



“Año de la lucha contra la corrupción e impunidad”

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por Ley N° 25265)



ESCUELA DE POSGRADO

PROYECTO DE TESIS

**FACTOR DE SEGURIDAD Y ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD EN
ROCA, EN LA CARRETERA SARHUA – PORTA CRUZ, PROGRESIVA KM**

35+000 – 2018

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Ingeniería Geotécnica Aplicada en Minería

PRESENTADO POR:

Bach. DARWIN ORTEGA CÁCERES

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN:

INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y GEOMECÁNICA APLICADA A LA MINERÍA

HUANCAMELICA – PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creado por Ley N° 25265)

ESCUELA DE POSGRADO

(APROBADO CON RESOLUCIÓN N° 736-2005-ANR)



"Año de la lucha contra la corrupción e impunidad"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Ante el Jurado conformado por los docentes: Dr. ENRIQUEZ DONAIRES Amadeo, MSc. ACHARTE LUME Luz Marina, y MSc. CANTA CARLOS Paul Percy

Asesor: Mg. MEDINA CHAMPE Dedicacion Miguel

De conformidad al Reglamento único de grados y títulos de la Universidad Nacional de Huancavelica, aprobado mediante Resolución N° 330-2019-CU-UNH, ratificado con resolución N° 378-2019-CU-UNH.

El Candidato al GRADO DE MAESTRO EN INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y GEOMECÁNICA APLICADA EN MINERIA

Don, Darwin, ORTEGA CACERES procedió a sustentar su trabajo de Investigación titulado "FACTOR DE SEGURIDAD Y ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD EN ROCA EN LA CARRETERA SARHUA-PORTA CRUZ, PROGRESIVA KM 35+000-2018"

Luego, de haber absuelto las preguntas que le fueron formulados por los Miembros del Jurado, se dio por concluido al ACTO de sustentación, realizándose la deliberación y calificación, resultando:

Aprobado

Con el calificativo:

Por: UNANIMIDAD

Desaprobado

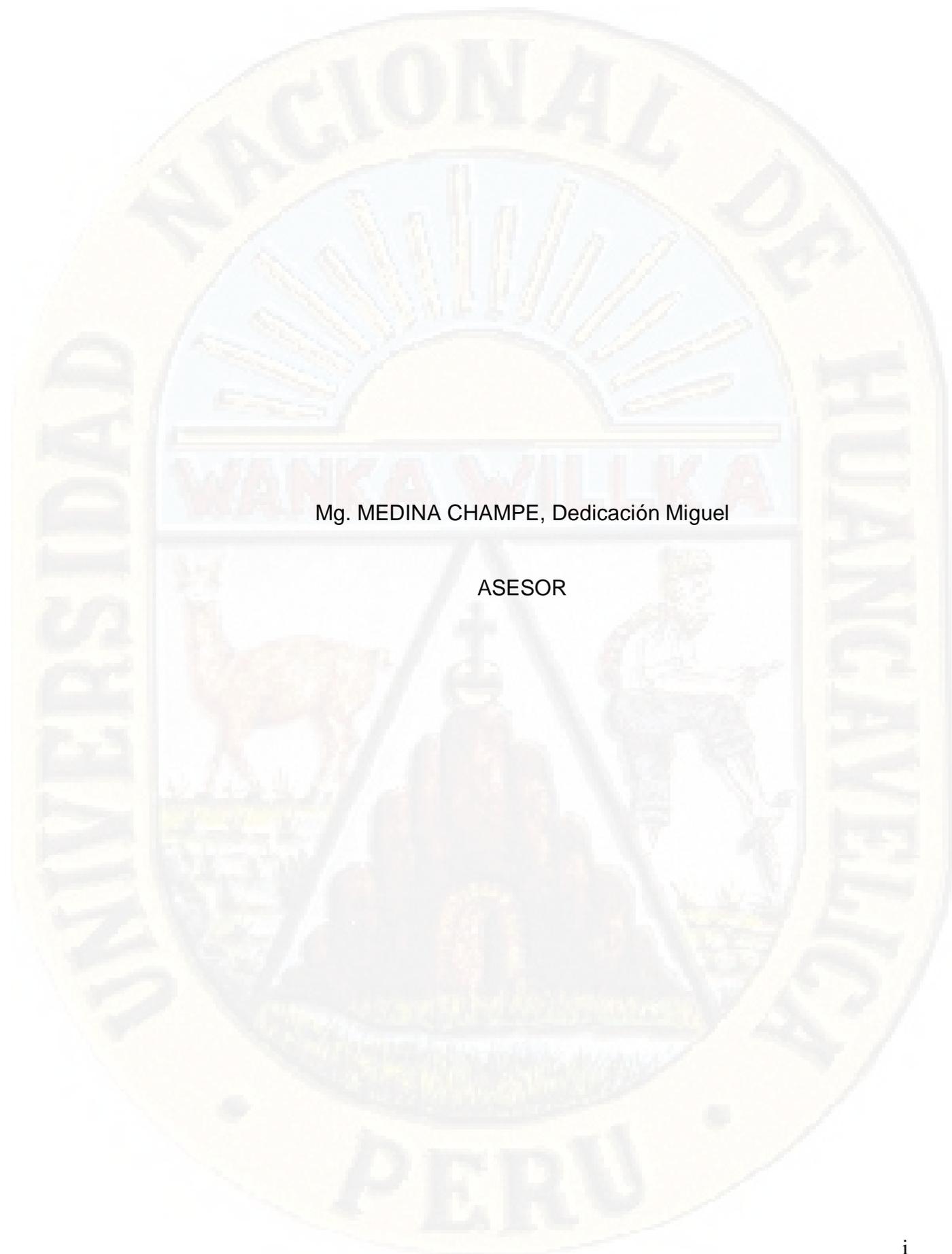
Y para constancia se extiende la presente ACTA, en la ciudad de Huancavelica, a los dieciséis días del mes de diciembre del año 2019.

DR. ENRIQUEZ DONAIRES Amadeo

Presidente del Jurado.

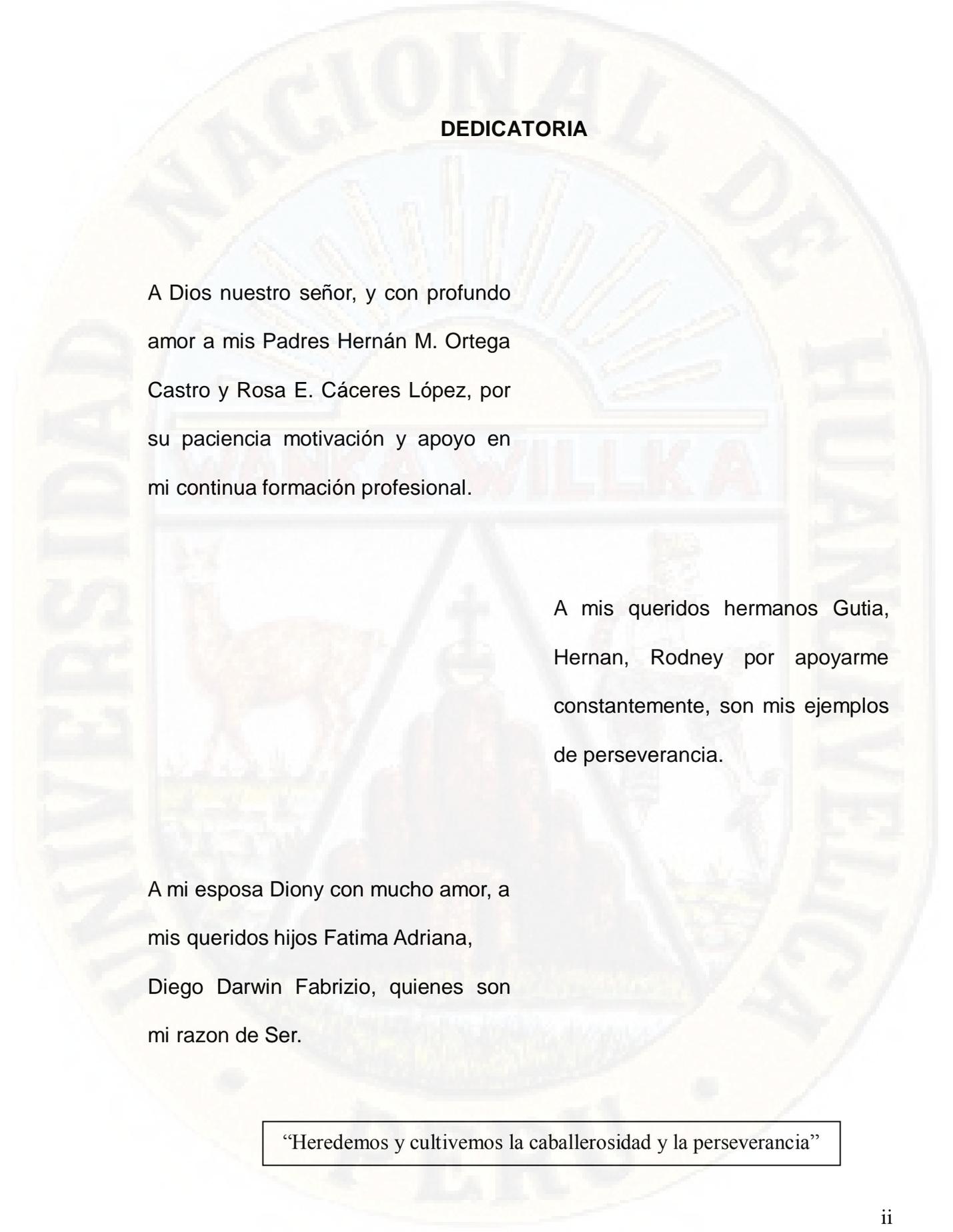
MSc. ACHARTE LUME Luz Marina
Secretario del Jurado

MSc. CANTA CARLOS Paul Percy
Vocal del Jurado



Mg. MEDINA CHAMPE, Dedicación Miguel

ASESOR



DEDICATORIA

A Dios nuestro señor, y con profundo amor a mis Padres Hernán M. Ortega Castro y Rosa E. Cáceres López, por su paciencia motivación y apoyo en mi continua formación profesional.

A mis queridos hermanos Gutia, Hernan, Rodney por apoyarme constantemente, son mis ejemplos de perseverancia.

A mi esposa Diony con mucho amor, a mis queridos hijos Fatima Adriana, Diego Darwin Fabrizio, quienes son mi razon de Ser.

“Heredemos y cultivemos la caballerosidad y la perseverancia”

RESUMEN

A partir del análisis estructural del talud en estudio, en la carretera sarhua – porta cruz, progresiva km 35+000, se observó la necesidad de resolver problemas relacionados a la inestabilidad de este tramo específico, con el objetivo de valorar el macizo rocoso a partir de las clasificaciones geomecánicas, **RMR** y **SMR**, y determinar la calidad del macizo rocoso, identificando los modos de falla estructuralmente controlados en el talud rocoso mediante el software DIPS 6.008 de ROCSCIENCE, para luego calcular el factor de seguridad en condición estática y el factor de seguridad en condición pseudo-estático, para una aceleración pico del terreno de 280cm/s^2 , información del Instituto Geofísico del Perú (mapa de riesgos e isoaceleraciones de Ayacucho), para un periodo de retorno de 500 años, y el factor de suelo “S”.

El problema de inestabilidad de taludes en el sector del km 35+00 fueron generados por la ejecución de excavación y voladura inadecuada, La solución propuesta para controlar este problema, es la construcción de banquetas.

Los ensayos directos a roca intacta y a los planos de discontinuidad, aportaron los valores de la cohesión del macizo, ángulos de fricción y la resistencia compresiva uniaxial (UCS).

