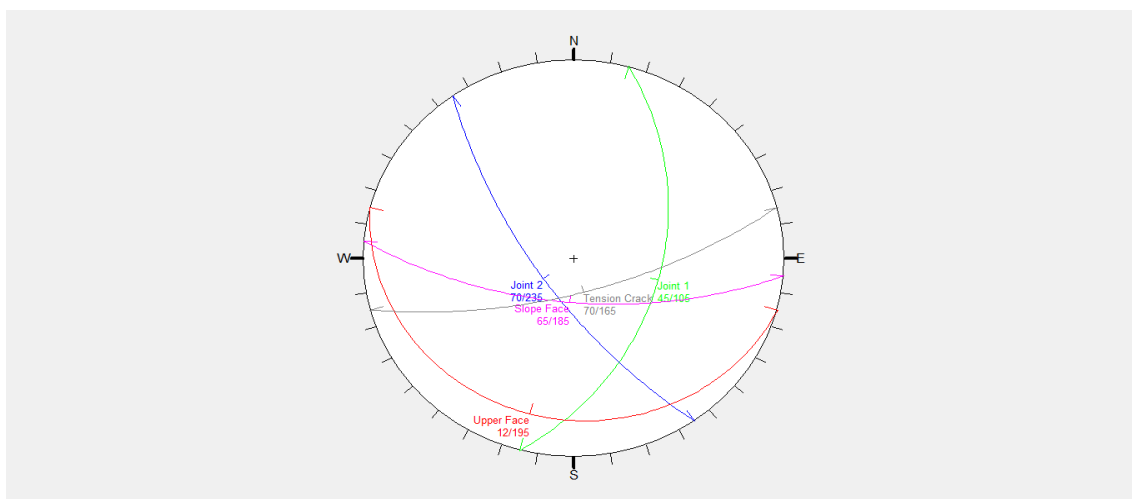




**FIGURA N° 33:** Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla por cuña para un ángulo básico de 35° en talud de la Prog. Km. 17+010 al Km. 17+080.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de la figura 30 se visualiza cinemático la línea de intersección de los 1, 2,3. Se encuentran dentro del área sombreada región que se considera como crítica por la potencialidad del deslizamiento de la cuña formada por los planos, la línea proyectada desde el punto de intersección que cruza por el centro de la red.



**FIGURA N° 34:** Determinando el factor de seguridad resulta 1.233 con el programa Swedge que significa que es estable Para la Prog. 17+010 al 17+080.

Fuente: Elaboración propia.

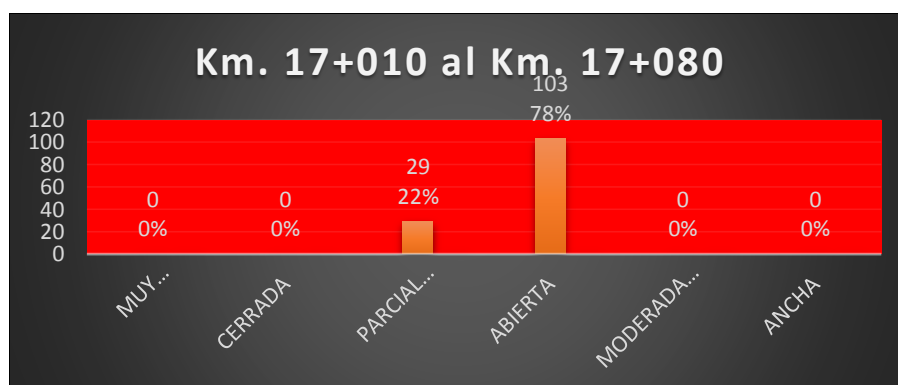
Todas estas características nos permitieron realizar un análisis de estabilidad de taludes para un tipo específico de rotura en roca en una superficie de deslizamiento en forma de cuña, luego de ingresar los datos de talud en análisis la susceptibilidad de desprendimiento de roca . En donde se determinó que el factor de seguridad da con el programa swedge es satisfactorio. Siendo mayor 1. Al ser un valor de 1.233 lo que representa una estabilidad estable.

**CARACTERIZACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES:**

**TABLA N° 19:** Resumen del talud Km.17+010 al Km. 17+080 Se reconoció tres familias cuyas características son las siguientes:

Estratificación	Orientación D/DD	Prom. Espaciado	Prom. continuidad	Rugosidad	Resistencia MPa	Prom. Abertura	Relleno	Filtración
Discontinuidad-1	20/329	14cm	8m.	Ligeramente Rugosa	25-50	0.1mm	si	Lig. húmedo
Discontinuidad-2	22/146	8cm	50 cm.	Rugosa	25-50	0.5mm	si	Lig. húmedo
Discontinuidad-3	19/66	15cm	65 cm.	Ligeramente Rugosa	25-50	0.4mm	si	Lig. húmedo
Talud	27/119							

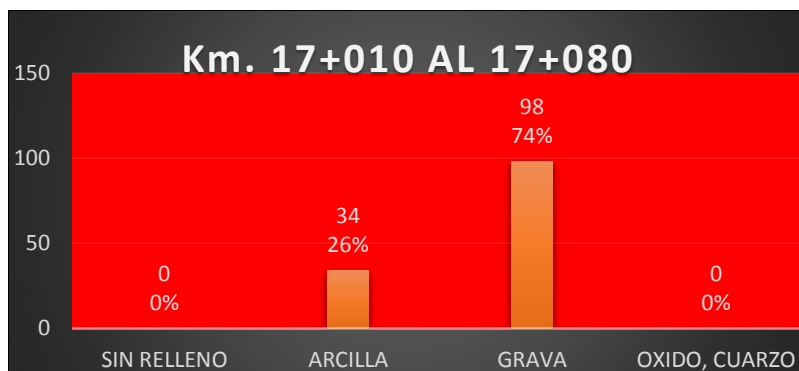
Fuente: Elaboración propia.



**FIGURA N° 35:** Histograma de abertura Km.17+010 al km. 17+080.

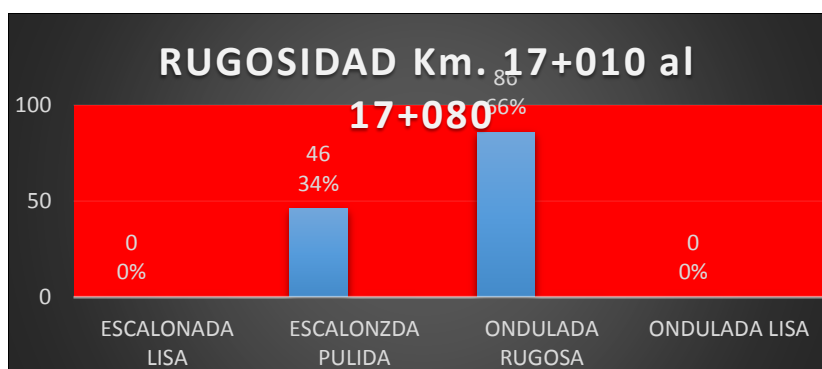
Fuente: Elaboración propia.





**FIGURA N° 36:** Histograma de relleno Km.17+010 al km. 17+080.

Fuente: Elaboración propia.



**FIGURA N° 37:** Histograma de rugosidad Km.17+010 al km. 17+080.

Fuente: Elaboración propia.

**TALUD: KM 17+010 AL 17+080**

**TABLA N° 20:** Índice de designación de la calidad de la roca RQD:  
RQD = 87

**Clasificación de Bieniawski RMR:**

a) **Parámetros de clasificación y sus valores**

Parámetros		Escala de valores								
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Índice de carga puntual	≥ 10	10 – 4	4 – 2	2 – 1	Resistencia baja			
		Compresión simple (MPa)	≥ 250	250 – 100	100 – 5	50 – 25	25 - 5	5 - 1	≤ 1	
Valoración			15	12	7	4	2	1	0	
2	Índice de calidad de roca - RQD (%)		100 – 90	90 – 75	75 – 50	50 – 25	25 – 0			
		Valoración		20	17	13	8	3		
3	Espaciamientos de juntas (m)		≥ 3	3 – 0.60	0.60 – 0.20	0.20 – 0.060	≤ 0.060			
		Valoración		25	20	12	8	5		
4	Condiciones de las discontinuidades	Longitud de discontinuidad (m)	≤ 1	1 – 3	3 - 10	10 – 20	≥20			
		Valoración		6	5	2	1	0		
		Abertura (mm)	Sin abertura	≤ 0.10	0.10 – 1.00	1.00 – 5.00	≥ 5.00			
		Valoración		6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente	Ondulada	Suave			
		Valoración		6	5	3	1	0		
		Relleno (mm)	Ninguno	Relleno duro ≤ 5	Relleno duro ≥ 5	Relleno blando ≤ 5	Relleno blando ≥ 5			
		Valoración		6	5	2	2	0		
Alteración	Inalterada	Ligeramente	Moderadamente	Muy alterada	Descompuesta					
Valoración		6	5	3	1	0				
Valoración total			15	5	8	2				
5	Condiciones hidrogeológicas	Estado general	Totalmente seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Ligera presión de agua	Serios problemas de agua			
		Valoración		15	10	7	4	0		

RMR básico = 54

b) **Ajuste de valores por las orientaciones de las juntas**

Dirección y buzamiento de las fisuras		Muy favorables	Favorables	Regular	desfavorables	Muy desfavorables
Valores	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

RMR = 54

c) **Determinación de la clase y grado de estabilidad del macizo rocoso**

Grado de estabilidad	E0	E1	E2	E3
Valoración total de MRM	100 – 81	80 – 61	60 – 41	40 – 21
Clasificación y/o clase	I	II	III	IV
Calidad y/o descripción	Muy buena	Buena	Regular	Mala
Descripción del grado de estabilidad	T. Estable	Normalmente estable	Inestable	Crítico

Clase = II

GSI = 52

Descripción = Buena

Grado = Normalmente estable con F. S.: 1.233

#### 4.1.3. Progresivas Km 20+080- Km 20+160

El talud está constituido por rocas de la Formación Muñani, de color blanquecino; Geo dinámicamente los planos de estratificación están casi horizontal, de la carretera, los cuales están generando caídas de rocas en forma sucesiva por su foliación y diaclasamiento de la matriz arcillosa; siendo afectada por: la precipitación; los cuales lo estabilizan y erosionan en forma cubico siguiendo su secuencia estratigráfica. Presentándose moderadamente meteorizadas; conformando tres familias de discontinuidades.



**FIGURA N° 38:** Afloramiento del macizo rocoso de arenisca en la Progresiva Km 20+080- Km 20+160.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 37 se aprecia aspecto general del talud Km 20+080- Km 20+160. Se expone en esta fotografía el mecanismo de falla correspondiente a la caída de bloques de la cual aflora en forma notable de arenisca cuarzosa la línea de interacción de los planos que delimitan dicho bloque.

**PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO:**

- **Grado de Meteorización:** Ligeramente meteorizado.
- **Número de familias de discontinuidades (Sets):** 3 Familias de discontinuidades.
- **Blocosidad:** cubico.

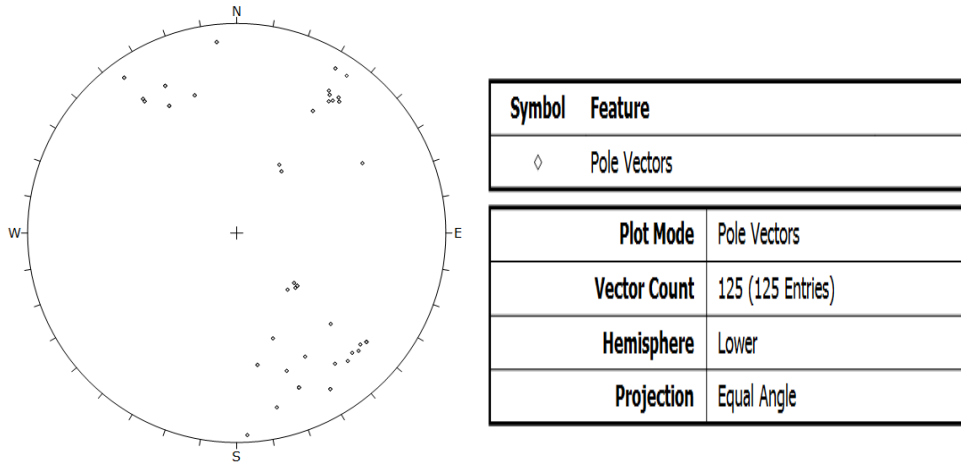
**PARÁMETROS DE LA MATRIZ ROCOSA:**

- **Litología:** Areniscas.
- **Textura y Tamaño de grano:** Afanítica de grano medio a fino.
- **Color:** Blanquecino - amarillento.
- **Resistencia:** Roca moderadamente dura de 25-50 MPa de resistencia a la compresión.



**FIGURA N° 39:** Se aprecian tres familias de discontinuidades en el macizo rocoso del talud Progresiva Km 20+080- Km 20+160.

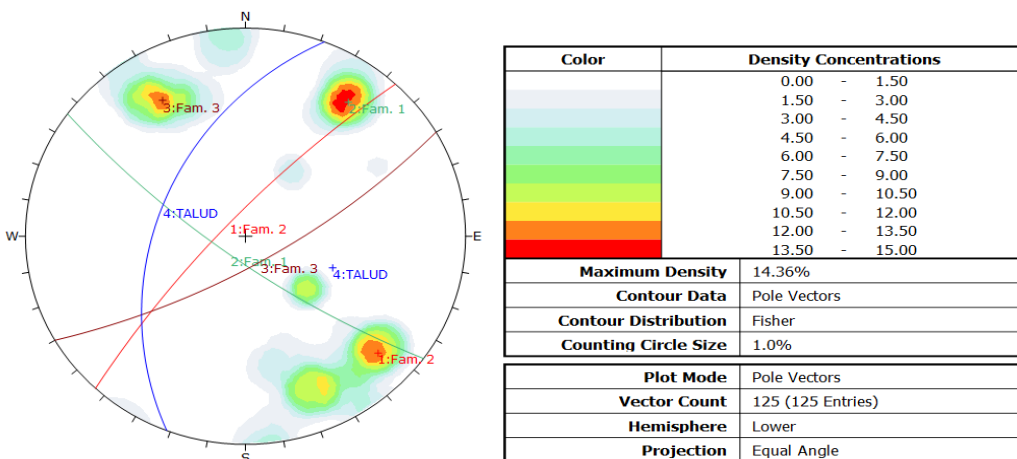
Fuente: Elaboración propia.