Palabras Clave: Discontinuidad, factor de seguridad, Geomecánica, Talud, Inestabilidad.

ABSTRACT

From the structural analysis of the slope under study, on the Sarhua - Porta Cruz road, on the station in the survey line Km.35 + 000, the need to solve problems related to the instability of this specific section was observed, with the objective of assessing the rock mass on the basis of the geomechanical classifications, RMR and SMR, and determine the quality of the rock mass, identifying the structurally controlled failure modes in the rock slope using the software DIPS 6.008 of ROCSCIENCE, and then calculate the safety factor in static condition and the factor of safety in pseudo-static condition, for a peak acceleration of the ground of 280cm/s^2 , information from the Geophysical Institute of Peru (map of risks and isoaccelerations of Ayacucho), for a return period of 500 years, and the soil factor "S".

The problems of instability of slopes on the station of Km.35 + 00 were generated by the execution of excavation and inadequate blasting. The proposed solution to control this problem is the construction of sidewalks.

The direct tests to intact rock and to the planes of discontinuity, provided the values of the cohesion of the massif, friction angles and the uniaxial compressive strength (UCS).

Keywords: Discontinuity, safety factor, Geomechanics, Slope, Instability.

ÍNDICE

DEDICATORIA	i
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
ÍNDICE	v
INTRODUCCIÓN.	xiv
CAPÍTULO I	1
1.1. Planteamiento del problema.	1
1.2. Formulación del problema.	7
1.2.1. Problema general.....	7
1.2.2. Problema específico.	7
1.3. Objetivos:	8
1.3.1. Objetivo general.....	8
1.3.2. Objetivo específico.....	8
1.4. Justificación e importancia	9
CAPITULO II.....	12
MARCO TEORICO.....	12
2.1. Antecedentes de la investigación.	12
2.2. Bases teóricas.	16

2.1.1.	Métodos de clasificación del macizo rocoso.....	17
2.1.2.	Mecánica del macizo rocoso.....	18
2.1.3.	Criterios de rotura.....	19
2.1.3.1.	Criterio de rotura de Mohr-Coulomb.....	19
2.1.3.2.	Criterio de rotura de Hoek-Brown generalizado (2002).....	23
2.1.4.	Mecanismo de rotura del macizo rocoso en Taludes.....	26
2.1.4.1.	Tipos de rotura desde el punto de vista del mecanismo.....	28
2.1.5.	Análisis de estabilidad de Taludes.....	35
2.1.5.1.	Métodos de cálculo de deformaciones.....	36
2.1.5.2.	Métodos de equilibrio límite.....	36
2.1.6.	Factor de seguridad.....	37
2.1.7.	Diseño de taludes.....	39
2.1.7.1.	Diseño de bancos.....	40
2.3.	Definición de términos.....	40
2.5.	Formulación de hipótesis.....	46
2.5.1.	Hipótesis general.....	46
2.5.2.	Hipótesis específico.....	46
2.6.	Identificación de variables.....	46
2.7.	Definición Operativa de variables e indicadores.....	47

CAPITULO III.....	48
METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	48
3.1. Tipo de la investigación.....	48
3.2. Nivel de investigación.....	48
3.3. Método de investigación.....	49
3.4. Diseño de investigación.....	49
3.5. Población, muestra y muestreo.....	50
3.5.1. Población.....	50
3.5.2. Muestra.....	50
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	51
3.6.1. Técnicas.....	51
3.6.2. Instrumentos.....	52
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	53
3.7.1. Geología.....	53
3.7.1.1. Geomorfología.....	53
3.7.1.2. Estratigrafía Regional.....	54
3.7.1.3. Clima.....	59
3.7.1.4. Hidrología.....	60
3.7.1.5. Tectónica.....	61

3.7.1.6.	Geología local	63
3.7.1.7.	Vulcanismo y Sismicidad	63
3.7.1.	Características Geotécnicas del Talud.....	68
3.7.1.1.	Características Geométricas.....	68
3.7.1.2.	Parámetros Geomecánicos de la Roca.....	68
3.7.2.	Estabilidad de taludes.....	71
3.7.2.1.	Clasificación Geomecánica RMR, SMR.....	71
3.7.2.2.	Análisis de la estabilidad, método de Equilibrio Limite.....	86
3.7.2.3.	Análisis Cinemático.....	86
3.7.2.4.	Rotura tipo Cuña.....	88
3.8.	Descripción de la prueba de hipótesis.....	98
CAPITULO IV		99
PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....		99
4.1.	Presentación e interpretación de datos.....	99
4.1.1.	D1: Características del talud.....	99
4.1.1.1.	Geología.....	99
4.1.1.2.	Propiedades Físico Mecánicas del macizo rocoso.....	99
4.1.1.3.	Clasificación Geomecánica RMR.....	100
4.1.2.	D2: Proponer la geometría de Talud estable.....	100

4.1.3.	D3: Factor de Seguridad mediante la clasificación geomecánica SMR de Romana.	101
4.1.4.	D4: Factor de Seguridad por el método de Equilibrio Limite.....	101
4.2.	Discusión de resultados.....	104
4.3.	Proceso de prueba de hipótesis.....	104
4.3.1.	Sistema de hipótesis.....	104
4.3.2.	Nivel de significancia (alfa, $\alpha=5\%$).....	105
4.3.3.	Estadística de prueba.....	105
4.3.4.	Probabilidad de error (P – Valor).....	107
4.3.5.	Toma de decisión.....	108
	CONCLUSIONES.....	109
	RECOMENDACIONES.....	111
	REFERENCIA BIBLIOGRAFICA.....	112
	Bibliografía.....	112
	ANEXOS.....	115

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación de los tipos más comunes de rotura en taludes en roca: en proyección estereográfica y tridimensional. Modificado a partir de Hoek y Bray (1974).	5
Figura 2. Criterio de rotura de Mohr - Coulomb.....	20
Figura 3. Relación entre tensiones principales y cortantes en el criterio de rotura de Mohr-Coulomb.	21
Figura 4. Extrapolación de la recta de Mohr-Coulomb a la región de tensiones de confinamiento negativas.....	23
Figura 5. Foto y esquema, Rotura plana.....	30
Figura 6. Geometría y pendiente de falla plana: (a) sección transversal que muestra planos inclinados que forman una falla plana; (b) superficies libres en los extremos de la falla plana; (c) Espesor de la unidad utilizada en el análisis de estabilidad. Fuente: Wyllie&Mah, 2004.....	30
Figura 7. Disposición de discontinuidades en el estereograma para un modo de falla plana.	30
Figura 8. Foto y esquema, Rotura en cuña.	31
Figura 9. Condición geométrica de falla en cuña.....	31
Figura 10. Disposición de discontinuidades en el estereograma para un modo de falla por cuña.	31
Figura 11. Foto y esquema, Rotura por vuelco.....	33
Figura 12. Disposición de discontinuidades en el estereograma para un modo de falla por vuelco de bloques.....	33
Figura 13. Foto, Rotura circular (Wyllie&Mah, 2004).....	34

Figura 14. Disposición de discontinuidades en el estereograma para un modo de falla circular.	34
Figura 15. Esquema métodos de cálculo para estabilidad de taludes.....	35
Figura 16. Unidades Geomorfológicas.....	54
Figura 17. Columna estratigráfica generalizada de los cuadrángulos de Huancapi, Chincheros, Querobamba y Chaviña.....	57
Figura 18. Variación de la precipitación mensual por subcuencas	61
Figura 19. Mapa de peligro sísmico para Ayacucho, considerando un periodo de retorno de 500 años con el 10% de excedencia. Los valores de aceleración están expresados en unidades de gals.	66
Figura 20. A cada zona se asigna un factor Z_n según se indica en la Tabla.....	67
Figura 21. Perfiles tipo para estimar el coeficiente de rugosidad	93
Figura 22. Fuerzas sísmicas actuando sobre la superficie potencial de rotura.....	97
Figura 23. Valor crítico de la distribución "t".....	107
Figura 24. P – Valor.....	107

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Guía para valorar el factor de alteración D.	26
Tabla 2 Definición Operativa de variables e indicadores.	47
Tabla 3. Variación de la precipitación media (mm/mes).....	61
Tabla 4. Valores del factor de amplificación del suelo “S” en función al factor Z.....	67
Tabla 5. Resultado de la campaña con esclerómetro de Schmidt	70
Tabla 6. Ensayo de UCS.....	72
Tabla 7. Puntaje según UCS	72
Tabla 8. Puntaje según valor RQD.....	73
Tabla 9. Datos Espaciamiento estructural.	74
Tabla 10. Histograma de Espaciamiento de estructuras	74
Tabla 11. Puntaje según el espaciado.....	74
Tabla 12. Datos Persistencia	75
Tabla 13. Histograma de persistencia	75
Tabla 14. Condición de las juntas	75
Tabla 15. Datos Apertura	76
Tabla 16. Histograma de apertura.....	77
Tabla 17. Datos rugosidad.....	77
Tabla 18. Histograma de rugosidad	78
Tabla 19. Datos relleno	78
Tabla 20. Histograma de relleno.....	79
Tabla 21. Datos Meteorización.....	79
Tabla 22. Histograma de meteorización.....	80

Tabla 23. Presencia de agua	80
Tabla 24. Histograma de presencia de agua	81
Tabla 25. Puntaje según presencia de agua	81
Tabla 26. Categorías de clasificación del macizo rocoso	81
Tabla 27. Factores de ajuste de la Clasificación SMR (Romana, 1985)	84
Tabla 28. Resumen del análisis geomecánico RMR y SMR para el macizo rocoso.	84
Tabla 29. Valores del SMR para cada tipo de rotura	85
Tabla 30. Clases de estabilidad según el SMR	85
Tabla 31. Mecanismo de rotura por Estación Geomecánica.....	87
Tabla 32. Resumen del análisis RMR por Estación Geomecánica.	100
Tabla 33. Valores referenciales para taludes en corte (relación H:V).....	101
Tabla 34. Análisis de estabilidad del talud en EG – 1 Talud 2	102
Tabla 35. Análisis de estabilidad del talud en EG – 2 Talud 3	102
Tabla 36. Análisis de estabilidad del talud en EG – 4 Talud 5 (fam2-fam3).....	102
Tabla 37. Análisis de estabilidad del talud en EG – 5 Talud 6	103
Tabla 38. Análisis de estabilidad del talud en EG – 5 Talud 7	103
Tabla 39. Análisis de estabilidad del talud en EG – 5 Talud 7	103
Tabla 40. Análisis de estabilidad del talud en EG – 7 Talud 9	103
Tabla 41. Valor SMR y Factor de Seguridad por Estación Geomecánica, Para taludes permanentes, el coeficiente de seguridad a adoptar debe ser igual o superior a 2.0	105
Tabla 42. Resultados del Análisis de estabilidad y Factor de Seguridad	109

INTRODUCCIÓN.

Muchas obras civiles que involucran diseño y análisis de estabilidad de taludes superan alturas de excavación superiores a los 45 m, Justificadas por la necesidad de comunicación y satisfacer necesidades humanas, originan la construcción de obras lineales (ferrocarriles y carreteras), canales, explotaciones mineras, lo que hace que los taludes finales se construyen con la pendiente más elevada que permite la resistencia del terreno, manteniendo condiciones aceptables de estabilidad.

Los taludes que serán permanentes en una construcción de infraestructuras lineal están diseñados para ser estables a largo plazo, siendo necesarios tomar medidas de estabilización complementarias cuando no es posible perfilar los taludes con las alturas y ángulos diseñados, por diferentes motivos.