**FIGURA N° 40:** Representación de la distribución de polos en la red estereográfica en el talud de la Prog. Km. 20+080 Km. 20+160.

Fuente: Elaboración propia.

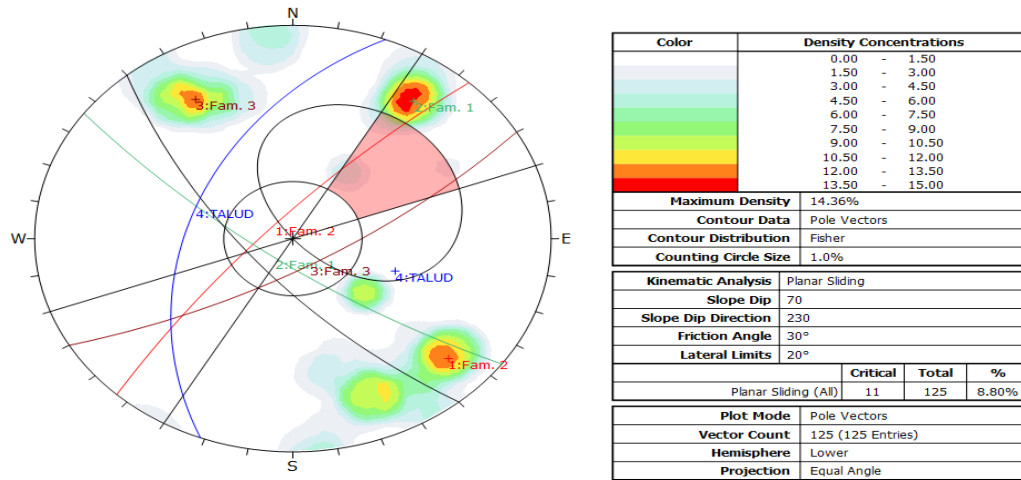
Polos de datos cada polo se representa en una parte del plano los datos de orientación que aparecen en las en la representación de la distribución de polos en la red estereográfica con 125 puntos con el programa de dips.



**FIGURA N° 41:** Diagrama de planos de distribución representado y agrupados en familias a partir del grafico de polos del talud de la Prog. Km. 20+080 Km. 20+160.

Fuente: Elaboración propia.

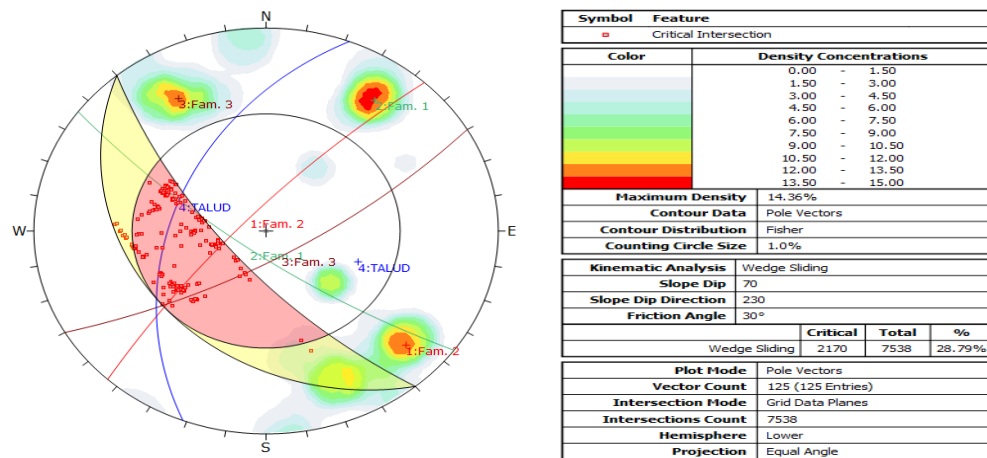
Estas orientaciones definen las familias de discontinuidades y se emplearan para llevar a cabo el análisis de estabilidad, pues considerando de 125 datos de diaclasados con su contorno de 3 familias predominantes.



**FIGURA N° 42:** Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla planar con limite lateral de 20° del talud de la Prog. Km. 20+080 Km. 20+160.

Fuente: Elaboración propia.

La línea de intersección formados por los planos de familia 1, 2,3, se encuentra dentro del área del círculo de fricción, lo cual se puede interpretar que cinematicamente que puede haber un deslizamiento, la parte envolvente sombreada no se encuentra para un potencial de deslizamiento. Mediante los estereogramas fue posible determinar que existen 3 familias de los sistemas de discontinuidades dominantes que forman una falla de cuña con potencia de caer de acuerdo al cono de fricción.

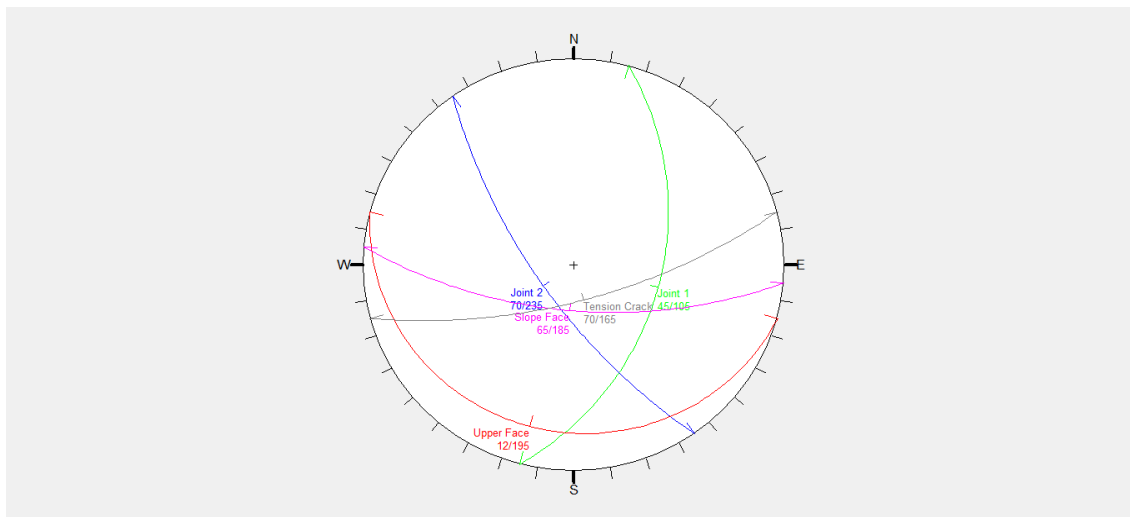


**FIGURA N° 43:** Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla por cuña para un ángulo básico de 35° en talud de la Prog. Km. 20+080 al Km. 20+160.

Fuente: Elaboración propia.



Análisis cinemático la línea de intersección de los 1, 2,3. Se encuentran dentro del área sombreada región que se considera como crítica por la potencialidad del deslizamiento de la cuña formada por los planos, la línea proyectada desde el punto de intersección que cruza por el centro de la red.



**FIGURA N° 44:** Determinando el factor de seguridad con el programa Swedge. Siendo el factor de seguridad que es 1.181 Progresiva Km 20+080- Km 20+160.

Fuente: Elaboración propia.

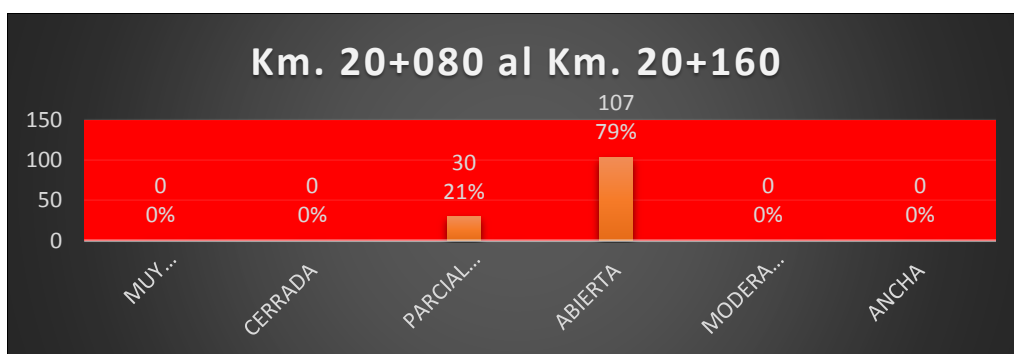
Todas estas características nos permitieron realizar un análisis de estabilidad de taludes para un tipo específico de rotura en roca en una superficie de deslizamiento en forma de cuña, luego de ingresar los datos de talud en análisis la susceptibilidad de desprendimiento de roca en donde se desprendimiento de roca. En donde se determinó que el factor de seguridad da con el programa swedge es satisfactorio. Siendo mayor 1. al ser un valor de 1.181 lo que representa una estabilidad moderada.

**CARACTERIZACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES:**

**TABLA N° 21:** Resumen del talud Km.20+080 al Km. 20+160 Se reconoció tres familias cuyas características son las siguientes:

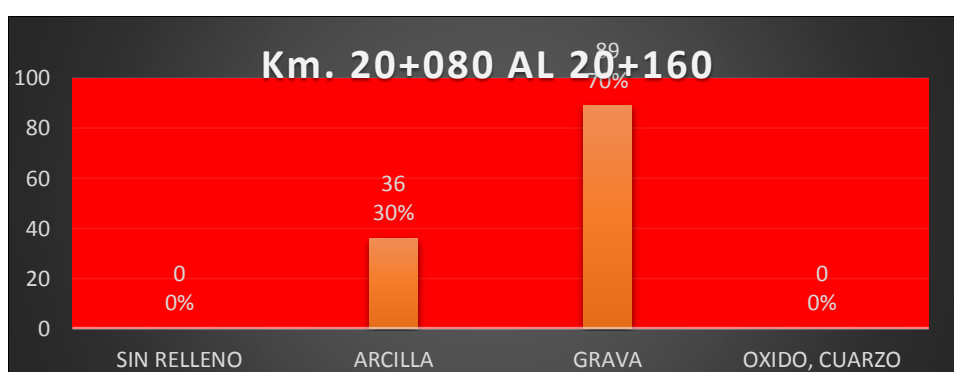
Estratificación	Orientación D/DD	Prom. Espaciado	Prom. continuidad	Rogosidad	Resistencia MPa	Prom. Abertura	Relleno	Filtración
Discontinuidad-1	14/34	15cm	50m.	Rugosa	25-50	0.5 mm	oxido	húmedo
Discontinuidad-2	12/134	15cm	50 cm.	Rugosa	25-50	0.4mm	arcilla	húmedo
Discontinuidad-3	19/168	15 cm	50cm	Rugosa	25-50	0.4mm	arcilla	húmedo
Talud	29/99							

Fuente: Elaboración propia.



**FIGURA N° 45:** Histograma de abertura Km.20+080 al km. 20+160.

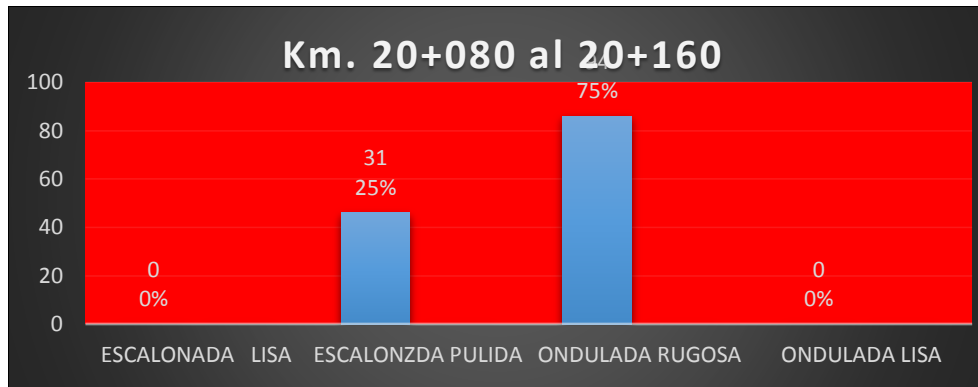
Fuente: Elaboración propia.



**FIGURA N° 46:** Histograma de relleno Km.20+080 al km. 20+160.

Fuente: Elaboración propia.





**FIGURA N° 47:** Histograma de rugosidad Km.20+080 al km. 20+160.

Fuente: Elaboración propia.

**TALUD: KM 20+080 AL 20+160**

**TABLA N° 22:** Índice de designación de la calidad de la roca RQD:  
RQD = 81

**Clasificación de Bieniawski RMR:**

a) Parámetros de clasificación y sus valores

Parámetros		Escala de valores							
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Índice de carga puntual	≥ 10	10 – 4	4 – 2	2 – 1	Resistencia baja		
		Compresión simple (MPa)	≥ 250	250 – 100	100 – 5	50 – 25	25 - 5	5 - 1	≤ 1
	Valoración		15	12	7	4	2	1	0
2	Índice de calidad de roca - RQD (%)		100 – 90	90 – 75	75 – 50	50 – 25	25 – 0		
	Valoración		20	17	13	8	3		
3	Espaciamientos de juntas (m)		≥ 3	3 – 0.60	0.60 – 0.20	0.20 – 0.060	≤ 0.060		
	Valoración		25	20	12	8	5		
4	Condiciones de las discontinuidades	Longitud de discontinuidad (m)	≤ 1	1 – 3	3 - 10	10 – 20	≥ 20		
		Valoración	6	5	2	1	0		
		Abertura (mm)	Sin abertura	≤ 0.10	0.10 – 1.00	1.00 – 5.00	≥ 5.00		
		Valoración	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy	Rugosa	Ligeramente	Ondulada	Suav		
		Valoración	6	5	3	1	0		
		Relleno (mm)	Ninguno	Relleno duro ≤ 5	Relleno duro ≥ 5	Relleno blando ≤ 5	Relleno blando ≥ 5		
		Valoración	6	5	2	2	0		
Alteración	Inalterada	Ligerament	Moderadament	Muy alterada	Descompuesta				
Valoración	6	5	3	1	0				
Valoración total		15	5	8	2				
5	Condiciones hidrogeológicas	Estado general	Totalmente seco	Ligerament e húmedo	Húmedo	Ligera presión de agua	Serios problemas de agua		
		Valoración		15	10	7	4	0	

RMR básico = 52

b) Ajuste de valores por las orientaciones de las juntas

Dirección y buzamiento de las fisuras		Muy favorables	Favorables	Regular	desfavorables	Muy desfavorables
Valores	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

RMR = 52

c) Determinación de la clase y grado de estabilidad del macizo rocoso

Grado de estabilidad	E0	E1	E2	E3
Valoración total de MRM	100 – 81	80 – 61	60 – 41	40 – 21
Clasificación y/o clase	I	II	III	IV
Calidad y/o descripción	Muy buena	Buena	Regular	Mala
Descripción del grado de estabilidad	T. Estable	Normalmente estable	Inestable	Crítico

Clase = II

GSI = 54

Descripción = Buena

Grado = Normalmente estable F. S. 1.181

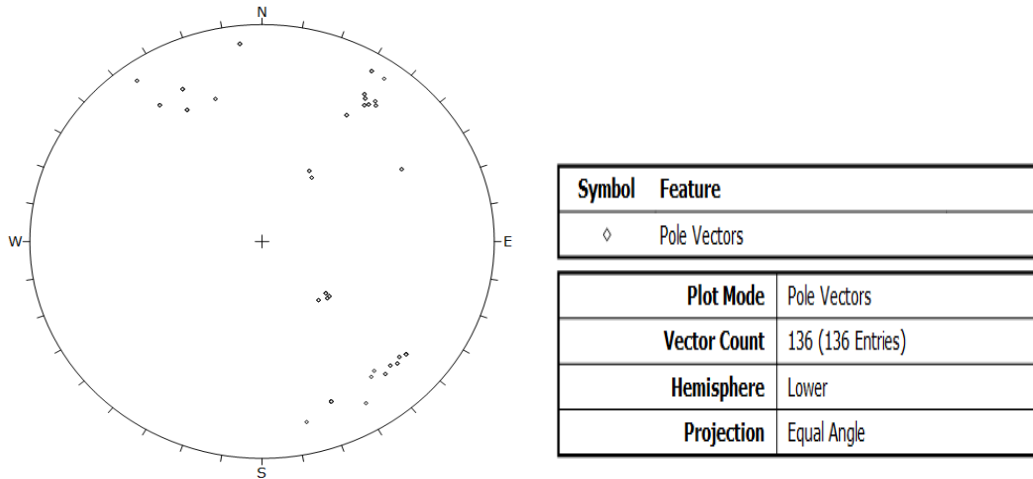
#### 4.1.4. Progresivas Km 26+480 - Km 26+540

El talud presenta rocas areniscas con estratificaciones verticales con intercalaciones de estratos, constituyendo la parte superior del talud por un depósito aluvial, deslizándose forma progresiva de la corona del talud, englobado en una matriz areno limosa de grano fino a grueso. La geomorfología lo constituye un talud de altura 65 m., Su geodinámica está conformado por deslizamientos de la de la corona del talud, siendo la lluvia uno de los principales desencadenantes de deslizamientos y derrumbes de rocas en forma constante, arrastrando consigo depósitos cuaternarios



**FIGURA N° 48:** Afloramiento del macizo rocoso se aprecia una roca sedimentaria de arenisca cuarzosa, en la Progresiva Km 26+480- Km 26+540.

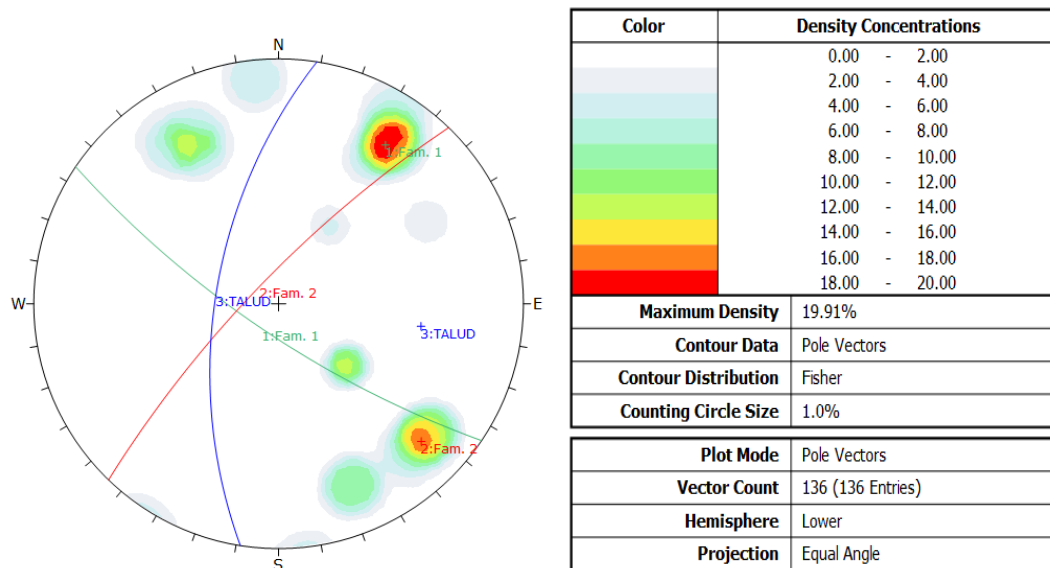
Fuente: Elaboración propia.



**FIGURA N° 49:** Representación de la distribución de polos en la red estereográfica el talud de la Prog. Km. 26+480 Km. 26+540.

Fuente: Elaboración propia.

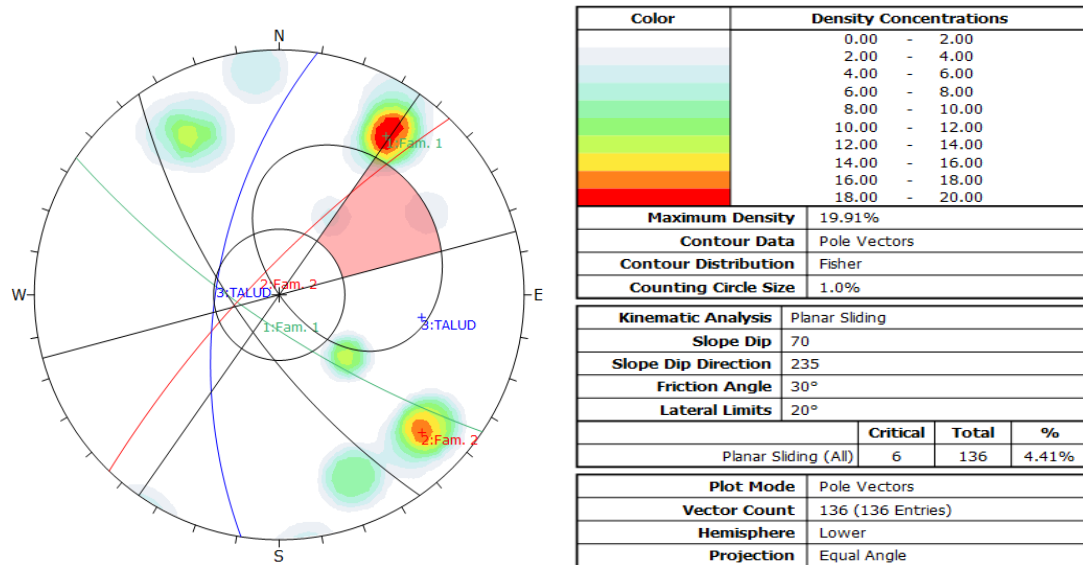
Polos de datos cada polo se representa en una parte del plano los datos de orientación que aparecen en las en la representación de la distribución de polos en la red estereográfica con 136 puntos con el programa de dips



**FIGURA N° 50:** Diagrama de planos de distribución representado y agrupados en familias a partir de polos del talud de la Prog. Km. 26+480 al Km. 26+540.

Fuente: Elaboración propia.

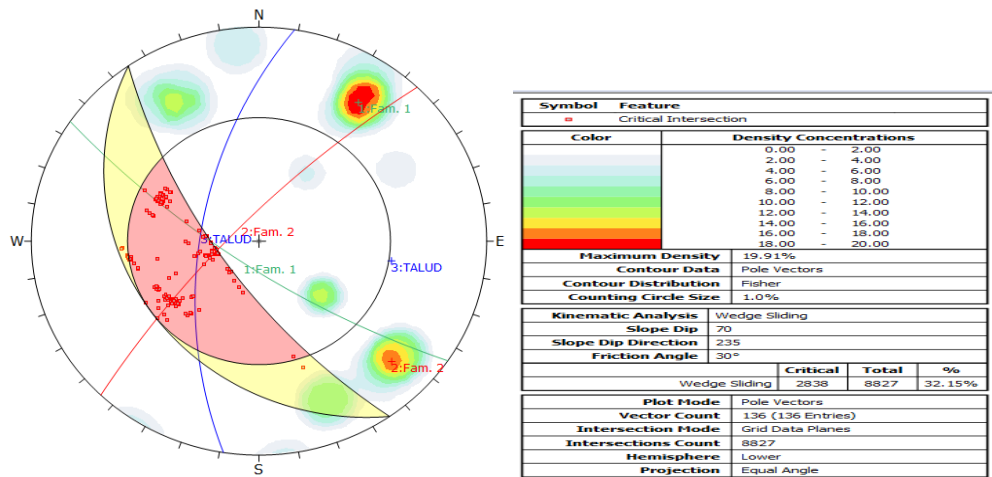
Estas orientaciones definen las familias de discontinuidades y se emplearan para llevar a cabo el análisis de estabilidad, pues considerando de 136 datos de diaclasados con su contorno de 2 familias predominantes.



**FIGURA N° 51:** Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla de cuña con límite lateral de 20° de la Prog. Km. 26+480 al Km. 26+160.

Fuente: Elaboración propia.

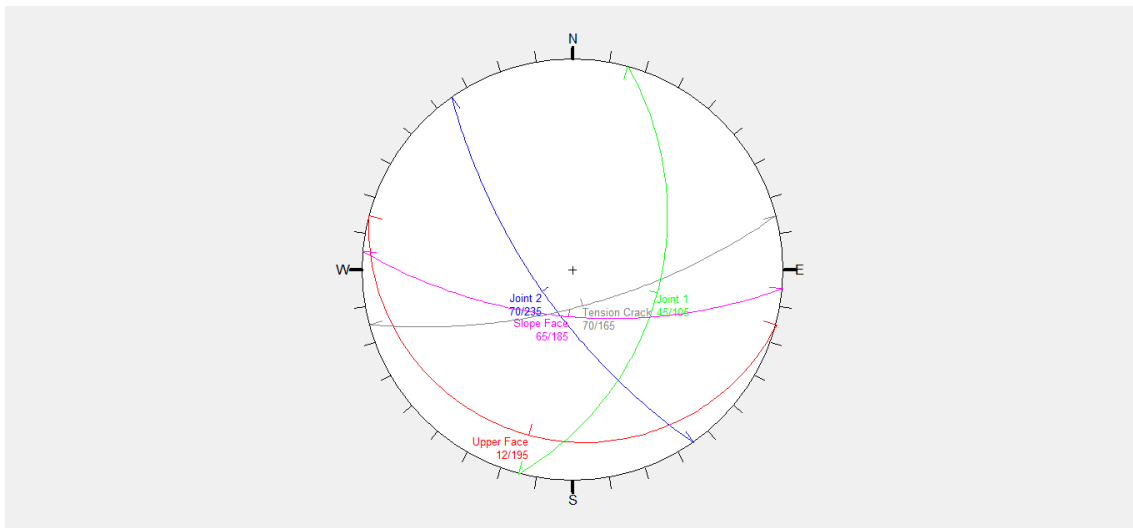
La línea de intersección formados por los planos de familia 1, 2, se encuentra dentro del área del círculo de fricción, lo cual se puede interpretar que cinematicamente que puede haber un deslizamiento, la parte sombreada no se encuentra en un potencial de deslizamiento. Mediante los estereogramas fue posible determinar que existen 2 familias de los sistemas de discontinuidades dominantes que forman una falla de cuña con potencia de caer de acuerdo al cono de fricción.



**FIGURA N° 52:** Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla por cuña para un ángulo básico de 35° en talud de la Prog. Km. 26+480 al Km. 26+540.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis cinemático de la fig. 54 la línea de intersección de los 1, 2, Se encuentran dentro del área sombreada región que se considera como crítica por la potencialidad del deslizamiento de la cuña formada por los planos, la línea proyectada desde el punto de intersección que cruza por el centro de la red.



**FIGURA N° 53:** Determinando el factor de seguridad 1.189 con el programa Swedge. que nos indica que es estable de la Progresiva Km 26+480- Km 26+540.

Fuente: Elaboración propia.

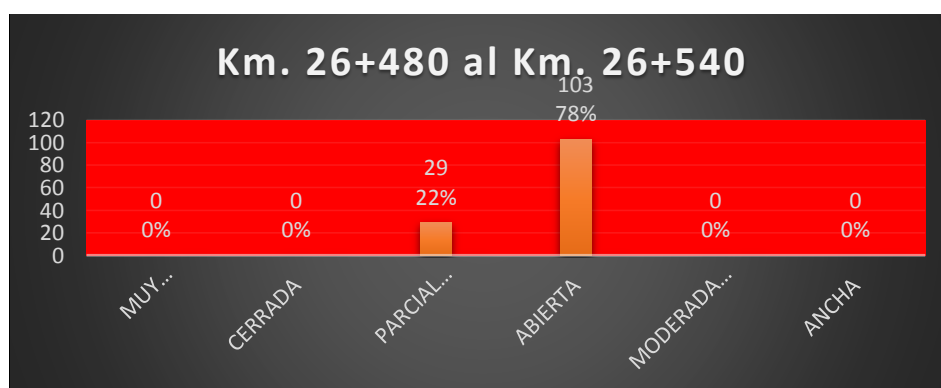
Todas estas características nos permitieron realizar un análisis de estabilidad de taludes para un tipo específico de rotura en roca en una superficie de deslizamiento en forma de cuña, luego de ingresar los datos de talud en análisis la susceptibilidad de desprendimiento de roca en donde se desprendimiento de roca. En donde se determinó que el factor de seguridad da con el programa swedge es satisfactorio. Siendo mayor 1. al ser un valor de 1.189 lo que representa una estabilidad moderada.

**CARACTERIZACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES:**

**TABLA N° 23:** Resumen del talud Km.26+480 al Km. 26+540 Se reconoció tres familias cuyas características son las siguientes:

Estratificación	Orientación D/DD	Prom. Espaciado	Prom. continuidad	Rogosidad	Resistencia MPa	Prom. Abertura	Relleno	Filtración
Discontinuidad-1	13/36	40cm	21m.	Ligeramente Rugosa	25-50	0.4mm	oxido	Lig. húmedo
Discontinuidad-2	11/133	25cm	30 cm.	Ligeramente Rugosa	25-50	0.1mm	oxido	Lig. húmedo
Talud	44/111							

Fuente: Elaboración propia.

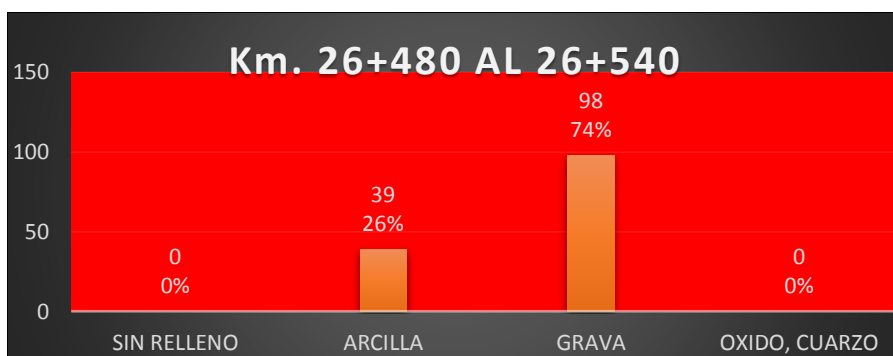


**FIGURA N° 54:** Histograma de abertura Km.26+480 al km. 26+540.

Fuente: Elaboración propia.

Nos presenta un histograma con los valores de persistencia de todas las discontinuidades caracterizando en las fichas geomecánica del anexo “A”

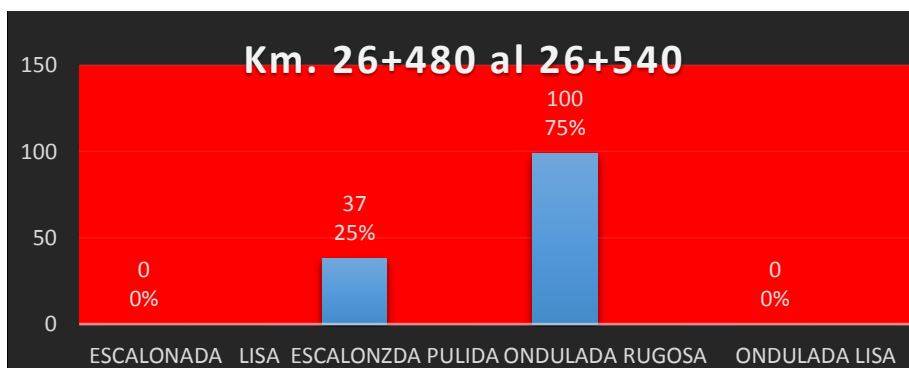
correspondiente a la formación Muñani en el cual la frecuencia de apertura de diferentes intervalos dado en las estructuras



**FIGURA N° 55:** Histograma de relleno Km.26+480 al km. 26+540.

Fuente: Elaboración propia.

Son categorizado en dura y blada, según su dimencion estos pueden ser mayores a 5 milímetros o menos a 5 milímetros o simplemente sin relleno en la figura xx nos muestra una prevalencia de relleno blada menores a 5 milimetro



**FIGURA N° 56:** Histograma de rugosidad Km.26+480 al km. 26+540.

Fuente: Elaboración propia.

Se presenta un histograma en la figura xx con los valores de rogosidad de todas las discontinuidades caracterizados en la ficha geométrica del anexo “A”



**TALUD: KM 26+480 AL 26+540**

**TABLA N° 24:** Índice de designación de la calidad de la roca RQD:

RQD = 83

**Clasificación de Bieniawski RMR:**

**a) Parámetros de clasificación y sus valores**

Parámetr		Escalas de							
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Índice de carga puntual	≥ 10	10 – 4	4 – 2	2 – 1	Resistencia baja		
		Compresión simple (MPa)	≥ 250	250 – 100	100 – 5	50 – 25	25 - 5	5 - 1	≤ 1
	Valoración		15	12	7	4	2	1	0
2	Índice de calidad de roca - RQD (%)	100 – 90	90 – 75	75 – 50	50 – 25	25 – 0			
	Valoración		20	17	13	8	3		
3	Espaciamientos de juntas (m)	≥ 3	3 – 0.60	0.60 – 0.20	0.20 – 0.060	≤ 0.060			
	Valoración		25	20	12	8	5		
4	Condiciones de las discontinuidades	Longitud de continuidad (m)	≤ 1	1 – 3	3 - 10	10 – 20	≥ 20		
		Valoración	6	5	2	1	0		
		Abertura (mm)	Sin abertura	≤ 0.10	0.10 – 1.00	1.00 – 5.00	≥ 5.00		
		Valoración	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente	Ondulada	Suave		
		Valoración	6	5	3	1	0		
		Relleno (mm)	Ninguno	Relleno duro	Relleno duro	Relleno blando	Relleno blando		
		Valoración	6	5	2	2	0		
Alteración	Inalterada	Ligerament	Moderadament	Muy alterada	Descompuesta				
Valoración	6	5	3	1	0				
Valoración total		15	5	8	2				
5	Condiciones hidrogeológicas	Estado general	Totalmente seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Ligera presión de agua	Serios problemas de agua		
		Valoración		15	10	7	4	0	

RMR básico = 50

**b) Ajuste de valores por las orientaciones de las juntas**

Dirección y buzamiento de las fisuras		Muy favorables	Favorables	Regular	desfavorables	Muy desfavorables
Valores	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

RMR = 50

**c) Determinación de la clase y grado de estabilidad del macizo rocoso**

Grado de estabilidad	E0	E1	E2	E3
Valoración total de MRM	100 – 81	80 – 61	60 – 41	40 – 21
Clasificación y/o clase	I	II	III	IV
Calidad y/o descripción	Muy buena	Buena	Regular	Mala
Descripción del grado de estabilidad	T. Estable	Normalmente estable		Inestable
				Muy mala
				Crítico

Clase = III

GSI = 58

Descripción = Regular

Grado = Normalmente estable F.S.:1.189

## **4.2. RESULTADO DE LA INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS**

### **4.2.1. Información**

Los resultados de la investigación han determinado factores de seguridad en los taludes ya sea en: suelos y rocas ubicadas en las progresivas de la carretera Muñani Saytocochoa. Así mismo he terminado medidas de estabilización de acuerdo a las condiciones: a sus propiedades físico mecánicas, hidrológicas que permitan tener el conocimiento completo del comportamiento del talud.

### **4.2.2. Procesamiento de la información**

Para la interpretación de la información de los taludes se han elaborado Modelamiento en suelos y en cambio en rocas se determinó el tipo de rotura que ocasiona en las progresivas de la carretera - Muñani Saytocochoa, analizando así su composición litología del talud en 1 sus propiedades en suelos: tensiones totales; determinando así sus factores de seguridad en función de las condiciones ya estipuladas.

### **4.2.3. Clasificación geotécnica de los taludes**

A partir de los análisis se obtuvo los parámetros geotécnicos descritos anteriormente, clasificando estos taludes en: suelos y rocas. Zonificando factores de seguridad en función del tipo de litología. Para esta clasificación se tuvo en cuenta Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), Rock Mass Rating (RMR), Geological Strength Index (GSI).

#### 4.2.3.1. Progresivas Km 16+100- Km 16+200

Compuesta por depósitos cuaternarios: **Aluvial**, según el Sistema Unificado de Clasificación 'de Suelos SUCS GC- Grava mal graduada, Grava arcillosa, está compuesta por: Arena: 41%, Limo: 69.18%, Arcilla: 12.78 %; englobando una matriz arenosa de grano fino a medio, con porcentaje de finos. Representando un suelo heterogéneo.

#### 4.2.3.2. Progresivas Km 17+010- Km 17+080

Arenisca moderadamente meteorizada; presentando 3 familias de discontinuidades, RQD: 87%. Asignando un RMR: 54 (Regular). Determinándose por sus familias una rotura de cuña.con un factor de seguridad 1.233 y GSI: 52.

#### 4.2.3.3. Progresivas Km 20+080- Km 20+160

Arenisca ligeramente meteorizada; presentando 2 familias de discontinuidades, RQD: 81%. Asignando un RMR: 52 (Regular). Determinándose por sus familias una rotura en cuña. Con un factor de seguridad 1.181Y GSI:54.

#### 4.2.3.4. Progresivas Km 26+480- Km 26+540

Arenisca medianamente meteorizada; presentando 2 familias de discontinuidades, RQD: 83%. Asignando un RMR: 50 (Regular). Determinándose por sus familias una rotura cuna. Con factor de seguridad 1.189 Y GSI:58.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES

**PRIMERA:** Las características físico mecánicas presentes en los taludes de carretera Muñani Saytocochoa están condicionadas a las características geológicas, estructurales y de macizo rocoso. Con alteración, meteorizadas, Estas características fueron identificadas en el campo. Debido a que todos los taludes se encuentran rocas fracturadas moderadamente competente y con un grado de fracturamiento regular, Para finalizar con el análisis de estabilidad por el método de equilibrio límite para concluir en modo de falla por cuña.

**SEGUNDA:** Las características más relevantes presentes en los taludes de la carretera Muñani Saytocochoa que presentan aguas superficiales en temporadas de lluvia por ende destabilizando los taludes de los tramos del área de estudio.

**TERCERA:** Para determinar el análisis de estabilidad de taludes por el método de equilibrio límite para concluir que los taludes resultando en modo de falla por cuña.

## CAPÍTULO IV

### RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** Se recomienda hacer un análisis dinámico de rocas y suelos en caso de producirse un sismo.

**SEGUNDA:** Se sugiere realizar un estudio y evaluación lo taludes en condiciones saturada en agua.

**TERCERA:** Teniendo valores generalizados de las características geotécnicas del talud se recomienda realizar análisis de estabilidad haciendo uso de métodos numéricos en diferentes secciones longitudinales los cuales nos darán una mejor referencia de la estabilidad global de los taludes.

## CAPÍTULO VII

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azuarte, D. (2004). *Grado de título: Caracterización Geológica y Geomecánica de los Macizos Rocosos de la Sección Guatire- Caucagua de la Autopista Rómulo Betancourt, Estado Miranda*. Venezuela: Escuela de Geología, Minas y Geofísica - Universidad Central de Venezuela.
- Barletta, I. (2008). *Representación Gráfica y Evaluación de Problemas*
- bieniawski, z. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications*. Canada: Jhon Wiley & Sons.
- Cabrera, J. (2005). *Tesis: Estudio de la Estabilidad de Taludes del Tajo Sur y Suro Norte Mina Virgen*. Puno: Facultad de Ingeniería de Minas – Universidad Nacional del Altiplano Puno.
- Call, R. D. (1999). *Monitoring Pit Slope Behavior - Sme Mine Engineering Handbook*. New York: AIME.

- Carnero, G. G. (2011). *Tesis: Estudio Geotécnico para la Estabilidad de Taludes en la Carretera: Patahuasi - Yauri - Sicuani Tramo: El Descanso - Langui*. Puno: Facultad de Ingeniería Geológica y Metalúrgica – Universidad Nacional del Altiplano Puno.
- Coates, D. F. (1973). *Fundamentos de Mecánica de Rocas*. Madrid: Blume.
- Dawson, E., & Roth, W. (1999). *Slope Stability Analysis With Flac - Flac and Numerical Modelling in*. Balkema: Rotterdam.
- Dinis, C. (1999). *Métodos Computacionais De Projeció De Taludes Em Mineracao*. Puno: Universidad Nacional del Altipano.
- Garcia, J. C. (2005). *Tesis: Análisis De Estabilidad de Taludes en Macizos Rocosos Aplicando el Método de Elementos Distintos*. Puno: Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura - Universidad Nacional del Altiplano Puno.
- Giani, G. P. (1992). *Rock Slope Stability Analysis*. Usa & Canada: A. A. Balkema Publishers, Olds Post, Rotterdam.
- González, L. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educación.
- Goodman, R. (1989). *Introduction To Rock Mechanics, 2nd edition*. California: Jhon Wiley & Sons.
- Hudson, J. A. (1989). *Rock Mechanics Principles In Engineering Practice*. Ground Engineering Report: Underground Construction: Butterworths.
- Hudson, J. A., & Harrison, J. P. (1997). *Engineering Rock Mechanics an Introduction to the Principles*. London: Pergamon.

Ingeniería Geotécnica. (2003). *Guías Geotecnicas para una Transición Desde Rajo Abierto a Minería Subterránea - Caracterización Geotécnica*. La Serena - Chile: Primer Taller Geotécnico Interdivisional organizado por División Chuquicamata de Codelco.

Instituto Geológico y Minero de España. (2006). *Manual de Ingeniería Taludes 2da Reimpresión*. Madrid: IGME.

Marinos, P., & Hoek, E. (2000). *GSI – A geologically friendly tool for rock mass strength estimation*. Melbourne: Technomic Publishing Co.

Ramirez Oyanguren, P., & Alejano Monge, L. (2007). *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Reglamento Nacional de Edificaciones. (2012). *CE.020 Estabilización de Suelos y Taludes*. Lima - Perú: Macro.

Singh, B., & Goel, R. (1999). *Rock Mass Classification A Practical Approach In Civil Engineering*. New York: Elsevier.

Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía. (2004). *Manual de Geomecánica Aplicada a la Prevención de Accidentes por Caídas De Rocas en Minería Subterránea*. Lima: SNMPE.