La naturaleza del material que forma un talud está relacionada con el grado de inestabilidad que este tiende a 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 tensodeformacional y, por tanto, su inestabilidad. La determinación cuantitativa de factores de seguridad exige el empleo de técnicas y modelos propios de la Mecánica de Rocas.

Este estudio quiere determinar el grado de estabilidad del talud, que conforma el margen derecho de la carretera, ya que un deslizamiento del talud podrían afectar al tránsito vehicular entre Huamanga y la zona sur de la región Ayacucho.

El presente estudio demandó la realización de los siguientes trabajos:

- **Recopilación de la información existente.**
- **Análisis de los parámetros de entorno.**

Realizada varias visitas a la zona en estudio y, ayudándome con la información consultada, se han valorado los parámetros de entorno: climatología de la zona, geología regional, geología local, tectónica, hidrología, tectonismo y sismicidad.

- **Inspección visual del talud y ubicación de Estaciones Geomecánicas.**

Se ubicaron las estaciones geomecánicas, se midieron las discontinuidades haciendo uso de una brújula tipo Brunton. Para cada una de las familias de discontinuidades, se ha medido el buzamiento, la dirección de buzamiento, el espaciado, la continuidad, apertura, rugosidad, resistencia, grosor de los rellenos y se ha valorado las filtraciones de agua.

- **Realización de ensayos de laboratorio.**

Se tomaron muestras representativas de la matriz en el macizo rocoso y se analizó las propiedades físicas mecánicas de la matriz rocosa en el laboratorio de mecánica de rocas de la universidad San Cristóbal de Huamanga.

- **Valoración de la estabilidad de los taludes.**

Con los datos recopilados en campo y con los resultados de los diferentes ensayos de laboratorio, se han valorado todas aquellas causas tanto externas como internas al talud que pudieran actuar durante los procesos de inestabilidad.

- **Medidas correctivas.**

Conocidas las posibles causas de inestabilidad, se recomendara las medidas correctoras y protectoras para el talud.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema.

Generalmente, una excavación abierta incluye rocas intemperizadas, cuyas resistencias son mucho menores que la de la matriz rocosa. Algunas rocas blandas continuarán degradándose debido a alteraciones durante la construcción y posteriormente debido a la acción del agua y del clima, particularmente en regiones con climas cálidos y húmedos. No obstante que las vetas de agua pueden ser interceptadas tanto en la superficie como en el subsuelo, los materiales en la superficie pueden permitir un mayor flujo de agua debido a su mayor porosidad y grado de fracturamiento a pesar de la menor carga de agua; además, las aguas superficiales forman parte de los problemas que pueden ser causados por las aguas subterráneas. Tanto en la superficie como en el subsuelo, las presiones hidráulicas en discontinuidades y las presiones de poro en rocas fisuradas, estratos de rocas sedimentarias blandas o en el material poroso de relleno en las fallas (el cual se comporta como suelo) pueden con toda seguridad desestabilizar un macizo rocoso. Durante la época de lluvias, las excavaciones en la superficie también tendrán que enfrentarse a problemas debidos a la pérdida de presión capilar o al ablandamiento de materiales arcillosos que

inicialmente se encuentran en un estado no-saturado o disecado. Similarmente la erosión, tanto interna como externa, de materiales limosos derivados de la meteorización, típicos en suelos residuales puede llevar a una rápida destrucción del talud.

La construcción de la carretera Sarhua – Porta Cruz, surge de la necesidad de interconectar mediante una vía a los pueblos ubicados a lo largo de la cuenca del río Caracha tales como: Sarhua, Patará, Uchu, Tinca, San Antonio de Ccechahua, Accosa, Manchiri, Tauli, Porta Cruz, San Martín de Tiopampa, Huancasancos, con las provincias de Lucanas, Huancasancos y la capital del departamento de Ayacucho.

La carretera Sarhua – Porta Cruz, abandonada a lo largo de varios años, trajo como consecuencia el incremento de accidentes vehiculares, y como consecuencia la pérdida de vidas humanas. Encontrándose una vía calamitosa con derrumbes y mal estado de la plataforma de rodaje, por lo que fue necesaria la intervención del ministerio de Transportes y Comunicaciones para el asfaltado de la vía, sin tener en cuenta el ensanche de la vía y el estudio de estabilidad de taludes. (Gobierno Regional Ayacucho, 2004)¹

En el tramo crítico ubicado entre los KM 34.600 y KM 36+000 hay problemas de estabilidad de taludes, “*falla de talud en rocas*”.

¹(Expediente Técnico Reformulado 2004, Proyecto 0-00130 Construcción Carretera Sarhua PortaCruz)

Dentro de este tramo crítico ubicado entre los KM 34+600 y KM 36+000 se realizarán estudios geológicos y mapeos geomecánicos, para determinar las propiedades mecánicas de las rocas y caracterizar el macizo rocoso, cuyos resultados permitirán obtener una perspectiva sobre la estabilidad de los taludes en rocas, acorde a la realidad del estado actual del macizo rocoso.

Se debe tener en cuenta los tipos de rotura y algunas Consideraciones generales sobre estabilidad de taludes como (Ramírez Oyanguren & Alejano Monge, 2004) afirman:

En la mayor parte de los casos, el estudio de las inestabilidades de taludes no puede realizarse a nivel general, sino talud por talud, ya que las inestabilidades suelen ir asociadas a la presencia de discontinuidades concretas con orientaciones determinadas. La estabilidad de taludes suele estar muy condicionada por la presencia de agua, que en muchos casos es el factor determinante, ya que los coeficientes de seguridad suelen ser muy diferentes para un talud excavado en un macizo rocoso totalmente saturado o totalmente seco.

Cuando el coeficiente de seguridad de un talud bien calculado es inferior a 1, es muy probable que se produzca su rotura, en la mayoría de los taludes mineros, donde sólo es necesario garantizar la

estabilidad durante un tiempo relativamente corto, mientras dure la operación minera, se considera suficiente un coeficiente de seguridad igual o superior a 1,2. Si se trata de garantizar la estabilidad de taludes a largo plazo, hay que pensar en un coeficiente de seguridad del orden de 1,5 o mayor. Mediante cálculos se podrá determinar el ángulo de inclinación del talud, en los casos de que se encuentre seco o totalmente saturado, para alcanzar un determinado coeficiente de seguridad.

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.

los mecanismos de rotura que se producen de manera más frecuente en el ámbito de las ingenierías civil y de minas son la rotura plana, la rotura en cuña, la rotura por vuelco, la rotura circular y la rotura siguiendo discontinuidades paralelas al talud. En la ilustración 1.0 se presentan, de acuerdo con las propuestas iniciales de Hoek y Bray (1974) con leves modificaciones.

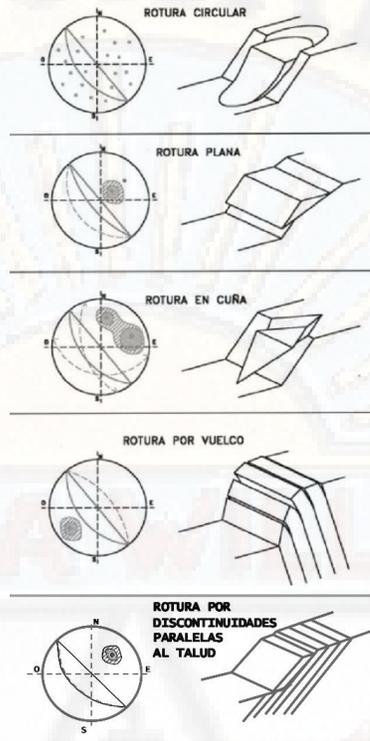


Figura 1. Representación de los tipos más comunes de rotura en taludes en roca: en proyección estereográfica y tridimensional. Modificado a partir de Hoek y Bray (1974).

Conforme aumenta la altura de un talud, los problemas que aparecen tienden a ser más complejos. Estos problemas se resumen en:

- Mayor incidencia de las condiciones estructurales, o sea, de las discontinuidades geológicas.
- Fenómenos de fluencia y rotura progresiva.
- Mayor influencia de los factores hidrogeológicos.
- Mayor susceptibilidad frente a fenómenos dinámicos.
- Inestabilidades asociadas a estados tensionales elevados.

La posibilidad de que se produzcan movimientos en un talud depende de la estructura geológica, la litología, las condiciones hidrogeológicas y la morfología propia del mismo. Una variación de alguno de dichos factores, por causas naturales o debidas a la actividad humana, puede traducirse en un incremento o disminución de las tensiones o de la resistencia al corte, cuyo efecto inmediato puede ser la inestabilidad de una masa de rocas. (págs. 250, 259, 264, 265)

La cuantificación del riesgo de deslizamientos requiere del empleo de diversas herramientas estadísticas, tales como cálculos probabilísticos y análisis de confiabilidad que ayuden al ingeniero a la toma de decisiones.

Uno de los grandes problemas que afronta actualmente esta CARRETERA SARHUA – PORTA CRUZ, específicamente en el tramo crítico ubicado entre los KM 34+600 y KM 36+000, hay problemas de inestabilidad del talud, el cual no cuenta con un estudio de las características geológicas, geotécnicas, geomecánicas, para diseñar en forma adecuada los taludes en roca, este problema se extiende a toda las obras civiles como carreteras, represas, embalses, cimentaciones y otros, en la región Ayacucho.

Para controlar o impedir los procesos geodinámicos en un futuro, es necesario introducir en los expedientes técnicos de construcción de obras un acápite sobre estudios de estabilidad de taludes en rocas, para evitar

los deslizamientos y derrumbes, que ocurren mayormente en las regiones de la Sierra y la Selva Peruana, comprometiendo la seguridad del usuario.

“La capacidad de los ingenieros geotécnicos de modelar exactamente el comportamiento de un talud está comprometida por varios factores. El resultado neto de estas consideraciones es que el comportamiento exacto de los taludes no puede ser predicho exactamente” (Lynn Peterson, 1999).

1.2. Formulación del problema.

1.2.1. Problema general.

¿Cuál será la estabilidad del talud en roca y el factor de seguridad, en la carretera Sarhua – Porta Cruz progresiva KM 35+000, Huancasancos - Ayacucho 2018?

1.2.2. Problema específico.

¿Cómo es la caracterización geomecánica del macizo rocoso en el talud de la carretera Sarhua – Porta Cruz progresiva KM 35+000 - 2018?

¿Cuál es el factor de seguridad utilizando la clasificación geomecánica **SMR**, del talud en roca en la carretera Sarhua – Porta Cruz progresiva KM 35+000 - 2018?

¿Cuál será el factor de seguridad para condiciones estática como pseudoestáticas, en el talud rocoso de la carretera Sarhua – Porta Cruz progresiva KM 35+000 – 2018?

¿Cuál será la geometría del talud estable, utilizando el método de equilibrio límite en el talud de la carretera Sarhua – Porta Cruz progresiva KM 35+000 - 2018?

1.3. Objetivos:

1.3.1. Objetivo general.

Determinar la estabilidad del talud en roca y el factor de seguridad, en la carretera Sarhua – Porta Cruz, progresiva KM 35+000, Huancasancos - Ayacucho 2018.

1.3.2. Objetivo específico.

- caracterizar geomecánicamente el macizo rocoso del talud en la carretera Sarhua – Porta Cruz, progresiva KM 35+000 - 2018.
- Determinar el factor de seguridad utilizando la clasificación geomecánica **SMR**, del talud en roca en la carretera Sarhua – Porta Cruz, progresiva KM 35+000 - 2018.