## WEBGRAFIA

- <https://infogeologia.wordpress.com/2016/04/24/estabilidad-o-talud/>
- <http://www.geociencias.unam.mx/~rmolina/documents/estabilidad.pdf>
- <http://geologiavenezolana.blogspot.pe/2012/10/-sedimentario.html>



# ANEXOS

# **ANEXO “A”**

## **MAPEO LINEAL**







































# **ANEXO “B”**

## **ENSAYOS DE LABORATORIO**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
Calle Paucarpata s/n • Teléfono 283143 • Arequipa - Peru



ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO  
ASTM D2435-90 AASTHO T 216

NORMA : ASTM D 2435-90 AASTHO T 216  
PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera Azángaro - Saytococho - Sándia - San Juan del Oro.  
UBICACION : Tramo II Muñani - Saytococho, Sector (Km. 14+700 a/ Km. 30+000)  
DESCRIPCION : MUESTRA DE SUELOS DE FUNDACION M-1 Progresiva 16+140 Km.  
MUESTRA : 001  
EJECUTORES : Personal de Laboratorio  
LABORATORIO : UNSA LAB. MECANICA DE SUELOS  
FECHA : Enero del 2014

SONDAJE : MUESTRA DE SUELOS DE FUNDACION M-1 Progresiva 16+140 Km.  
MUESTRA : C-1 M-1 (PRIMER ESPECIMEN)  
TIPO : MUESTREO CON TUBO DE PARED DELGADA  
PROFUNDIDAD : LADO IZQUIERDO DEL TALLID  
ESTADO : INALTERADO  
ESTADO : INALTERADO

DATOS INICIALES PARA EL ENSAYO					
PERIMETROS (cm)	AREAS (cm <sup>2</sup> )		DENSIDAD		HUMEDAD
Superior	22.70	Superior	41.01	Altura	14.00 cm
Medio	23.20	Medio	42.83	Peso	1040.00 gr
Inferior	23.30	Inferior	43.20	Volumen	594.58 cm <sup>3</sup>
				P+tarro	17.90 gr
				Pm+tarro	36.70 gr
				Ps+tarro	35.20 gr

RESUMEN	
Ao =	42.47 cm <sup>2</sup>
Lo =	14.00 cm
Vc =	0.1102 cm <sup>3</sup> /min
γ =	1.75 gr/cm <sup>3</sup>
w =	8.67 %

CORRECCION DEL ANILLO : 0.3083 x DIAL + 1.6062  
ESF. DE CONFINAMIENTO : 10.00 psi = 0.7031 kg/cm<sup>2</sup>

DIAL DEF.	DEFORM (mm)	DEF. AXIAL %Lo (10E2)	AREA A' (cm <sup>2</sup> )	DIAL DE CARGA	P (kg)	ESF. DESV. (kg/cm <sup>2</sup> )
0.00	0.00	0.00	42.47	0.00	1.61	0.04
25.00	0.25	0.18	42.48	22.00	8.39	0.20
50.00	0.50	0.36	42.49	35.00	12.40	0.29
75.00	0.75	0.54	42.49	45.00	15.48	0.36
100.00	1.00	0.71	42.50	55.00	18.56	0.44
125.00	1.25	0.89	42.51	65.00	21.65	0.51
150.00	1.50	1.07	42.52	75.00	24.73	0.58
175.00	1.75	1.25	42.52	84.00	27.50	0.65
200.00	2.00	1.43	42.53	92.00	29.97	0.70
225.00	2.25	1.61	42.54	102.00	33.05	0.78
250.00	2.50	1.79	42.55	112.00	36.14	0.85
275.00	2.75	1.96	42.55	116.00	37.37	0.88
300.00	3.00	2.14	42.56	122.00	39.22	0.92
325.00	3.25	2.32	42.57	128.00	41.07	0.96
350.00	3.50	2.50	42.58	134.00	42.92	1.01
375.00	3.75	2.68	42.58	139.00	44.46	1.04
400.00	4.00	2.86	42.59	145.00	45.52	1.09
425.00	4.25	3.04	42.60	150.00	47.85	1.12
450.00	4.50	3.21	42.61	155.00	49.39	1.16
475.00	4.75	3.39	42.61	160.00	50.93	1.20
500.00	5.00	3.57	42.62	164.00	52.17	1.22
525.00	5.25	3.75	42.63	168.00	53.40	1.25
550.00	5.50	3.93	42.64	172.00	54.63	1.28
575.00	5.75	4.11	42.65	176.00	55.87	1.31
600.00	6.00	4.29	42.65	179.00	56.79	1.33
625.00	6.25	4.46	42.66	183.00	58.03	1.36
650.00	6.50	4.64	42.67	186.00	58.95	1.38
675.00	6.75	4.82	42.68	188.00	59.57	1.40
700.00	7.00	5.00	42.68	191.00	60.49	1.42
725.00	7.25	5.18	42.69	194.00	61.42	1.44
750.00	7.50	5.36	42.70	197.00	62.34	1.46
775.00	7.75	5.54	42.71	201.00	63.57	1.49
800.00	8.00	5.71	42.71	203.00	64.19	1.50
825.00	8.25	5.89	42.72	205.00	64.81	1.52
850.00	8.50	6.07	42.73	207.00	65.42	1.53
875.00	8.75	6.25	42.74	209.00	66.04	1.55
900.00	9.00	6.43	42.74	212.00	66.97	1.57
925.00	9.25	6.61	42.75	214.00	67.58	1.58
950.00	9.50	6.79	42.75	216.00	68.20	1.59
975.00	9.75	6.96	42.77	218.00	68.82	1.61
1000.00	10.00	7.14	42.78	220.00	69.43	1.62
1025.00	10.25	7.32	42.78	222.00	70.05	1.64
1050.00	10.50	7.50	42.79	224.00	70.67	1.65
1075.00	10.75	7.68	42.80	228.00	71.90	1.68
1100.00	11.00	7.86	42.81	229.00	72.21	1.69
1125.00	11.25	8.04	42.81	230.00	72.52	1.69
1150.00	11.50	8.21	42.82	231.00	72.82	1.70
1175.00	11.75	8.39	42.83	232.00	73.13	1.71
1200.00	12.00	8.57	42.84	234.00	73.75	1.72
1225.00	12.25	8.75	42.84	236.00	74.37	1.74
1250.00	12.50	8.93	42.85	236.00	74.99	1.75
1275.00	12.75	9.11	42.86	238.00	75.14	1.75
1300.00	13.00	9.29	42.87	241.00	75.91	1.77
1325.00	13.25	9.46	42.88	242.00	76.37	1.78
1350.00	13.50	9.64	42.88	243.00	76.52	1.78
1375.00	13.75	9.82	42.89	244.00	76.83	1.79
1400.00	14.00	10.00	42.90	245.00	77.29	1.80
1425.00	14.25	10.18	42.91	247.00	77.76	1.81
1450.00	14.50	10.36	42.91	247.00	77.91	1.82
1475.00	14.75	10.54	42.91	249.00	78.37	1.83
1500.00	15.00	10.71	42.91	250.00	78.68	1.84
1525.00	15.25	10.89	42.91	250.00	78.84	1.84
1550.00	15.50	11.07	42.91	250.00	78.84	1.84

Laboratorio de Mecánica de Suelos  
INGENIERIA CIVIL UNSA  
ING. JEAN PAUL PAREDES CUEVA  
INGENIERO CIVIL  
CIP: 94656

Laboratorio de Mecánica de Suelos  
INGENIERIA CIVIL UNSA  
Ing. Javier Vera...  
INGENIERO CIVIL  
CIP: 94656





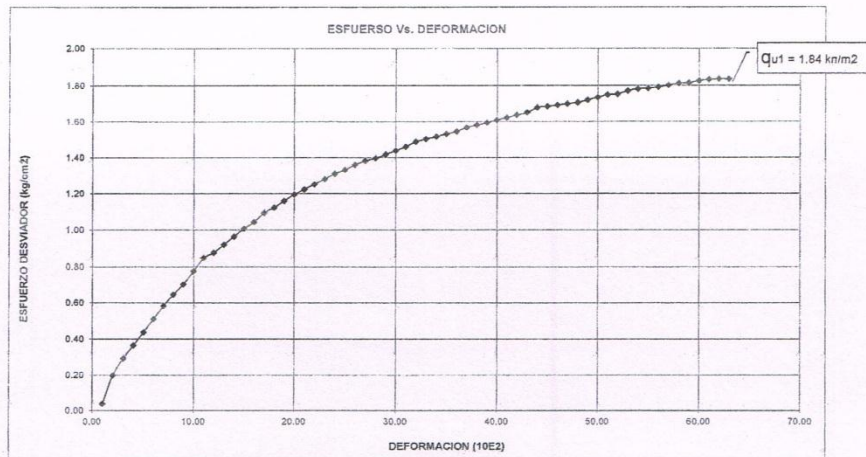
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
 Calle Paucarpata s/n • Teléfono 283143 • Arequipa - Peru



**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO  
 ASTM D2435 AASTHO T 216  
 GRAFICO ESFUERZO DESVIADOR Vs. DEFORMACION**

NORMA	: ASTM D 2435-90 AASTHO T 216	MUESTRA	: 001
PROYECTO	: Mejoramiento de la Carretera Azángaro - Saytococha - Sándia - San Juan del Oro.	EJECUTORES	: Personal de Laboratorio
UBICACIÓN	: Tramo II Muñani - Saytococha, Sector (Km. 14+700 al Km. 30+000)	LABORATORIO	: UNSA LAB. MECANICA DE SUELOS
DESCRIPCIÓN	: MUESTRA DE SUELOS DE FUNDACION M-1 Progresiva 16+140 Km.	FECHA	: Enero del 2,014

BONDAJE	: MUESTRA DE SUELOS DE FUNDACION M-1 Progresiva 16+140 Km.	PROFUNDIDAD	: LADO IZQUIERDO DEL TALUD
MUESTRA	: M1 (PRIMER ESPECIMEN)	ESTADO	: INALTERADO
TIPO	: MUESTREO CON TUBO DE PARED DELGADA		



OBSERVACIONES

$\sigma_1$  = 1.84 kg/cm<sup>2</sup>  
 $\sigma_3$  = 0.70 kg/cm<sup>2</sup>

Laboratorio de Mecánica de Suelos  
 INGENIERÍA CIVIL UNSA

ING. JEAN PAUL FAREDES CUEVA  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 94666

Laboratorio de Mecánica de Suelos  
 INGENIERÍA CIVIL UNSA

Ing. Jean Paul Faredes Cueva  
 Calle Aranda  
 CIP. 94666  
 JEFL DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
Calle Prucarpata s/n • Teléfono 283143 • Arequipa - Perú



**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO  
ASTM D2435-90 AASTHO T 216**

NORMA : ASTM D 2435-90 AASTHO T 216  
PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera Azángaro - Saytochocha - Sándia - San Juan del Oro.  
UBICACIÓN : Tramo II Muñan - Saytochocha, Sector (Km. 14-700 al Km. 30-000)  
DESCRIPCIÓN : MUESTRA DE SUELOS DE FUNDACION M-1 Progresiva 16+140 Km.  
MUESTRA : 002  
EJECUTORES : Personal de Laboratorio  
LABORATORIO : UNSA LAB. MECANICA DE SUELOS  
FECHA : Enero del 2014

SONDAJE : MUESTRA DE SUELOS DE FUNDACION M-1 Progresiva 16+140 Km. PROFUNDIDAD : LADO IZQUIERDO DEL TALUD  
MUESTRA : M2 (SEGUNDO ESPECIMEN) ESTADO : INALTERADO  
TIPO : MUESTREO CON TUBO DE PARED DELGADA

DATOS INICIALES PARA EL ENSAYO					
PERIMETROS (cm)		AREAS (cm <sup>2</sup> )		DENSIDAD	HUMEDAD
Superior	23.00	Superior	42.10	Altura	14.50 cm
Medio	22.50	Medio	40.29	Peso	1049.80 gr
Inferior	22.50	Inferior	40.29	Volumen	590.73 cm <sup>3</sup>
				Ptarro	18.30 gr
				Pm+tarro	54.60 gr
				Ps+tarro	52.10 gr

RESUMEN	
Ac =	40.74 cm <sup>2</sup>
Lo =	14.50 cm
Vc =	0.1142 cm <sup>3</sup> /min
γ =	1.78 g/cm <sup>3</sup>
w =	7.40 %

CORRECCION DEL ANILLO : 0.3083 x DIAL + 1.6062  
ESF. DE CONFINAMIENTO : 20.00 psi = 1.4061 kg/cm<sup>2</sup>

DIAL DEF.	DEFORM (mm)	DEF. AXIAL %Lo (10E2)	AREA A' (cm <sup>2</sup> )	DIAL DE CARGA	P (kg)	ESF. DESV. (kg/cm <sup>2</sup> )
0.00	0.00	0.00	40.74	0.00	1.61	0.04
25.00	0.25	0.17	40.75	35.00	12.40	0.30
50.00	0.50	0.34	40.75	65.90	31.17	0.78
75.00	0.75	0.52	40.76	135.10	43.26	1.06
100.00	1.00	0.89	40.77	226.10	71.31	1.75
125.00	1.25	0.86	40.78	321.30	100.66	2.47
150.00	1.50	1.03	40.78	408.10	127.42	3.12
175.00	1.75	1.21	40.79	483.00	150.52	3.69
200.00	2.00	1.38	40.80	551.60	171.66	4.21
225.00	2.25	1.55	40.80	630.00	195.84	4.80
250.00	2.50	1.72	40.81	705.60	219.14	5.37
275.00	2.75	1.90	40.82	768.80	235.54	5.77
300.00	3.00	2.07	40.82	793.60	246.33	6.03
325.00	3.25	2.24	40.83	841.40	261.01	6.39
350.00	3.50	2.41	40.84	883.40	273.96	6.71
375.00	3.75	2.59	40.85	928.90	287.99	7.05
400.00	4.00	2.76	40.85	971.60	301.15	7.37
425.00	4.25	2.93	40.86	1003.60	311.08	7.61
450.00	4.50	3.10	40.87	1042.30	322.96	7.90
475.00	4.75	3.28	40.87	1073.80	332.66	8.14
500.00	5.00	3.45	40.88	1103.20	341.72	8.36
525.00	5.25	3.62	40.89	1129.80	349.92	8.56
550.00	5.50	3.79	40.90	1155.00	357.69	8.75
575.00	5.75	3.97	40.90	1178.60	365.03	8.92
600.00	6.00	4.14	40.91	1200.50	371.72	9.09
625.00	6.25	4.31	40.92	1224.30	379.06	9.26
650.00	6.50	4.48	40.92	1241.80	384.45	9.39
675.00	6.75	4.66	40.93	1248.80	386.61	9.45
700.00	7.00	4.83	40.94	1255.10	388.55	9.49
725.00	7.25	5.00	40.94	1269.80	393.09	9.60
750.00	7.50	5.17	40.95	1287.30	398.48	9.73
775.00	7.75	5.34	40.96	1304.10	403.66	9.86
800.00	8.00	5.52	40.97	1315.30	407.11	9.94
825.00	8.25	5.69	40.97	1326.50	410.57	10.02
850.00	8.50	5.86	40.98	1340.50	414.88	10.12
875.00	8.75	6.03	40.99	1361.50	421.36	10.28
900.00	9.00	6.21	40.99	1379.20	425.89	10.39
925.00	9.25	6.38	41.00	1391.60	430.64	10.50
950.00	9.50	6.55	41.01	1405.60	434.95	10.61
975.00	9.75	6.72	41.02	1425.90	441.21	10.76
1000.00	10.00	6.90	41.02	1435.00	444.02	10.82
1025.00	10.25	7.07	41.03	1449.00	448.33	10.93
1050.00	10.50	7.24	41.04	1459.80	451.35	11.00
1075.00	10.75	7.41	41.04	1472.80	455.67	11.10
1100.00	11.00	7.59	41.05	1477.70	457.18	11.14

Laboratorio de Mecánica de Suelos  
INGENIERÍA CIVIL - UNSA

ING. JEAN PAUL PAREDES CUEVA  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 94656

Laboratorio de Mecánica de Suelos  
INGENIERÍA CIVIL - UNSA

Ing. César Augusto Calle Aranda  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 9920  
JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
 Calle Paucarpata s/n • Teléfono 283143 • Arequipa - Perú



**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO  
 ASTM D2435-90 AASTHO T 216**

DETERMINACION DE LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE NO DRENADO (S) Y EL ANGULO DE FRICCIÓN EFECTIVO (φ)

MUESTRA: 001  
 LABORATORIO: Laboratorio de Mecánica de Suelos  
 FECHA: Enero del 2014

NORMA: ASTM D2435-90 AASTHO T 216  
 PROYECTO: Mejoramiento de la Carretera a Achacachi - Socabaya - San Juan de Molle - Socabaya, Sector (Km. 14+700 a Km. 30+000)  
 DESCRIPCIÓN: MUESTRA DE SUELOS DE FUNDACION M-1 Progresiva 16+140 Km.

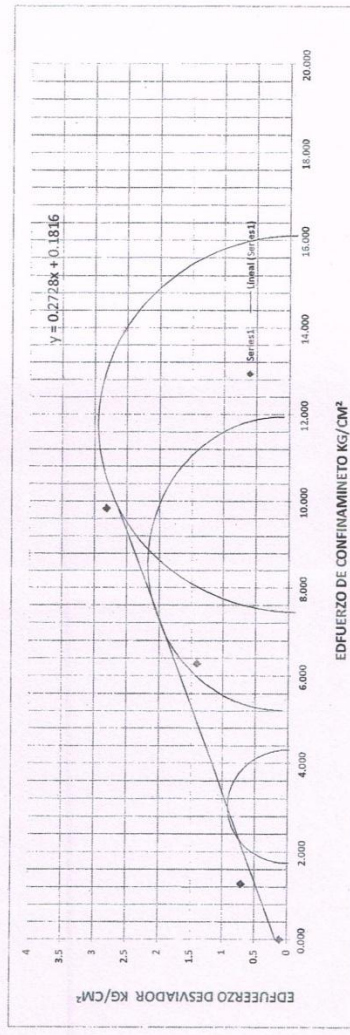
BONDAD DE MUESTRA: M-1  
 TIPO: MUESTRO CON TUBO DE PARED DELGADA

PROFUNDIDAD: LADO IZQUIERDO DEL TALUD  
 ESTADO: INALTERADO

DATOS PARA EL CIRCULO DE MOHR

ESFUERZO DESVIADOR	ESF. DE CONFINAM.	φ	=	38°
σ <sub>1</sub> :	0.70 kg/cm <sup>2</sup>	C	=	200.9 kg/cm <sup>2</sup>
σ <sub>2</sub> :	11.14 kg/cm <sup>2</sup>			
σ <sub>3</sub> :	16.96 kg/cm <sup>2</sup>			

MUESTRA	ESFUERZO DESVIADOR
M1	1.04 kg/cm <sup>2</sup>
M2	11.14 kg/cm <sup>2</sup>
M3	16.96 kg/cm <sup>2</sup>



OBSERVACIONES

Laboratorio de Mecánica de Suelos  
 INGENIERÍA CIVIL - UNSA  
 ING. JEAN PAUL PAREDES CUEVA  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 94656

Laboratorio de Mecánica de Suelos  
 INGENIERÍA CIVIL - UNSA  
 Ing. Jean Paul Paredes Cueva  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 94656  
 JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
Calle Paucarpata s/n • Teléfono 283143 • Arequipa - Peru



ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO  
ASTM D2435-90 AASTHO T 216

NORMA : ASTM D 2435-90 AASTHO T 216  
PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera Azángaro - Saytococha - Sándia - San Juan del Oro.  
UBICACION : Tramo II Muñani - Saytococha, Sector (Km. 14+700 a/ Km. 30+000)  
DESCRIPCION : MUESTRA DE SUELOS DE FUNDACION M-1 Progresiva 17+060 Km.  
MUESTRA : 001  
EJECUTORES : Personal de Laboratorio  
LABORATORIO : UNSA LAB. MECANICA DE SUELOS  
FECHA : Enero del 2014

SONDAJE : MUESTRA DE SUELOS DE FUNDACION M-1 Progresiva 17+060 Km. PROFUNDIDAD : LADO IZQUIERDO DEL TALLID  
MUESTRA : C-1 M-1 (PRIMER ESPECIMEN) ESTADO : INALTERADO  
TIPO : MUESTREO CON TUBO DE PARED DELGADA ESTADO : INALTERADO

DATOS INICIALES PARA EL ENSAYO					
PERIMETROS (cm)	AREAS (cm <sup>2</sup> )		DENSIDAD		HUMEDAD
Superior 22.70	Superior 41.01	Altura 14.00 cm	Ptarro 17.90 gr		
Medio 23.20	Medio 42.83	Peso 1040.00 gr	Pm+tarro 36.70 gr		
Inferior 23.30	Inferior 43.20	Volumen 594.58 cm <sup>3</sup>	Ps+tarro 35.20 gr		

RESUMEN	
Ao =	42.47 cm <sup>2</sup>
Lo =	14.00 cm
Vc =	0.1102 cm <sup>3</sup> /min
γ =	1.75 gr/cm <sup>3</sup>
w =	8.67 %

CORRECCION DEL ANILLO 0.3083 x DIAL + 1.6062  
ESF. DE CONFINAMIENTO 10.00 psi = 0.7031 kg/cm<sup>2</sup>

DIAL DEF.	DEFORM (mm)	DEF. AXIAL %Lo (10E2)	AREA A' (cm <sup>2</sup> )	DIAL DE CARGA	P (kg)	ESF. DESV. (kg/cm <sup>2</sup> )
0.00	0.00	0.00	42.47	0.00	1.61	0.04
25.00	0.25	0.18	42.48	22.00	8.39	0.20
50.00	0.50	0.36	42.49	35.00	12.40	0.29
75.00	0.75	0.54	42.49	45.00	15.48	0.36
100.00	1.00	0.71	42.50	55.00	18.56	0.44
125.00	1.25	0.89	42.51	65.00	21.65	0.51
150.00	1.50	1.07	42.52	75.00	24.73	0.58
175.00	1.75	1.25	42.52	84.00	27.50	0.65
200.00	2.00	1.43	42.53	92.00	29.97	0.70
225.00	2.25	1.61	42.54	102.00	33.05	0.78
250.00	2.50	1.79	42.55	112.00	36.14	0.85
275.00	2.75	1.96	42.55	116.00	37.37	0.88
300.00	3.00	2.14	42.56	122.00	39.22	0.92
325.00	3.25	2.32	42.57	128.00	41.07	0.96
350.00	3.50	2.50	42.58	134.00	42.92	1.01
375.00	3.75	2.68	42.58	139.00	44.46	1.04
400.00	4.00	2.86	42.59	145.00	45.52	1.09
425.00	4.25	3.04	42.60	150.00	47.85	1.12
450.00	4.50	3.21	42.61	155.00	49.39	1.16
475.00	4.75	3.39	42.61	160.00	50.93	1.20
500.00	5.00	3.57	42.62	164.00	52.17	1.22
525.00	5.25	3.75	42.63	168.00	53.40	1.25
550.00	5.50	3.93	42.64	172.00	54.63	1.28
575.00	5.75	4.11	42.65	176.00	55.87	1.31
600.00	6.00	4.29	42.65	179.00	56.79	1.33
625.00	6.25	4.46	42.66	183.00	58.03	1.36
650.00	6.50	4.64	42.67	186.00	58.95	1.38
675.00	6.75	4.82	42.68	188.00	59.57	1.40
700.00	7.00	5.00	42.68	191.00	60.49	1.42
725.00	7.25	5.18	42.69	194.00	61.42	1.44
750.00	7.50	5.36	42.70	197.00	62.34	1.46
775.00	7.75	5.54	42.71	201.00	63.57	1.49
800.00	8.00	5.71	42.71	203.00	64.19	1.50
825.00	8.25	5.89	42.72	205.00	64.81	1.52
850.00	8.50	6.07	42.73	207.00	65.42	1.53
875.00	8.75	6.25	42.74	209.00	66.04	1.55
900.00	9.00	6.43	42.74	212.00	66.97	1.57
925.00	9.25	6.61	42.75	214.00	67.58	1.58
950.00	9.50	6.79	42.75	216.00	68.20	1.59
975.00	9.75	6.96	42.77	218.00	68.82	1.61
1000.00	10.00	7.14	42.78	220.00	69.43	1.62
1025.00	10.25	7.32	42.78	222.00	70.05	1.64
1050.00	10.50	7.50	42.79	224.00	70.67	1.65
1075.00	10.75	7.68	42.80	228.00	71.90	1.68
1100.00	11.00	7.86	42.81	229.00	72.21	1.69
1125.00	11.25	8.04	42.81	230.00	72.52	1.69
1150.00	11.50	8.21	42.82	231.00	72.82	1.70
1175.00	11.75	8.39	42.83	232.00	73.13	1.71
1200.00	12.00	8.57	42.84	234.00	73.75	1.72
1225.00	12.25	8.75	42.84	236.00	74.37	1.74
1250.00	12.50	8.93	42.85	236.00	74.99	1.75
1275.00	12.75	9.11	42.86	238.00	75.14	1.75
1300.00	13.00	9.29	42.87	241.00	75.91	1.77
1325.00	13.25	9.46	42.88	242.50	76.37	1.78
1350.00	13.50	9.64	42.88	243.00	76.52	1.78
1375.00	13.75	9.82	42.89	244.00	76.83	1.79
1400.00	14.00	10.00	42.90	245.50	77.29	1.80
1425.00	14.25	10.18	42.91	247.00	77.76	1.81
1450.00	14.50	10.36	42.91	247.50	77.91	1.82
1475.00	14.75	10.54	42.92	249.00	78.37	1.83
1500.00	15.00	10.71	42.93	250.00	78.68	1.84
1525.00	15.25	10.89	42.94	250.50	78.84	1.84
1550.00	15.50	11.07	42.95	250.50	78.84	1.84

Laboratorio de Mecánica de Suelos  
INGENIERIA CIVIL UNSA  
ING/ JEAN PAUL PAREDES CUEVA  
INGENIERO CIVIL  
CIP: 94656

Laboratorio de Mecánica de Suelos  
INGENIERIA CIVIL UNSA  
Ing. Javier Vera...  
INGENIERO CIVIL  
CIP: 94656



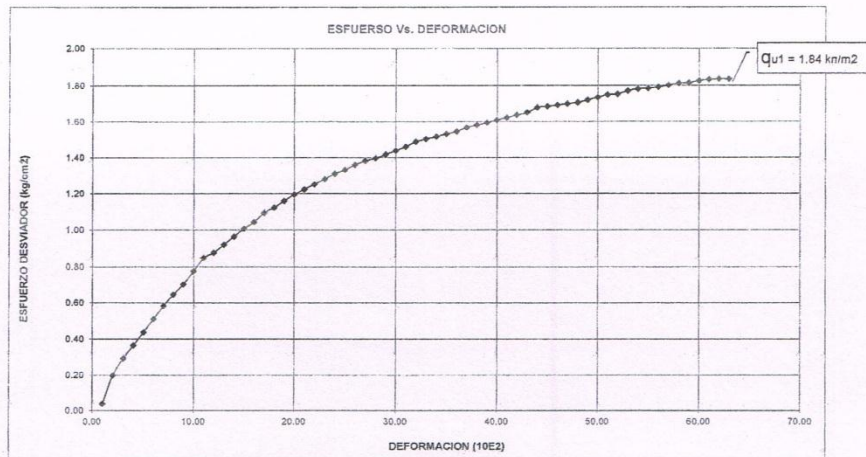
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
 Calle Paucarpata s/n • Teléfono 283143 • Arequipa - Peru



**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO  
 ASTM D2435 AASTHO T 216  
 GRAFICO ESFUERZO DESVIADOR Vs. DEFORMACION**

NORMA	: ASTM D 2435-90 AASTHO T 216	MUESTRA	: 001
PROYECTO	: Mejoramiento de la Carretera Azángaro - Saytococho - Sándia - San Juan del Oro.	EJECUTORES	: Personal de Laboratorio
UBICACIÓN	: Tramo II Muñani - Saytococho, Sector (Km. 14+700 al Km. 30+000)	LABORATORIO	: UNSA LAB. MECANICA DE SUELOS
DESCRIPCIÓN	: MUESTRA DE SUELOS DE FUNDACION M-1 Progresiva 17+060 Km.	FECHA	: Enero del 2,014