- Determinar el factor de seguridad para condiciones estática como pseudoestáticas, en el talud rocoso de la carretera Sarhua – Porta Cruz, progresiva KM 35+000 - 2018.
- Proponer la geometría del talud estable, utilizando el método de equilibrio limite en el talud de la carretera Sarhua – Porta Cruz, progresiva KM 35+000 – 2018.

1.4. Justificación e importancia.

El fin es garantizar el tránsito en cualquier momento del año, dada la trascendencia de la vía, que une la capital de la región Ayacucho con zonas productivas de las provincias de Cangallo, Víctor Fajardo, Huanca Sancos y Lucanas.

Al no contar con información geotécnica, geomecánica del macizo rocoso para analizar la estabilidad de taludes en la zona de investigación, se justifica la realización de este estudio, con la finalidad de obtener parámetros geotécnicos, que puedan ayudar a la solución de inestabilidad de taludes de corte, para el tramo que se está analizando dentro de la carretera Sarhua – Porta Cruz.

Una etapa fundamental de todo proyecto de ingeniería donde intervienen taludes de corte o excavados considera llevar a cabo la caracterización geológico - geomecánicas del macizo rocoso y la evaluación de los

ángulos de talud. La primera debe tomar en cuenta las características litológicas, tipos e intensidades de alteración, tipos y distribución de las estructuras geológicas presentes y las condiciones geotécnicas y ambientales (agua y esfuerzos) del macizo rocoso en estudio. Segundo, desde el punto de vista de estabilidad, y considerando el objetivo de lograr un sistema de transporte que contribuya eficientemente en el desarrollo socio – económico de los pueblos, estos taludes de corte deben de mantenerse estables a lo largo de muchos años, considerando el comportamiento de las laderas naturales o artificiales y los declives del terreno a los efectos del proceso de geodinámica externa.

Para el diseño y posterior ejecución de taludes sobre el macizo rocoso, es necesario conocer las propiedades físicas y mecánicas de la roca, las características de las discontinuidades y en general las características del macizo rocoso (roca + discontinuidades); es decir, realizar una caracterización geomecánica del macizo rocoso. Esto para tener conocimiento pleno del terreno sobre el cual se desea ejecutar trabajos de ingeniería. (Velásquez Andahua, 2017)

La realización del presente trabajo de investigación se sustenta para el caso particular del diseño de taludes sobre el macizo rocoso; es necesario realizar una clasificación geomecánica (basándonos en los parámetros obtenidos de la caracterización del macizo mediante la

clasificación geomecánica RMR); y como resultado aplicar el SMR (Slope Mass Rating) para anticiparse al comportamiento que tendrán los taludes y de esta manera aportar información valiosa para el diseño óptimo que minimice cualquier riesgo de inestabilidad que podría presentarse.

Este talud en particular en el tramo crítico ubicado entre los KM 34+600 y KM 36+000 se ubica en ladera y con pendiente hacia el valle en V, que debido a la pendiente del terreno, existe drenaje de las aguas temporales o de lluvias que favorecen los deslizamientos al saturarse en sus masas que luego adquiere su mayor peso a medida que se va acumulando de agua y acompañado con la pendiente del terreno que produce el movimiento por efecto de la gravedad.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la investigación.

La estabilidad de taludes se evalúa mediante diversos parámetros como (Morales Cárdenas, 2009) En su tesis de Título “Caracterización geotécnica y determinación de ángulos de talud en yacimiento franke” afirma: “Una etapa fundamental de todo proyecto minero a cielo abierto considera llevar a cabo la caracterización geológico-geotécnica del macizo rocoso y la evaluación de los ángulos de talud. (...) Con respecto al Método Romana (SMR), este índice se presenta como un método óptimo, debido a que considera la orientación de los planos de discontinuidad con respecto a la cara del talud.” (p. 3 y 15).

En el mismo trabajo (Morales Cárdenas, 2009) En su tesis de Título “Caracterización geotécnica y determinación de ángulos de talud en yacimiento franke” se trata de un proyecto que sugiere La existencia de diferentes apreciaciones de RMR y GSI que sugiere un estudio constante y se recomienda además realizar perfiles con la distribución del RMR en profundidad y correlaciones dichas zonas con los entregados para el GSI.

También la estabilidad de taludes se evalúa mediante diversos parámetros de resistencia de la matriz rocosa como (Geología de Mallorca, 2006) En su estudio de Título “Estudio estabilidad de taludes Talud 2 cantera coma de s'aigua, (CAMPANET) Exp.1304/06” afirma:

La resistencia de la matriz ha sido medida in situ con la ayuda de un esclerómetro (ver fichas de las estaciones geomecánicas en anexos).

El esclerómetro o martillo Schmidt consiste en un pequeño aparato cilíndrico que posee un muelle en su interior y una punta retráctil. Al presionar dicha punta contra la roca el muelle se dispara y sufre un rebote que queda reflejado en una escala lateral.

En cada punto ensayado se toman varias medidas del rebote, eliminándose las más bajas y haciendo una media con las demás.

El valor del rebote, también llamado dureza Schmidt es correlacionable con la resistencia a compresión simple de la matriz rocosa. (pág. 17)

Los métodos numéricos en mecánica de rocas toman en cuenta, cada vez más con exactitud, las características reales de los macizos rocosos. Haciendo que este cálculo sea muy útil e importante. Como (Nunez,

Gavilanes Jiménez, & Fontoura, 2000) en el artículo “Análisis de la estabilidad de taludes mineros por métodos numéricos” afirma:

Algunas metodologías vienen siendo empleadas para la evaluación de la estabilidad y el comportamiento de taludes, como por ejemplo métodos de clasificación de macizos rocosos, método de equilibrio límite, métodos numéricos, análisis probabilísticos e instrumentación geotécnica (monitoreos). De todas estas categorías existe una significativa cantidad de trabajos que abordan la estabilidad a partir de métodos de equilibrio límite a pesar de que los factores de seguridad son sensibles a pequeños cambios de los parámetros de resistencia y de que este tipo de metodología no llevan en cuenta el estado de tensiones iniciales, ni el mecanismo de rotura y ni la variación de tensiones a lo largo de la superficie potencial de rotura.

Bajo estas limitaciones, la modelización numérica surge como una alternativa para el análisis de la estabilidad del talud, sobre todo considerando los avances tecnológicos ocurridos en la última década. La aplicación de esta técnica en obras civiles y de minería presenta varias ventajas, dentro de las cuales se pueden destacar: (i) previsión de los mecanismos de rotura, (ii) obtención de las tensiones y deformaciones en diferentes puntos a lo largo del talud, (iii) análisis de la estabilidad en función de diferentes modelos constitutivos, (iv)

realización de estudios paramétricos de las propiedades elásticas y de resistencia de la roca. (pág. 1)

Para realizar el análisis tridimensional de familias de discontinuidades, se hace este tipo de proyección en el plano bidimensional. Para lo cual existen dos tipos de proyecciones esféricas: La red estereográfica de Lambert o Schmidt, y la proyección de Wulff. Como (Armas Sagoya, 2004), En su tesis de Título “Cartografía geológica estructural del valle de Huizachal, como base para el análisis de estabilidad del talud de la carretera, Rumbo Nuevo, México” afirma:

En el análisis de macizos rocosos, los cuales presentan sistemas de fracturamiento, se puede decir que están formados por bloques de roca delimitados por un sistema tridimensional de planos de discontinuidad. Se entiende por discontinuidad a todas aquellas estructuras (fallas, fracturas, diaclasas, estratificaciones, foliaciones, etc.) que forman dichos planos, los que comúnmente se conoce como fabrica estructural del macizo rocoso. Normalmente este tipo de discontinuidades son producto del tectonismo a la que fue sujeta la roca en un estado inicial de esfuerzos. Dependiendo de la orientación de estos se tiene un patrón de fracturamiento que delimitara los bloques en cuestión. Analizar la estabilidad de un talud realizado en macizos rocosos fracturados, es parte de dos procesos.

El primero es analizar la fábrica estructural del corte realizado para determinar si la orientación de las discontinuidades podría resultar en inestabilidad del talud bajo consideración. Esta determinación es realizada por medio de análisis estereográfico de la fábrica estructural que se denomina Análisis Cinemática (Piteau y Peckover, 1978). Ya que ha sido determinada la cinemática en la cual se tiene posibilidad de falla del talud, el segundo paso requiere un análisis de estabilidad por Equilibrio Limite para comparar las fuerzas resistentes a la falla contra las fuerzas causantes de la falla del talud. El rango entre estos dos sistemas de fuerzas se denomina como Factor de Seguridad FS. (pág. 32)

2.2. Bases teóricas.

La mayor parte de los problemas de taludes en roca se producen en las explotaciones de minería a cielo abierto y en los desmontes que se hacen en la construcción de carreteras y ferrocarriles. El estado tecnológico actual relacionado con el problema de los taludes no es satisfactorio. No obstante se pueden estudiar muchos aspectos del mismo, y en el caso de rocas incompetentes pueden hallarse ángulos de talud crítico; en cambio en rocas duras no es posible aun prever la rotura de los taludes, ni siquiera existe un procedimiento racional comprobado para el cálculo de los mismos. (Coates, 1997)

Casi todas las fallas de taludes en roca se producen a lo largo de fallas pre-existentes, determinadas como discontinuidades o planos de debilidad, tales como una falla o una zona de cizalla, por ejemplo. En los problemas de estabilidad de taludes en roca, la falla real o superficie de deslizamiento depende de la orientación espacial, la frecuencia y distribución de las discontinuidades, y la resistencia al corte a lo largo de las discontinuidades. Tras el corte, la formación rocosa geológica se desbloquea, lo que resulta en el deslizamiento. (Jumikis, 1983)

2.1.1. Métodos de clasificación del macizo rocoso.

Debido a la complejidad que presentan los macizos rocosos, se emplean diferentes métodos de clasificación del macizo rocoso los cuales están basados en parámetros cualitativos y cuantitativos, por ello se hace muy importante una interpretación correcta, de las observaciones In Situ.

Para la caracterización del macizo rocoso en esta tesis, utilizaremos las clasificaciones geomecánicas **RMR** (Rock Mass Rating) de Bieniawski y **SMR** (Slope Mass Rating) de Romana, los cuales serán analizados en el Capítulo III “3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos”

2.1.2. Mecánica del macizo rocoso.

La Mecánica de Rocas ciencia teórica y práctica estudia las propiedades y comportamiento mecánico del macizo rocoso, y su comportamiento frente a la acción de fuerzas aplicadas en su entorno físico.

(Suárez-Burgoa, 2014), menciona: “Describir es el proceso de explicar en forma detallada, las cualidades, características o circunstancias de algún fenómeno u objeto mediante un proceso de observación de determinados atributos peculiares, dentro de un marco conceptual pre-establecido. El objetivo de la descripción es que el fenómeno u objeto se distinga de forma clara respecto los otros.

Caracterizar es el proceso de describir la condición del fenómeno u objeto y asignarle una clase a los diferentes aspectos que aquello presenta. La caracterización y la descripción están en una frontera conceptual ambigua, pero en definitiva caracterizar implica hacer algo más que solo describir, implica: definir clases y formular su estructura, relaciones y reglas entre clases.

Sin embargo, la caracterización no es a priori una clasificación. El requisito lógico de una clasificación es de ser una caracterización exhaustiva y mutuamente exclusiva, es decir que cada objeto en ella debe pertenecer a una sola y única clase. Este requisito es muy difícil de

cumplir en materiales tan complejos como los macizos rocosos; y es por ello que pese a que muchos profesionales hablan de una clasificación de macizos rocosos, en la realidad y hasta ahora no existe tal clasificación para estos materiales que cumpla con las reglas esenciales de la taxonomía (lo que sí se cumple para el caso del material rocoso).

2.1.3. Criterios de rotura

Criterio de rotura es una relación entre tensiones que permite predecir la resistencia de una roca sometida a un campo tensional. En general, los criterios de rotura se refieren a la resistencia de pico aunque también se pueden emplear para la resistencia residual. Los criterios de rotura más utilizados en mecánica de rocas son los de Mohr-Coulomb y Hoek-Brown (1980). (Ramírez Oyanguren & Alejano Monge, 2004, pág. 56)

- Criterio de rotura de Mohr-Coulomb
- Criterio de rotura de Hoek-Brown

2.1.3.1. Criterio de rotura de Mohr-Coulomb

Postula que la resistencia al corte de las rocas tiene dos componentes: cohesión y fricción, siendo esta última dependiente de la tensión efectiva normal sobre el plano de rotura.

Según esta teoría la resistencia al corte que puede desarrollar una roca en un plano que forma un ángulo β con la tensión principal menor, σ_3 , (ver Figura 2.0.) se puede expresar mediante la fórmula:

$$\tau = c + \sigma'_n \tan \phi \quad \dots\dots\dots (1)$$

donde,

- τ = resistencia al corte
- c = cohesión
- σ'_n = tensión efectiva normal
- ϕ = ángulo de fricción

Si la roca está sometida a tracción en lugar de a cortante, su resistencia estará determinada por el resultado de los ensayos de tracción realizados en el laboratorio con probetas de la roca en cuestión.

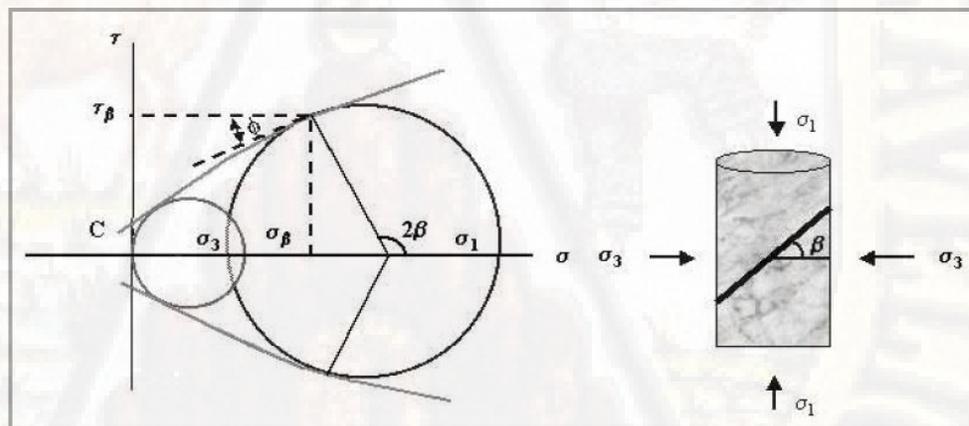


Figura 2. Criterio de rotura de Mohr - Coulomb

Con las tensiones efectivas principales calculadas se pueden obtener las tensiones normal y tangencial en el plano de rotura con la ayuda de la Figura 3.0., mediante las siguientes fórmulas:

$$\sigma'_n = \frac{1}{2}(\sigma'_1 + \sigma'_3) - \frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_3) \cos 2\beta \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\tau = \frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_3) \sin 2\beta \quad \dots\dots\dots(3)$$

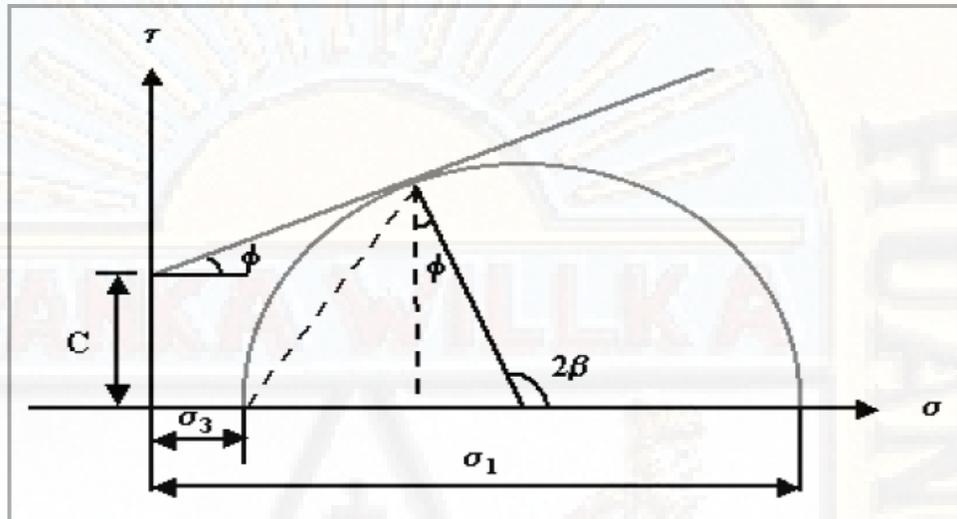


Figura 3. Relación entre tensiones principales y cortantes en el criterio de rotura de Mohr-Coulomb.

La construcción del círculo de Mohr en la Figura 3.0.muestra que:

$$\beta = \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \quad \dots\dots\dots(4)$$

Llevando las ecuaciones (2), (3) y (4) a la ecuación (1), se obtiene el criterio de rotura de Mohr-Coulomb expresado en función de las tensiones principales:

$$\sigma'_1 = \frac{2c \cos \phi}{1 - \text{sen } \phi} + \frac{1 + \text{sen } \phi}{1 - \text{sen } \phi} \sigma'_3 \quad \dots\dots\dots(5)$$

De esta fórmula se deduce el valor de la resistencia a compresión uniaxial (UCS) de la roca en función de la cohesión y la fricción:

$$R_0 = \frac{2c \cos \phi}{1 - \sin \phi} \dots\dots\dots(6)$$

La ausencia de la tensión principal intermedia en éste y en otros criterios de rotura se debe a que se ha demostrado que su influencia en la resistencia de la roca es prácticamente despreciable.

Este criterio de rotura supone que la envolvente de los círculos de Mohr correspondientes a las combinaciones críticas de las tensiones principales, o sea, las que dan lugar a la rotura, es lineal. El criterio de Mohr-Coulomb puede ser utilizado para definir tanto la resistencia de pico como la residual. Según este criterio, la rotura se produce cuando, como se expuso anteriormente, la tensión cortante aplicada a la roca iguala a la resistencia friccional de la misma, asociada con la tensión normal en el plano de rotura, más la cohesión. Como no sería razonable extrapolar esta teoría a un caso de tensión normal negativa, pierde su significado cuando la roca se somete a tracción. Por este motivo, cuando se extrapola la recta de Mohr-Coulomb a la región de tensiones normales negativas, es aconsejable interrumpirla al llegar a un valor de σ_3 igual a la resistencia a tracción de la roca obtenida a partir de ensayos de laboratorio (ver Figura 4.0.).

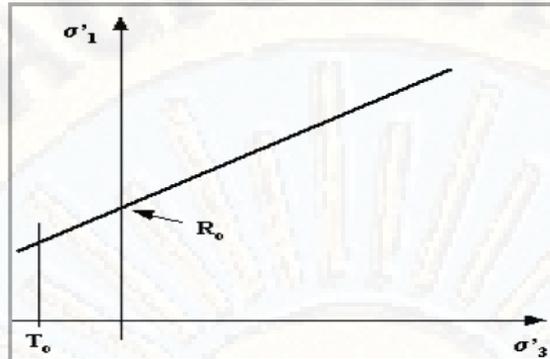


Figura 4. Extrapolación de la recta de Mohr-Coulomb a la región de tensiones de confinamiento negativas.

Para representar el criterio de Mohr-Coulomb hay que ajustar una recta que sea tangente a los círculos de rotura obtenidos mediante los ensayos triaxiales. Debido a que diversos factores, inherentes a las rocas y a los propios ensayos, introducen errores en los resultados de éstos, el ajuste no suele tener una solución matemática exacta, ya que habrá círculos de Mohr que son cortados por la recta de Mohr-Coulomb y otros que se aproximen a ella sin ser tangentes ni secantes.

2.1.3.2. Criterio de rotura de Hoek-Brown generalizado (2002)

La ingente aplicación práctica del criterio de Hoek-Brown en la ingeniería práctica de macizos rocosos durante las décadas de los 80 y los 90, llevó a que se pusieran de manifiesto problemáticas en lo que concierne por ejemplo a su utilización para macizos rocosos de mala calidad, etc. Esto fue llevando a los autores a ir realizando actualizaciones periódicas para

ir superando estos desajustes de las cuales las dos últimas versiones serían Hoek y Brown(1998) y Hoek et al. (2002).

Éste se expresa como:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \dots\dots\dots (14)$$

Donde m_b es el valor reducido de la constante del material m_i y está dado por:

$$m_b = m_i \exp \left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D} \right) \dots\dots\dots (15)$$

s y a son constantes del macizo rocoso dadas por las siguientes relaciones:

$$s = \exp \left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D} \right) \dots\dots\dots (16)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right) \dots\dots\dots (17)$$

“ D es un factor que depende sobre todo del grado de alteración al que ha sido sometido el macizo rocoso por los efectos de las voladuras o por la relajación de esfuerzos. Varía desde 0 para macizos rocosos *in situ* inalterados hasta 1 para macizos rocosos muy alterados” (Hoek, Carranza-Torres, & Corkum, 2002, pág. 2)

La resistencia a compresión uniaxial (simple) del macizo rocoso propiamente dicho se podrá obtener haciendo $\sigma' = 0$, en la ecuación 14 dando así:

$$\sigma_c = \sigma_{ci} s^a \dots\dots\dots(18)$$

y siendo la resistencia a tracción biaxial del macizo rocoso:

$$\sigma_t = -\frac{s\sigma_{ci}}{m_b} \dots\dots\dots(19)$$

La ecuación 19 se obtiene haciendo $\sigma' = \sigma' = \sigma_t$ en la ecuación 14. Esto representa una condición de tensión biaxial. Hoek mostró que para materiales frágiles, la resistencia a tracción uniaxial es igual a la resistencia a tracción biaxial.

El parámetro D, grado de alteración (Disturbance Factor), que determinará la resistencia del macizo se podría estimar de acuerdo con Hoek et al. (2002) de acuerdo con la Tabla 4.1. propuesta a partir de la experiencia en diseño de túneles y taludes de múltiples autores. Los resultados que en ella se indican son estimativos.

Tabla 1 Guía para valorar el factor de alteración D.

Apariencia del macizo rocoso	Descripción del macizo rocoso	Valor <i>D</i> sugerido
	Excelente calidad de voladura controlada o excavación con tuneladora, TBM, con resultados de alteración mínima del macizo rocoso confinado circundante al túnel	<i>D</i> = 0
	Excavación mecánica o manual en macizos rocosos de mala calidad (sin voladuras) con una alteración mínima en el macizo rocoso circundante. Cuando aparezcan problemas de deformación en el piso durante el avance, la alteración puede ser severa a menos que se coloque una contrabóveda temporal, tal como se muestra en la fotografía.	<i>D</i> = 0 <i>D</i> = 0.5 No invert
	Voladura de muy mala calidad en un túnel en roca competente con daños locales severos, extendiéndose 2 o 3 m en el macizo rocoso circundante.	<i>D</i> = 0.8
	Pequeñas voladuras en taludes de ingeniería civil dan lugar a pequeños daños al macizo rocoso, particularmente si se usan voladuras de contorno como se muestra en el lado izquierdo de la fotografía. Sin embargo la liberación de tensiones resulta en alguna alteración.	<i>D</i> = 0.7 Good blasting <i>D</i> = 1.0 Poor blasting
	Los taludes en las grandes minas a cielo abierto sufren alteraciones significativas debido a las grandes voladuras de producción y también debido a la relajación de tensiones al retirar el estéril de recubrimiento. En algunas rocas blandas la excavación puede llevarse a cabo mediante el ripado y empuje con tractores de orugas y el grado de afección a los taludes será menor.	<i>D</i> = 1.0 Production blasting <i>D</i> = 0.7 Mechanical excavation

2.1.4. Mecanismo de rotura del macizo rocoso en Taludes

El mecanismo de rotura describe el proceso físico que se produce en el macizo rocoso de un talud cuando se incrementa la carga sobre este y/o con la disminución de la resistencia y cuando el movimiento empieza y se

propaga a lo largo del talud inestable, se produce cuando una parte del macizo rocoso se mueve considerablemente en relación a otra que permanece estable. Delimitadas por superficies de deslizamiento.