BONDAJE	: MUESTRA DE SUELOS DE FUNDACION M-1 Progresiva 17+060 Km.	PROFUNDIDAD	: LADO IZQUIERDO DEL TALUD
MUESTRA	: M1 (PRIMER ESPECIMEN)	ESTADO	: INALTERADO
TIPO	: MUESTREO CON TUBO DE PARED DELGADA		



OBSERVACIONES

$\sigma_1$  = 1.84 kg/cm<sup>2</sup>  
 $\sigma_3$  = 0.70 kg/cm<sup>2</sup>

Laboratorio de Mecánica de Suelos  
 INGENIERÍA CIVIL UNSA

ING. JEAN PAUL FAREDES CUEVA  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 94666

Laboratorio de Mecánica de Suelos  
 INGENIERÍA CIVIL UNSA

Ing. Jean Paul Faredes Cueva  
 Calle Aranda  
 CIP. 94666  
 JEFL DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
Calle Prucarpata s/n • Teléfono 283143 • Arequipa - Perú



**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO  
ASTM D2435-90 AASTHO T 216**

NORMA : ASTM D 2435-90 AASTHO T 216  
PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera Azángaro - Saytococho - Sándia - San Juan del Oro.  
UBICACIÓN : Tramo II Muñan - Saytococho, Sector (Km. 14-700 al Km. 30-000)  
DESCRIPCIÓN : MUESTRA DE SUELOS DE FUNDACION M-1 Progresiva 17+000 Km.  
MUESTRA : 002  
EJECUTORES : Personal de Laboratorio  
LABORATORIO : UNSA LAB. MECANICA DE SUELOS  
FECHA : Enero del 2014

SONDAJE : MUESTRA DE SUELOS DE FUNDACION M-1 Progresiva 17+000 Km. PROFUNDIDAD : LADO IZQUIERDO DEL TALUD  
MUESTRA : M2 (SEGUNDO ESPECIMEN) ESTADO : INALTERADO  
TIPO : MUESTREO CON TUBO DE PARED DELGADA

DATOS INICIALES PARA EL ENSAYO					
PERIMETROS (cm)	AREAS (cm <sup>2</sup> )		DENSIDAD	HUMEDAD	
Superior	23.00	Superior	42.10	Altura	14.50 cm
Medio	22.50	Medio	40.29	Peso	1049.80 gr
Inferior	22.50	Inferior	40.29	Volumen	590.73 cm <sup>3</sup>
				Ptarro	18.30 gr
				Pm+tarro	54.60 gr
				Ps+tarro	52.10 gr

RESUMEN	
Ac =	40.74 cm <sup>2</sup>
Lo =	14.50 cm
Vc =	0.1142 cm <sup>3</sup> /min
γ =	1.78 g/cm <sup>3</sup>
w =	7.40 %

CORRECCION DEL ANILLO : 0.3083 x DIAL + 1.6062  
ESF. DE CONFINAMIENTO : 20.00 psi = 1.4061 kg/cm<sup>2</sup>

DIAL DEF.	DEFORM (mm)	DEF. AXIAL %Lo (10E2)	AREA A' (cm <sup>2</sup> )	DIAL DE CARGA	P (kg)	ESF. DESV. (kg/cm <sup>2</sup> )
0.00	0.00	0.00	40.74	0.00	1.61	0.04
25.00	0.25	0.17	40.75	35.00	12.40	0.30
50.00	0.50	0.34	40.75	65.90	31.17	0.78
75.00	0.75	0.52	40.76	135.10	43.26	1.06
100.00	1.00	0.89	40.77	226.10	71.31	1.75
125.00	1.25	0.86	40.78	321.30	100.66	2.47
150.00	1.50	1.03	40.78	408.10	127.42	3.12
175.00	1.75	1.21	40.79	483.00	150.52	3.69
200.00	2.00	1.38	40.80	551.60	171.66	4.21
225.00	2.25	1.55	40.80	630.00	195.84	4.80
250.00	2.50	1.72	40.81	705.60	219.14	5.37
275.00	2.75	1.90	40.82	768.80	235.54	5.77
300.00	3.00	2.07	40.82	793.60	246.33	6.03
325.00	3.25	2.24	40.83	841.40	261.01	6.39
350.00	3.50	2.41	40.84	883.40	273.96	6.71
375.00	3.75	2.59	40.85	928.90	287.99	7.05
400.00	4.00	2.76	40.85	971.60	301.15	7.37
425.00	4.25	2.93	40.86	1003.60	311.08	7.61
450.00	4.50	3.10	40.87	1042.30	322.96	7.90
475.00	4.75	3.28	40.87	1073.60	332.66	8.14
500.00	5.00	3.45	40.88	1103.20	341.72	8.36
525.00	5.25	3.62	40.89	1129.80	349.92	8.56
550.00	5.50	3.79	40.90	1155.00	357.69	8.75
575.00	5.75	3.97	40.90	1178.60	365.03	8.92
600.00	6.00	4.14	40.91	1200.50	371.72	9.09
625.00	6.25	4.31	40.92	1224.30	379.06	9.26
650.00	6.50	4.48	40.92	1241.80	384.45	9.39
675.00	6.75	4.66	40.93	1248.80	386.61	9.45
700.00	7.00	4.83	40.94	1255.10	388.55	9.49
725.00	7.25	5.00	40.94	1269.80	393.09	9.60
750.00	7.50	5.17	40.95	1287.30	398.48	9.73
775.00	7.75	5.34	40.96	1304.10	403.66	9.86
800.00	8.00	5.52	40.97	1315.30	407.11	9.94
825.00	8.25	5.69	40.97	1326.50	410.57	10.02
850.00	8.50	5.86	40.98	1340.50	414.88	10.12
875.00	8.75	6.03	40.99	1361.50	421.36	10.28
900.00	9.00	6.21	40.99	1379.20	425.89	10.39
925.00	9.25	6.38	41.00	1391.60	430.64	10.50
950.00	9.50	6.55	41.01	1405.60	434.95	10.61
975.00	9.75	6.72	41.02	1425.90	441.21	10.76
1000.00	10.00	6.90	41.02	1435.00	444.02	10.82
1025.00	10.25	7.07	41.03	1449.00	448.33	10.93
1050.00	10.50	7.24	41.04	1459.80	451.35	11.00
1075.00	10.75	7.41	41.04	1472.80	455.67	11.10
1100.00	11.00	7.59	41.05	1477.70	457.18	11.14

Laboratorio de Mecánica de Suelos  
INGENIERÍA CIVIL - UNSA

ING. JEAN PAUL PAREDES CUEVA  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 94656

Laboratorio de Mecánica de Suelos  
INGENIERÍA CIVIL - UNSA

Ing. César Augusto C. Calle Aranda  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 9920  
JEFE DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
 Calle Paucorpata s/n • Teléfono 283143 • Arequipa - Perú



**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO  
 ASTM D2435-90 AASTHO T 216**

DETERMINACION DE LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE NO DRENADO (S) Y EL ANGULO DE FRICCION EFECTIVO ( $\phi$ )

NORMA : ASTM D2435-90 AASTHO T 216  
 PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera Azuaguero - Sayococha - Sandoa - San  
 UBICACION : Tramo I (Mulluri - Sayococha, Sector Km. 14+700 al Km. 30+000)  
 DESCRIPCION : MUESTRA DE SUELOS DE FUNDACION M-1 Progresiva 17+655.6m.

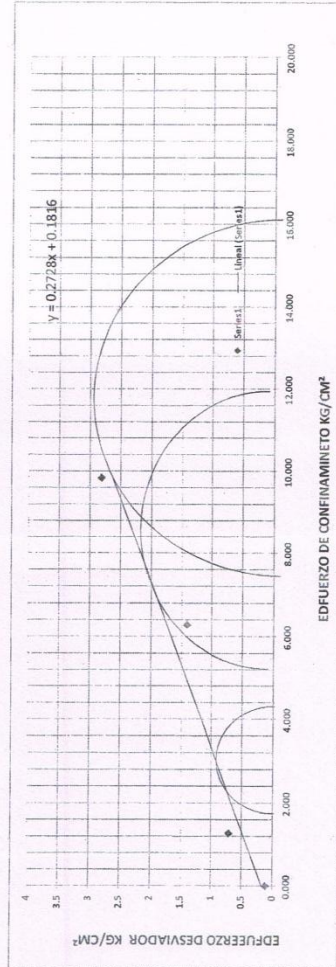
MUESTRA : 001  
 EJECUTOR : Personal de Laboratorio  
 LABORATORIO : UNASALAB, MECANICA DE SUELOS  
 FECHA : Enero del 2014

PROFUNDIDAD : LADO DERECHERO DEL TALUD  
 ESTADO : INALTERADO

BONDADJE : 002  
 TIPO : MUESTREO CON TUBO DE PARED DELGADA

DATOS PARA EL CIRCULO DE MOHR

MUESTRA	ESFUERZO DESVIADOR	ESF. DE CONFINAM.	$\phi$	C
M1	1.84 kg/cm <sup>2</sup>	0.70 kg/cm <sup>2</sup>	35°	201.5 kg/cm <sup>2</sup>
M2	11.14 kg/cm <sup>2</sup>	1.41 kg/cm <sup>2</sup>		
M3	16.86 kg/cm <sup>2</sup>	2.81 kg/cm <sup>2</sup>		



OBSERVACIONES

Laboratorio de Mecánica de Suelos  
 INGENIERIA CIVIL UNASAL  
 ING. JEAN PAUL PAREDES CUEVA  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 94656

Laboratorio de Mecánica de Suelos  
 UNASAL  
 Ing. JEAN PAUL PAREDES CUEVA  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 94656  
 JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
Calle Paucarpata s/n • Teléfono 283143 • Arequipa - Peru



ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO  
ASTM D2435-90 AASTHO T 216

NORMA : ASTM D 2435-90 AASTHO T 216  
PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera Azángaro - Saytococho - Sándia - San Juan del Oro.  
UBICACION : Tramo II Muñani - Saytococho, Sector (Km. 14+700 a/ Km. 30+000)  
DESCRIPCION : MUESTRA DE SUELOS DE FUNDACION M-1 Progresiva 20+100 Km.  
MUESTRA : 001  
EJECUTORES : Personal de Laboratorio  
LABORATORIO : UNSA LAB. MECANICA DE SUELOS  
FECHA : Enero del 2014

SONDAJE : MUESTRA DE SUELOS DE FUNDACION M-1 Progresiva 20+100 Km.  
MUESTRA : C-1 M-1 (PRIMER ESPECIMEN)  
TIPO : MUESTREO CON TUBO DE PARED DELGADA  
PROFUNDIDAD : LADO IZQUIERDO DEL TALLID  
ESTADO : INALTERADO  
ESTADO : INALTERADO

DATOS INICIALES PARA EL ENSAYO					
PERIMETROS (cm)	AREAS (cm <sup>2</sup> )		DENSIDAD		HUMEDAD
Superior 22.70	Superior 41.01	Altura 14.00 cm	Ptarro 17.90 gr		
Medio 23.20	Medio 42.83	Peso 1040.00 gr	Pm+tarro 36.70 gr		
Inferior 23.30	Inferior 43.20	Volumen 594.58 cm <sup>3</sup>	Ps+tarro 35.20 gr		

RESUMEN	
Ao =	42.47 cm <sup>2</sup>
Lo =	14.00 cm
Vc =	0.1102 cm <sup>3</sup> /min
γ =	1.75 gr/cm <sup>3</sup>
w =	8.67 %

CORRECCION DEL ANILLO 0.3083 x DIAL + 1.6062  
ESF. DE CONFINAMIENTO 10.00 psi = 0.7031 kg/cm<sup>2</sup>

DIAL DEF.	DEFORM (mm)	DEF. AXIAL %Lo (10E2)	AREA A' (cm <sup>2</sup> )	DIAL DE CARGA	P (kg)	ESF. DESV. (kg/cm <sup>2</sup> )
0.00	0.00	0.00	42.47	0.00	1.61	0.04
25.00	0.25	0.18	42.48	22.00	8.39	0.20
50.00	0.50	0.36	42.49	35.00	12.40	0.29
75.00	0.75	0.54	42.49	45.00	15.48	0.36
100.00	1.00	0.71	42.50	55.00	18.56	0.44
125.00	1.25	0.89	42.51	65.00	21.65	0.51
150.00	1.50	1.07	42.52	75.00	24.73	0.58
175.00	1.75	1.25	42.52	84.00	27.50	0.65
200.00	2.00	1.43	42.53	92.00	29.97	0.70
225.00	2.25	1.61	42.54	102.00	33.05	0.78
250.00	2.50	1.79	42.55	112.00	36.14	0.85
275.00	2.75	1.96	42.55	116.00	37.37	0.88
300.00	3.00	2.14	42.56	122.00	39.22	0.92
325.00	3.25	2.32	42.57	128.00	41.07	0.96
350.00	3.50	2.50	42.58	134.00	42.92	1.01
375.00	3.75	2.68	42.58	139.00	44.46	1.04
400.00	4.00	2.86	42.59	145.00	45.52	1.09
425.00	4.25	3.04	42.60	150.00	47.85	1.12
450.00	4.50	3.21	42.61	155.00	49.39	1.16
475.00	4.75	3.39	42.61	160.00	50.93	1.20
500.00	5.00	3.57	42.62	164.00	52.17	1.22
525.00	5.25	3.75	42.63	168.00	53.40	1.25
550.00	5.50	3.93	42.64	172.00	54.63	1.28
575.00	5.75	4.11	42.65	176.00	55.87	1.31
600.00	6.00	4.29	42.65	179.00	56.79	1.33
625.00	6.25	4.46	42.66	183.00	58.03	1.36
650.00	6.50	4.64	42.67	186.00	58.95	1.38
675.00	6.75	4.82	42.68	188.00	59.57	1.40
700.00	7.00	5.00	42.68	191.00	60.49	1.42
725.00	7.25	5.18	42.69	194.00	61.42	1.44
750.00	7.50	5.36	42.70	197.00	62.34	1.46
775.00	7.75	5.54	42.71	201.00	63.57	1.49
800.00	8.00	5.71	42.71	203.00	64.19	1.50
825.00	8.25	5.89	42.72	205.00	64.81	1.52
850.00	8.50	6.07	42.73	207.00	65.42	1.53
875.00	8.75	6.25	42.74	209.00	66.04	1.55
900.00	9.00	6.43	42.74	212.00	66.97	1.57
925.00	9.25	6.61	42.75	214.00	67.58	1.58
950.00	9.50	6.79	42.75	216.00	68.20	1.59
975.00	9.75	6.96	42.77	218.00	68.82	1.61
1000.00	10.00	7.14	42.78	220.00	69.43	1.62
1025.00	10.25	7.32	42.78	222.00	70.05	1.64
1050.00	10.50	7.50	42.79	224.00	70.67	1.65
1075.00	10.75	7.68	42.80	228.00	71.90	1.68
1100.00	11.00	7.86	42.81	229.00	72.21	1.69
1125.00	11.25	8.04	42.81	230.00	72.52	1.69
1150.00	11.50	8.21	42.82	231.00	72.82	1.70
1175.00	11.75	8.39	42.83	232.00	73.13	1.71
1200.00	12.00	8.57	42.84	234.00	73.75	1.72
1225.00	12.25	8.75	42.84	236.00	74.37	1.74
1250.00	12.50	8.93	42.85	236.00	74.99	1.75
1275.00	12.75	9.11	42.86	238.00	75.14	1.75
1300.00	13.00	9.29	42.87	241.00	75.91	1.77
1325.00	13.25	9.46	42.88	242.50	76.37	1.78
1350.00	13.50	9.64	42.88	243.00	76.52	1.78
1375.00	13.75	9.82	42.89	244.00	76.83	1.79
1400.00	14.00	10.00	42.90	245.50	77.29	1.80
1425.00	14.25	10.18	42.91	247.00	77.76	1.81
1450.00	14.50	10.36	42.91	247.50	77.91	1.82
1475.00	14.75	10.54	42.92	249.00	78.37	1.83
1500.00	15.00	10.71	42.93	250.00	78.68	1.84
1525.00	15.25	10.89	42.94	250.50	78.84	1.84
1550.00	15.50	11.07	42.95	250.50	78.84	1.84

Laboratorio de Mecánica de Suelos  
INGENIERIA CIVIL UNSA  
ING. JEAN PAUL PAREDES CUEVA  
INGENIERO CIVIL  
CIP: 94656

Laboratorio de Mecánica de Suelos  
INGENIERIA CIVIL UNSA  
Ing. Javier Vera...  
INGENIERO CIVIL  
CIP: 94656



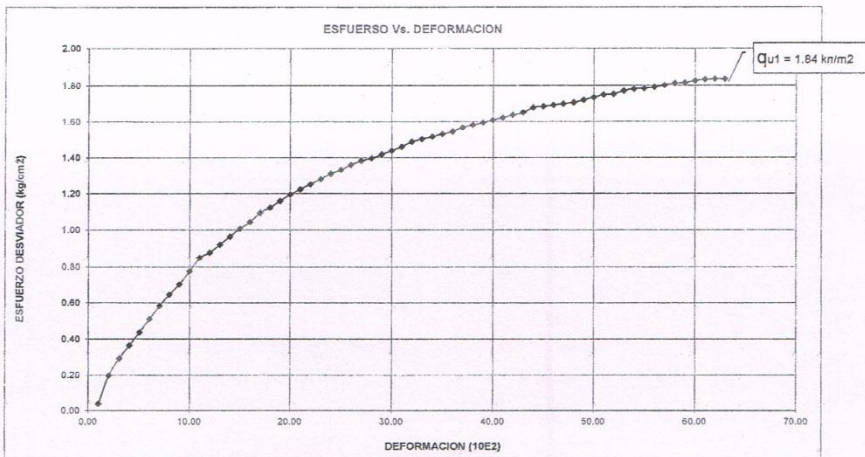
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
 Calle Paucarpata s/n • Teléfono 283143 • Arequipa - Peru



**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO  
 ASTM D2435 AASTHO T 216  
 GRAFICO ESFUERZO DESVIADOR Vs. DEFORMACION**

NORMA : ASTM D 2435-90 AASTHO T 216  
 PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera Azángaro - Saytococho - Sándia - San Juan del Oro.  
 UBICACIÓN : Tramo II Muñani - Saytococho, Sector (Km. 14+700 al Km. 30+000)  
 DESCRIPCIÓN : MUESTRA DE SUELOS DE FUNDACION M-1 Progresiva 20+100 Km.  
 MUESTRA : 001  
 EJECUTORES : Personal de Laboratorio  
 LABORATORIO : UNSA LAB. MECANICA DE SUELOS  
 FECHA : Enero del 2,014

BONDAJE : MUESTRA DE SUELOS DE FUNDACION M-1 Progresiva 20+100 Km.  
 MUESTRA : M1 (PRIMER ESPECIMEN)  
 TIPO : MUESTREO CON TUBO DE PARED DELGADA  
 PROFUNDIDAD : LADO IZQUIERDO DEL TALUD  
 ESTADO : INALTERADO



OBSERVACIONES

$\sigma_1$  = 1.84 kg/cm<sup>2</sup>  
 $\sigma_3$  = 0.70 kg/cm<sup>2</sup>

Laboratorio de Mecánica de Suelos  
 INGENIERÍA CIVIL UNSA  
 ING. JEAN PAUL FAREDES CUEVA  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 94666

Laboratorio de Mecánica de Suelos  
 INGENIERÍA CIVIL UNSA  
 Ing. [Signature]  
 Calle Aranda  
 CIP. 48360  
 JEFE DEL LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
Calle Prucarpata s/n • Teléfono 283143 • Arequipa - Perú



**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO  
ASTM D2435-90 AASTHO T 216**

NORMA : ASTM D 2435-90 AASTHO T 216  
PROYECTO : Mejoramiento de la Carretera Azángaro - Saytococho - Sándia - San Juan del Oro.  
UBICACIÓN : Tramo II Muñan - Saytococho, Sector (Km. 14-700 al Km. 30-000)  
DESCRIPCIÓN : MUESTRA DE SUELOS DE FUNDACION M-1 Progresiva 20+100 Km.  
MUESTRA : 002  
EJECUTORES : Personal de Laboratorio  
LABORATORIO : UNSA LAB. MECANICA DE SUELOS  
FECHA : Enero del 2014

SONDAJE : MUESTRA DE SUELOS DE FUNDACION M-1 Progresiva 20+100 Km. PROFUNDIDAD : LADO IZQUIERDO DEL TALUD  
MUESTRA : M2 (SEGUNDO ESPECIMEN) ESTADO : INALTERADO  
TIPO : MUESTREO CON TUBO DE PARED DELGADA

DATOS INICIALES PARA EL ENSAYO					
PERIMETROS (cm)	AREAS (cm <sup>2</sup> )		DENSIDAD	HUMEDAD	
Superior	23.00	Superior	42.10	Altura	14.50 cm
Medio	22.50	Medio	40.29	Peso	1049.80 gr
Inferior	22.50	Inferior	40.29	Volumen	590.73 cm <sup>3</sup>
				Ptarro	18.30 gr
				Pm+tarro	54.60 gr
				Ps+tarro	52.10 gr

RESUMEN	
Ac =	40.74 cm <sup>2</sup>
Lo =	14.50 cm
Vc =	0.1142 cm <sup>3</sup> /min
γ =	1.78 g/cm <sup>3</sup>
w =	7.40 %

CORRECCION DEL ANILLO 0.3083 x DIAL + 1.6062  
ESF. DE CONFINAMIENTO 20.00 psi = 1.4061 kg/cm<sup>2</sup>

DIAL DEF.	DEFORM (mm)	DEF. AXIAL %Lo (10E2)	AREA A' (cm <sup>2</sup> )	DIAL DE CARGA	P (kg)	ESF. DESV. (kg/cm <sup>2</sup> )
0.00	0.00	0.00	40.74	0.00	1.61	0.04
25.00	0.25	0.17	40.75	35.00	12.40	0.30
50.00	0.50	0.34	40.75	65.90	31.17	0.78
75.00	0.75	0.52	40.76	135.10	43.26	1.06
100.00	1.00	0.89	40.77	226.10	71.31	1.75
125.00	1.25	0.86	40.78	321.30	100.66	2.47
150.00	1.50	1.03	40.78	408.10	127.42	3.12
175.00	1.75	1.21	40.79	483.00	150.52	3.69
200.00	2.00	1.38	40.80	551.60	171.66	4.21
225.00	2.25	1.55	40.80	630.00	195.84	4.80
250.00	2.50	1.72	40.81	705.60	219.14	5.37
275.00	2.75	1.90	40.82	768.80	235.54	5.77
300.00	3.00	2.07	40.82	793.60	246.33	6.03
325.00	3.25	2.24	40.83	841.40	261.01	6.39
350.00	3.50	2.41	40.84	883.40	273.96	6.71
375.00	3.75	2.59	40.85	928.90	287.99	7.05
400.00	4.00	2.76	40.85	971.60	301.15	7.37
425.00	4.25	2.93	40.86	1003.80	311.08	7.61
450.00	4.50	3.10	40.87	1042.30	322.96	7.90
475.00	4.75	3.28	40.87	1073.80	332.66	8.14
500.00	5.00	3.45	40.88	1103.20	341.72	8.36
525.00	5.25	3.62	40.89	1129.80	349.92	8.56
550.00	5.50	3.79	40.90	1155.00	357.69	8.75
575.00	5.75	3.97	40.90	1178.60	365.03	8.92
600.00	6.00	4.14	40.91	1200.50	371.72	9.09
625.00	6.25	4.31	40.92	1224.30	379.06	9.26
650.00	6.50	4.48	40.92	1241.80	384.45	9.39
675.00	6.75	4.66	40.93	1248.80	386.61	9.45
700.00	7.00	4.83	40.94	1255.10	388.55	9.49
725.00	7.25	5.00	40.94	1269.80	393.09	9.60
750.00	7.50	5.17	40.95	1287.30	398.48	9.73
775.00	7.75	5.34	40.96	1304.10	403.66	9.86
800.00	8.00	5.52	40.97	1315.30	407.11	9.94
825.00	8.25	5.69	40.97	1326.50	410.57	10.02
850.00	8.50	5.86	40.98	1340.50	414.88	10.12
875.00	8.75	6.03	40.99	1361.50	421.36	10.28
900.00	9.00	6.21	40.99	1379.20	425.89	10.39
925.00	9.25	6.38	41.00	1391.60	430.64	10.50
950.00	9.50	6.55	41.01	1405.60	434.95	10.61
975.00	9.75	6.72	41.02	1425.90	441.21	10.76
1000.00	10.00	6.90	41.02	1435.00	444.02	10.82
1025.00	10.25	7.07	41.03	1449.00	448.33	10.93
1050.00	10.50	7.24	41.04	1459.80	451.35	11.00
1075.00	10.75	7.41	41.04	1472.80	455.67	11.10
1100.00	11.00	7.59	41.05	1477.70	457.18	11.14

Laboratorio de Mecánica de Suelos  
INGENIERÍA CIVIL - UNSA

ING. JEAN PAUL PAREDES CUEVA  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 94656

Laboratorio de Mecánica de Suelos  
INGENIERÍA CIVIL - UNSA

Ing. César Augusto Calle Aranda  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 9920  
JEFE DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**  
 Calle Paucarpata s/n • Teléfono 283143 • Arequipa - Perú



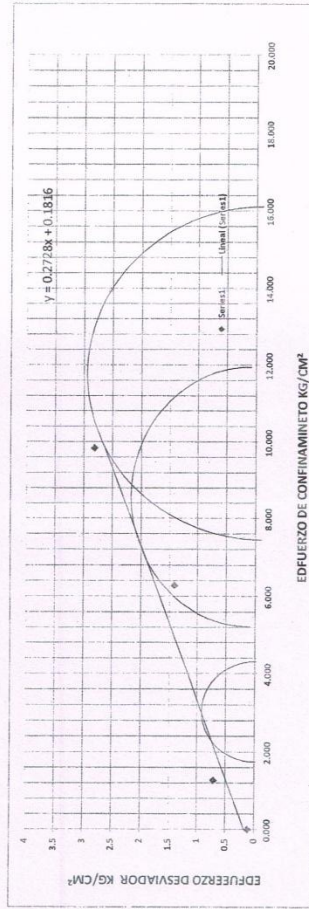
**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO  
 ASTM D2435-90 AASTHO T 216**

DETERMINACION DE LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE NO DRENADO (S) Y EL ANGULO DE FRICCION EFECTIVO ( $\phi$ )

NOMBRE : ASTM D2435-90 AASTHO T 216  
 UBICACION : Calle Paucarpata s/n, Arequipa, Perú  
 DESCRIPCION : MUESTRA DE SUELOS DE FUNDACION M-1 Progresiva 25+105.7m.  
 TIPO : MUESTRO CON TUBO DE PARED DELGADA.

MUESTRA : 001  
 EJECUTORES : Personal de Laboratorio  
 LABORATORIO : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
 FECHA : Enero del 2014  
 PROPORCIONADO : LADO IZQUIERDO DEL TALUD  
 ESTADO : NATURALADO

MUESTRA	ESFUERZO DESVIADOR	ESF. DE CONFINAM.	$\phi$	$C$
M1	1.64 kg/cm <sup>2</sup>	0.70 kg/cm <sup>2</sup>	35°	200.9 kg/cm <sup>2</sup>
M2	11.14 kg/cm <sup>2</sup>	1.41 kg/cm <sup>2</sup>		
M3	18.88 kg/cm <sup>2</sup>	2.81 kg/cm <sup>2</sup>		



OBSERVACIONES

Laboratorio de Mecánica de Suelos  
 INGENIERÍA CIVIL UNSA  
 ING. JEANPAUL PAREDES CUEVA  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 946558

Laboratorio de Mecánica de Suelos  
 UNSA  
 Ing. Carlos Villanueva Calle Grande  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 48390  
 JEFE DE LABORATORIO



# **ANEXO “C”**

# **PLANOS**

## PLANO TOPOGRAFICO P-1

## MAPA GEOLOGICO P-2

## MAPA GEOTECNICO P-3