Se tienen diferentes mecanismos de rotura en el macizo rocoso estos son:

- Rotura por esfuerzo cortante.
- Rotura por compresión.
- Rotura por flexión.
- Rotura por tracción.
- Rotura por colapso.

Estos distintos mecanismos de rotura del macizo rocoso dependen de los siguientes factores:

- Presencia o ausencia de las discontinuidades.
- Orientación de los planos de discontinuidades en relación con la cara exterior del talud.
- Espaciamiento de las discontinuidades en una, dos y tres dimensiones.
- La resistencia al corte de las paredes de discontinuidades.
- La continuidad de sus discontinuidades.
- La influencia del agua.

2.1.4.1. Tipos de rotura desde el punto de vista del mecanismo.

El material (Roca, Suelos o combinaciones) en la cabecera de los taludes tiende a deslizarse por efectos de la gravedad hacia niveles más bajos, implica movimiento de masas de roca o suelo con una o más superficies de rotura con deformación de cizalla el cual es denominado deslizamiento.

(Ramírez Oyanguren & Alejano Monge, 2004) afirman:

Desde el punto de vista mecánico, las clases de roturas que se suelen producir mayoritariamente en los taludes en roca se pueden dividir en cuatro grupos, a saber:

- ✓ Roturas por deslizamiento según uno o varios planos de discontinuidad que afloran en el talud y que incluirán las roturas plana y en cuña.
- ✓ Roturas por movimiento relativo de bloques a través de planos de discontinuidad preexistentes que no afloren necesariamente y que incluirán las roturas por vuelco, algunas roturas que siguen discontinuidades paralelas al talud y las roturas de varios bloques.
- ✓ Roturas producidas parte por deslizamiento a lo largo de planos de discontinuidad y parte por rotura de la roca y que incluirán las roturas en escalón, roturas mixtas, roturas complejas (como roturas

por deslizamiento y vuelco o el denominado “kink-band slumping”) y otras roturas que siguen parcialmente discontinuidades paralelas al talud (como la rotura por pandeo).

- ✓ Roturas que se producen siguiendo una superficie circular, sin relación importante con los planos de junta, y que en términos generales se denominan roturas circulares. (pág. 264)

Los mecanismos de rotura que se producen en taludes frecuente son:

a. Fallas con control estructural.

Falla plana.

Se entiende por falla plana, como aquella en el que el deslizamiento de un bloque de roca a lo largo de una superficie de discontinuidad. Es la más sencilla de las formas de rotura posibles se genera cuando existe una fractura dominante en el macizo y convenientemente orientada respecto al talud. La representación semiesférica en la red de Schmidt de esta condición se observa en la Figura 7., 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 GeoMinero de España, 1987).

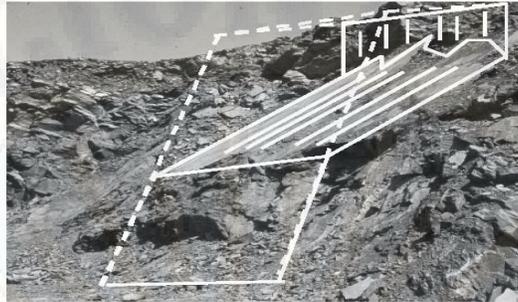


Figura 5. Foto y esquema, Rotura plana.

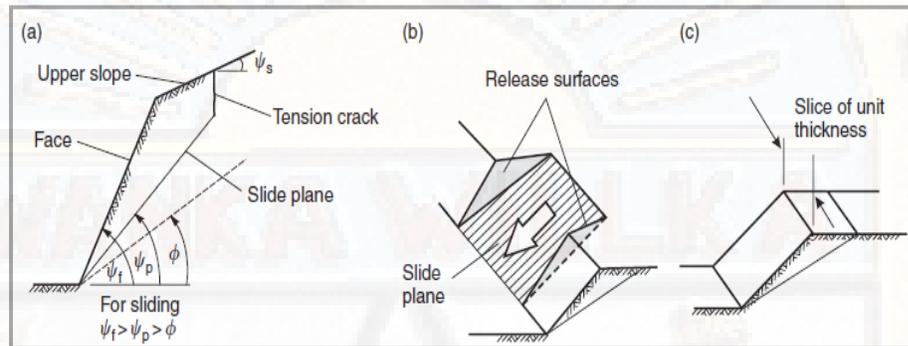


Figura 6. Geometría y pendiente de falla plana: (a) sección transversal que muestra planos inclinados que forman una falla plana; (b) superficies libres en los extremos de la falla plana; (c) Espesor de la unidad utilizada en el análisis de estabilidad. Fuente: Wyllie&Mah, 2004.

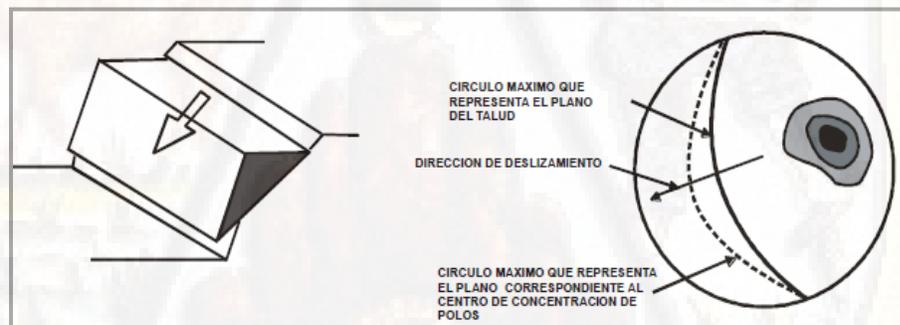


Figura 7. Disposición de discontinuidades en el estereograma para un modo de falla plana.

Falla en cuña.

Se llama rotura por cuña a aquella producida a través de dos discontinuidades dispuestas oblicuamente a la superficie del talud, con la línea de intersección de ambas aflorando en la superficie del mismo y

buzando en sentido desfavorable. (Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1987) Se ilustra este mecanismo en la figura 9.

Figura 8. Foto y esquema, Rotura en cuña.

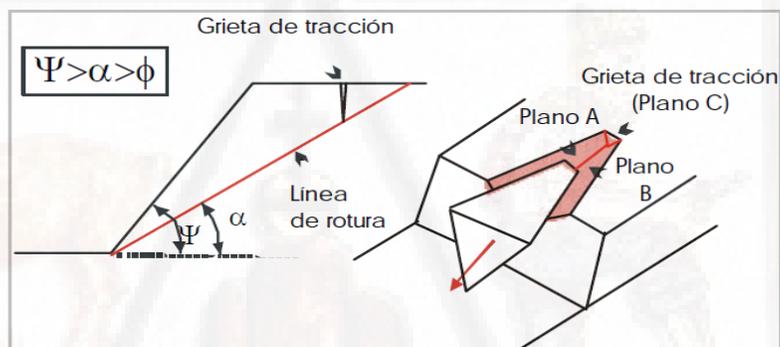


Figura 9. Condición geométrica de falla en cuña.

Que debe cumplir la condición $\psi > \alpha > \phi$

Dónde:

- ψ - pendiente del talud,
- α_s - ángulo de la línea de intersección,
- ϕ - rozamiento interno del material.

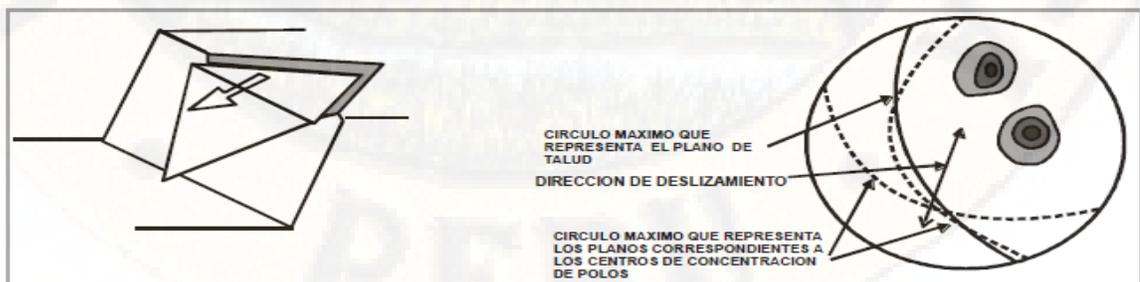


Figura 10. Disposición de discontinuidades en el estereograma para un modo de falla por cuña.

Falla por vuelco.

Para que se produzca en un talud el fenómeno de vuelco, también conocido como "cabeceo", o a menudo con la denominación inglesa "toppling", es necesario que exista una familia de discontinuidades que siendo paralelas tengan casi el mismo rumbo que el talud, con buzamiento alto y orientación hacia el interior del talud.

El vuelco conlleva la rotación de los bloques o columnas, en torno de una base fija bajo la acción gravitatoria o presión de agua en las discontinuidades. Implica que un estrato tiende a quedar colgado y soportado por la resistencia pasiva de las capas de la base del talud.

(Melentijevic, 2005)

Goodman&Bray (1976) cifran en $\pm 10^\circ$ la diferencia máxima entre ambos para que se produzca el fenómeno. Las roturas por vuelco pueden manifestarse a cualquier escala y en casi todo tipo de roca, incluso pueden ser profundas y grandes. Pueden incluir también roca bastante sana. Ocurren tanto en taludes naturales como en taludes excavados, en desmontes en obras civiles o cortas mineras.



Figura 11. Foto y esquema, Rotura por vuelco



Figura 12. Disposición de discontinuidades en el estereograma para un modo de falla por vuelco de bloques.

b. Fallas sin control estructural.

Caída de rocas.

Es el tipo de falla más simple, y sucede cuando una roca suelta, o varias, se movilizan producto de una pequeña perturbación que hace cambiar su estado desde reposo a movimiento, rodando por el talud hasta quedar detenida. Su predicción es muy difícil y por tanto se recurre comúnmente a métodos de contención de rocas en la caída más que al modelamiento de la falla misma, por lo tanto modelos de simulación de caída relativas de rocas sueltas son capaces de

producir razonablemente exactas predicciones de trayectorias de caída de rocas. (Ramírez Oyanguren & Alejano Monge, 2004)

Falla circular. También conocida como deslizamiento o rotura rotacional, es producida por muchos sets de fallas, las cuales tienen distintos rumbos y manteos, y dejan la roca muy fracturada, perdiendo la cohesión. Por la cantidad de fracturas, el macizo rocoso se transforma en una especie de gravilla, la que desliza por la cara del talud, tal como se muestra en la Figura 14. Esta aproximación de rotura se hace cuando no es posible determinar la familia de discontinuidades que controla la inestabilidad (Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1987).



Figura 13. Foto, Rotura circular (Wyllie&Mah, 2004)

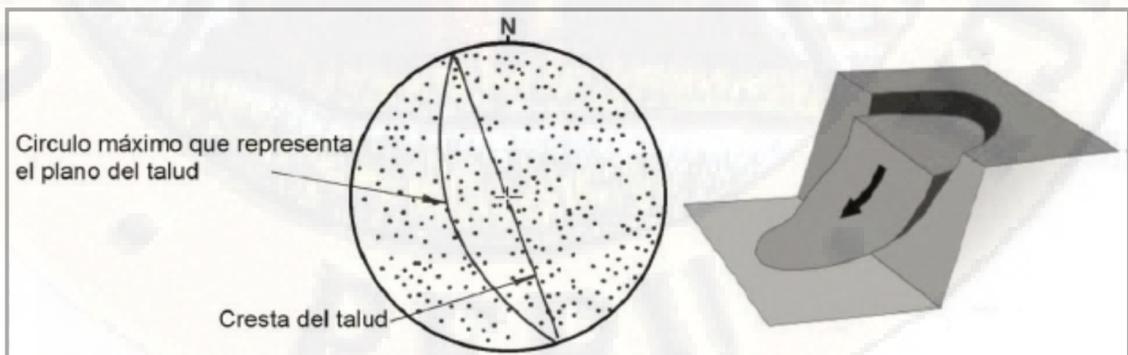
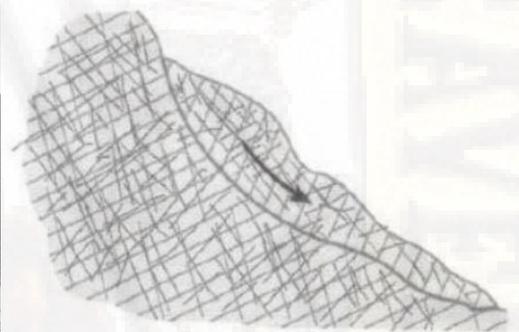


Figura 14. Disposición de discontinuidades en el estereograma para modo de falla circular

2.1.5. Análisis de estabilidad de Taludes.

“Para resolver un problema de estabilidad es necesario tener en cuenta las ecuaciones de campo y los vínculos constitutivos. Las primeras tienen que ver con el equilibrio, mientras que los vínculos describen el comportamiento del terreno” (Catanzariti, 2016, pág. 1).

Existen métodos de cálculo para evaluar la estabilidad de un talud buscan determinar el factor de seguridad (FS) del mismo y se clasifican en dos grupos:

- ✓ Métodos de cálculo de deformaciones,
- ✓ Métodos de equilibrio límite.

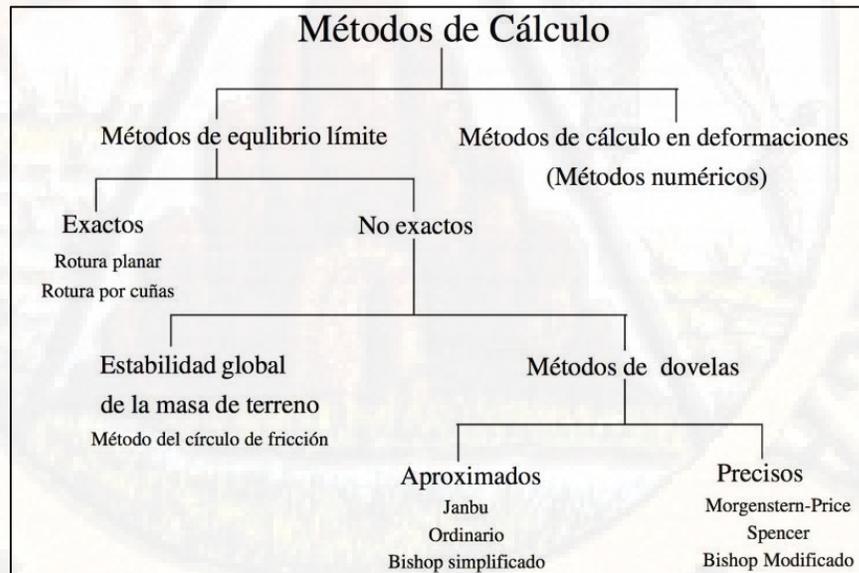


Figura 15. Esquema métodos de cálculo para estabilidad de taludes.

2.1.5.1. Métodos de cálculo de deformaciones.

Consideran el cálculo de las deformaciones del terreno, además de las leyes de la estática. Su aplicación práctica es de gran complejidad y el problema debe estudiarse usando métodos de elementos finitos u otras soluciones numéricas. (Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1987, pág. 187)

2.1.5.2. Métodos de equilibrio límite.

Se basan exclusivamente en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable. No tienen en cuenta deformaciones del terreno y suponen que la resistencia al corte se moviliza total y simultáneamente a lo largo de la superficie de corte. Se pueden clasificar en métodos exactos y métodos no exactos. (Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1987, pág. 187)

a. Métodos Exactos.

Arrojan una solución exacta al problema, solo posible en los casos de geometría marcada como las roturas planares o en cuña.

- Modelo estructural determinístico
- Modelo estructural probabilístico.

b. Métodos no Exactos.

- El método de Morgenstern-Price (1965)
- El método de Spencer (1967)
- El método ordinario de Fellenius (1927)
- El método simplificado de Bishop (1955)
- El método de Janbu (1954)

2.1.6. Factor de seguridad

Se define el factor de seguridad F_s (Ayala Carcedo & Andreu Possé, 1984), como el valor que cuantifica la diferencia entre las condiciones reales que presenta el talud, y las condiciones que llevan a su rotura. Este parámetro es el coeficiente mínimo de todos los coeficientes de seguridad asociados a todas las curvas de deslizamiento posibles en la sección del talud estudiado. El factor de seguridad se determina como el cociente entre las fuerzas que se oponen al deslizamiento, y las que inducen al deslizamiento (Shutton, 1989), conforme a la ecuación (20).

$$FS = \frac{\Sigma(\text{Fuerzas que se oponen al deslizamiento})}{\Sigma(\text{Fuerzas que inducen el deslizamiento})} \dots\dots\dots (20)$$

El análisis de los mecanismos de falla en taludes nos permitirá calcular el factor de seguridad, el que a su vez entrega la condición mínima segura para la inclinación de la cara del talud.

Cuando el factor de seguridad F_s es inferior a 1 (fuerzas estabilizadoras < fuerzas desestabilizadoras); si es igual a 1 se habla de “equilibrio estricto” y si es mayor que 1, el talud es estable y por tanto bastaría con protegerlo de la erosión o de otros agentes externos desestabilizadores (como el ingreso de agua).

(González de Vallejo, 2002) afirma:

Se debe elegir un coeficiente de seguridad adecuado, dependiendo de la finalidad de la excavación y del carácter temporal o definitivo del talud, combinando los aspectos de seguridad, costes de ejecución, consecuencias o riesgos que podría causar su rotura, etc. Para taludes permanentes, el coeficiente de seguridad a adoptar debe ser igual o superior a 1.5, e incluso 2.0, dependiendo de la seguridad exigida y de la confianza que se tenga en los datos geotécnicos que intervienen en los cálculos; para taludes temporales el factor de seguridad está en torno a 1,3, pero en ocasiones pueden adoptarse valores inferiores. (pág. 445)

Sin embargo el valor del coeficiente de seguridad de un talud se sobreestima siempre y cuando se emplea la hipótesis de la ley de fluencia asociada tanto bajo un criterio de rotura lineal, como bajo un criterio de rotura no lineal. (Melentijevic, 2005)

2.1.7. Diseño de taludes.²

El resultado de la recolección de datos geotécnicos y caracterización del macizo rocoso; se constituye en los datos de ingreso para esta etapa del modelo de gestión de taludes.

La geología estructural, litología y otros aspectos geológicos relacionados al mecanismo de falla, las propiedades físico -mecánicas de la roca o suelo y la influencia del agua subterránea son datos esenciales de entrada, para un adecuado y eficiente diseño de taludes.

Generalmente dependiendo de la magnitud del problema de taludes; se construyen sectores o dominios lito-estructurales del talud para un análisis y diseño óptimo, dentro de cada sector, la resistencia de la roca, las estructuras geológicas y otros factores son más o menos uniformes.

El análisis y diseño de taludes depende de la geometría del talud y la relación entre la carga que tiende a producir la inestabilidad y la resistencia de la roca o suelo en contra de la falla.

El objetivo es encontrar una configuración óptima que ofrezca seguridad y rendimiento económico del talud; así como mínimo riesgo de impacto ambiental. El diseño dependerá en gran medida de la calidad de datos de entrada.

²(Morales Cabrera, 2000)

2.1.7.1. Diseño de bancos.

Para realizar el diseño de los bancos se tomará en cuenta un análisis probabilístico de las posibles fallas de tipo cuña y planares. Este análisis considera la posibilidad de que cada discontinuidad registrada en un dominio estructural tiene una probabilidad de 100% a formar una cuña con otra discontinuidad de ese mismo sector, además se analiza las posibles fallas de tipo planar. De todas las posibles cuñas que se forman en un sector se calcula la probabilidad de falla para cada ángulo de banco.

2.3. Definición de términos.

➤ Afloramiento.

Parte de una formación o una estructura geológica que se presenta en la superficie de la Tierra; también, el sustrato rocoso que está cubierto solamente por depósitos superficiales, tales como un aluvión.

➤ Alteración.

La alteración de la roca o más propiamente dicha, alteración hidrotermal, se produce por la ascensión de fluidos o gases magmáticos a altas temperaturas a través de fracturas o zonas de falla. Éstos afectan a los rellenos de las zonas de falla y sus cajas, originando reemplazamientos y

rellenos, que modifican las condiciones del macizo rocoso en los cuales se emplazan. Algunos tipos de alteración, como la silicificación y en menor grado la calcificación, mejoran las características de la masa rocosa, incluyendo las zonas de falla. Otros, como la propilitización, disminuyen levemente las condiciones debido a la presencia de cloritas en las paredes de las fracturas. La sericitización y la argilitización (aumento de minerales arcillosos) son las alteraciones más desfavorables para los macizos rocosos donde se emplazan. (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2004)

➤ **Buzamiento.**

Ángulo de inclinación que forma un filón, estructura o capa rocosa con un plano horizontal, medido perpendicularmente a la dirección o rumbo del filón.

➤ **Caracterización.**

Determinación de los atributos peculiares de un objeto, de modo tal que se distinga de los demás.

➤ **Caracterización geológica**

La caracterización geológica es la descripción de macizo rocoso donde se conocen los parámetros básicos de la roca y las discontinuidades, así como la estructura del macizo rocoso.

➤ **Deslizamiento**

Los deslizamientos son movimientos de masas de suelo o roca que deslizan, moviéndose relativamente respecto al sustrato, sobre una o varias superficies de rotura. (González de Vallejo, 2002).

➤ **Discontinuidad**

Cambio abrupto en las propiedades físicas de materiales adyacentes en el interior de la Tierra

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

➤ **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 el que desciende el plano” (Instituto Geológico y Minero de España, 2006).

➤ **Espaciamiento**

Distancia perpendicular entre dos discontinuidades adyacentes, normalmente se refiere al espaciamiento medio de una familia de discontinuidades. (Instituto Geológico y Minero de España, 2006)

➤ **Estabilidad**

Propiedad de un cuerpo de mantenerse en equilibrio estable o de volver a dicho estado tras sufrir una perturbación.

➤ **Macizo rocoso.**

“Es el medio in-situ que contiene diferentes tipos de discontinuidades como diaclasas, estratos, fallas y otros rasgos estructurales” (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2004).

➤ **Matriz rocosa.**

“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 comportamiento heterogéneo y anisótropo ligado a su fábrica y a su microestructura mineral” (González de Vallejo, 2002).

➤ **Meteorización.**

Denominada también intemperización, está relacionada con la modificación que sufre la superficie de la roca o en sus proximidades, debido a la acción de agentes atmosféricos. El grado de la meteorización dependerá de las condiciones climatológicas, morfológicas y la composición de la masa rocosa. La meteorización se divide en meteorización física, química y biológica. (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2004)

➤ **Orientación.**

“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).

➤ **Relleno**

Material que separa las paredes de una discontinuidad, normalmente más débil que la roca matriz.

➤ **Resistencia a compresión simple**

Es llamada también resistencia uniaxial y se define como el esfuerzo máximo que soporta la muestra de roca sometida a compresión uniaxial, la cual se determina a través de una probeta cilíndrica sin confinar en el laboratorio.

➤ **Resistencia de la discontinuidad**

Resistencia a la compresión de la superficie de discontinuidad, puede ser más baja que la resistencia de la roca matriz a causa de la meteorización de la misma.

➤ **Rugosidad**

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

➤ **Talud**

“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).

2.5. Formulación de hipótesis.

2.5.1. Hipótesis general

El análisis de estabilidad del talud en roca y el factor de seguridad, en la carretera Sarhua – Porta Cruz progresiva KM 35+000 - 2018, dan como resultado que el talud es inestable.

2.5.2. Hipótesis específico.

- El Factor de seguridad es valorada mediante la clasificación geomecánica **SMR**, para el talud en roca en la carretera Sarhua – Porta Cruz progresiva KM 35+000 - 2018.
- Utilizando el método de equilibrio limite encontramos el factor de seguridad para condiciones estática como pseudoestáticas, en el talud rocoso de la carretera Sarhua – Porta Cruz progresiva KM 35+000 - 2018.
- Con el método de equilibrio limite podemos proponer la geometría del talud estable, en el talud de la carretera Sarhua – Porta Cruz progresiva KM 35+000 – 2018.

2.6. Identificación de variables.

v1. Estabilidad del talud.

v2. Factor de seguridad.

2.7. Definición Operativa de variables e indicadores.

Tabla 2 Definición Operativa de variables e indicadores.

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Índices	Valor Final
V.1. Estabilidad del talud	La inestabilidad de un talud, se puede producir por diversas razones: - Geológicas - Hidrogeológicas - Obras de ingeniería - Serán estables o inestables dependiendo de la resistencia del material (roca) del que estén compuestos, y a empujes a los que son sometidos	D1: Características del talud	1: Geológico 2: propiedades físico mecánicas del maciso rocoso 3: Clasificación geomecánica RMR	- Estudio geológico, estratigrafía, hidrológicos, tectónica, sismicidad - Densidad, porosidad, absorción. - Ensayo de compresión uniaxial, Corte directo, Rebote del martillo de Schmidt. - Clasificación Geomecánica RMR, SMR. (UCS, RQD, Espaciamiento de las juntas, Condición de las juntas y Flujo de agua a través de las juntas)	
		D2: Proponer la geometría del talud estable	4: Geometría del talud	- Se propone una geometría del talud estable utilizando el método de equilibrio límite en el talud de la carretera. - Ángulo de inclinación del talud, altura del talud.	
V.2. Factor de seguridad.	Es el cociente entre el valor de fuerzas disponibles para resistir el movimiento de una porción de roca y el valor de las fuerzas que desequilibran el talud sobre la superficie de falla.	D3: Factor de seguridad mediante la clasificación geomecánica SMR,	5: Clasificación geomecánica SMR,	- Clasificación Geomecánica, SMR. (RMR, F1, F2, F3, F4)	Estable Parcialmente inestable Inestable
		D4: Factor de seguridad el método de Equilibrio limite.	6: Factor de seguridad	✓ Estudio del factor de seguridad para condiciones estática como pseudoestáticas, del talud rocoso.	F.S. <1 estable, F.S. >1 inestable

CAPITULO III

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.1. Tipo de la investigación.

La investigación es de tipo aplicada por que busca la generación de conocimiento con aplicación directa a los problemas de la sociedad esta se basa fundamentalmente en los hallazgos tecnológicos.

La investigación aplicada tiene por objetivo la generación de conocimientos con aplicación directa y a mediano plazo en la sociedad, Este tipo de estudio presenta un gran valor agregado para la utilización del conocimiento que proviene de la investigación básica.

3.2. Nivel de investigación.

La investigación es de nivel descriptivo por que se evalúa los diversos aspectos, dimensiones, componentes, características de las variables, en el trabajo se analiza la estabilidad del talud rocoso en la Carretera Sarhua - Portacruz, iniciándose con la caracterización geológica, geomecánica y geotécnica con el uso de las clasificaciones geomecánicas RMR y SMR, también será necesario conocer las propiedades mecánicas y físicas de las rocas, en laboratorio de Mecánica de Rocas, con esta base se lograra determinar la estabilidad del talud y valorar el Factor se

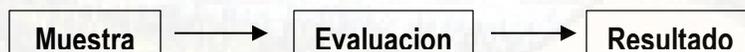
Seguridad, para luego elaborar el mapa geomecánico de la zona en estudio; transversal, porque se recolectó los datos en una sola medición; Prospectivo por que la toma de datos es planificada; observacional porque no se manipulará deliberadamente variables.

3.3. Método de investigación.

Método Científico. Utiliza como proceso lógico la Inducción y deducción, porque partimos de una serie de observaciones particulares al talud, desestructurando el macizo rocoso por partes, para ser analizado ordenadamente cada uno de ellos por separado, y permiten hacer conclusiones generales (estabilidad del talud y Factor de seguridad) para el talud en estudio.

3.4. Diseño de investigación.

Por las características de la investigación, el diseño corresponde al tipo **No Experimental-transversal** ya que no se manipula la variable independiente, limitándonos a observar lo que pasa, para luego analizarlos.



3.5. Población, muestra y muestreo.

3.5.1. Población.

El macizo rocoso en estudio posee las mismas características comunes observables en el lugar de estudio y en un momento determinado, sobre el que estamos interesados en obtener conclusiones.

Para el presente estudio de investigación, los datos fueron recabados en forma directa de la fuente primaria o campo, sobre el macizo rocoso de del talud de corte en la carretera sarhua – porta cruz, progresiva km 35+000, a través del contacto directo con el terreno al ser observado, descrito y registrado en los “Registros de observación”, previamente elaborados.

3.5.2. Muestra.

La muestra es un subconjunto fielmente representativo de la población.

El tipo de muestreo es **probabilístico, Sistemático**, Porque todos los sujetos que forman parte de una población tienen la misma probabilidad de ser escogidos como parte de la muestra. Sistemático por qué se empieza dividiendo el número total de observaciones que conforman la población entre el que se quiere utilizar para la muestra. Posteriormente se escoge un número al azar de entre los primeros y se va sumando de

forma constante este valor; los elementos seleccionados pasarán a formar parte de la muestra.

El muestreo se realizó utilizando las:

- **Características geométricas del talud**, alturas considerables, pendientes pronunciadas.
- **Parámetros del macizo rocoso**, resistencia de la matriz rocosa y discontinuidades.

El muestreo se realizó en el sector ñeccescca, que corresponden a la zona de estudio. Para registrar los datos, se identificó estructuralmente el macizo rocoso, el mapeo geomecánico, las características geométricas del talud, así como la toma de muestras para los ensayos de laboratorio, Se realizaron directamente sobre el talud.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

3.6.1. Técnicas.

La técnica de recolección de datos que se utilizó fue la Observación científica, porque la toma de datos se realizó en forma sistemática, controlada contando con mecanismos destinados a evitar errores de subjetividad, confusiones, etc.

Se describió la geometría del talud, luego se dividió el talud en ocho estaciones geomecánicas para mapear las estructuras geológicas, parámetros hidrogeológicos del macizo rocoso con el fin de caracterizar el macizo rocoso y poder clasificarlo geomecánicamente.

Se recolecto muestras de roca representativas en las estaciones geomecánicas, que posteriormente fueron llevados al laboratorio de mecánica de rocas de la UNSCH para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la matriz rocosa.

3.6.2. Instrumentos.

Los parámetros de observación y medición se obtuvieron en formatos de registro adecuados a las normas sugeridas por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM) y Working Party of the Geological Society (1977), propuesto por Bieniawski (1989). Los parámetros estudiados son:

1. Resistencia de la matriz rocosa (MPa)
2. Parámetro RQD
3. Separación entre diaclasas
4. Estado de las discontinuidades
5. Agua subterránea o freática

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

3.7.1. Geología.

3.7.1.1. Geomorfología³

En el área estudiada se han reconocido una unidad geomorfológica, en base principalmente de su altitud que les confiere características particulares (Fig. N° 16).

Valle interandino

Hacia las partes inferiores, los valles son profundos y encañonados, características, que reflejan una etapa de incisión de fondo muy activo, correspondiente a la etapa Cañón desarrollada en el orden de 600 a 1,000 metros verticales en los valles principales, donde las pendientes de los flancos tienen un promedio de 70 a 80%, con pisos de fuerte gradiente y anchos variables entre 100 y 5 00 m. A esta unidad pertenecen, casi en su totalidad, las cuencas de drenaje de los ríos Jatun Mayo, Caracha, Ghicha, Cangallo, Pampas y sus tributarios.

³(Geología de los cuadrangulos de Huancapi, Chincheros, Querobamba, y Chaviña, Hojas 28-ñ, 28-o, 29-o, 30-o, publicado por el INGEMMET (1996))

Las rocas se encuentran plegadas y falladas. Las estructuras tienen dirección predominante NO-SE, con excepción del sector central del cuadrángulo de Chincheros en donde los ejes de los pliegues se orientan según E-0, ingresando con esta dirección, coincidente con la deflexión de Abancay, al cuadrángulo de Andahuaylas. Maroco, R. (1975).

Las rocas más antiguas corresponden al Paleozoico inferior y se encuentran en parte metamorfizadas. Sobre ellas, descansa una gruesa serie de sedimentos continentales y marinos, depositados con algunas interrupciones entre el Pérrn.ico superior y el Cretáceo superior.

A partir del Cretáceo superior ocurrieron una serie de fases tectónicas correspondientes a la Orogenia Andina, acompañadas por sedimentación continental y volcanismo intenso, el mismo que se prolongó hasta el Cuaternario antiguo.

Los eventos mencionados, dieron lugar a un conjunto de unidades discordantes entre ellas, que cubrieron la mayor parte de la región y que sufrieron, al igual que las rocas más antiguas, períodos de intensa denudación desde los tiempos terciarios hasta la actualidad.

Las vulcanitas del Cretáceo superior-Paleógeno inferior, y las del Paleógeno medio a superior, yacen plegadas, en tanto que las series volcánicas del Plioceno Cuaternario se encuentran en posición horizontal

o subhorizontal, con excepción de los sectores correspondientes a los aparatos volcánicos en donde las capas periclinales tienen buzamientos más empinados.

Los materiales más modernos están representados por depósitos glaciares, fluvio-glaciares, aluviales y fluviales.

A continuación se detalla las descripciones estratigráficas de la que está conformada la zona en estudio.

- **Grupo Excelsior.**

Litológicamente, la secuencia está constituida por una interestratificación de esquistos areniscos gris verdosos a pardo rojizos, areniscas limolíticas finamente laminadas, cuarcitas grises estratificadas en bancos de 20 a 50 cm, con rodados y vetillas de cuarzo, y en menor proporción, lutitas pizarrosas, pizarras negras y esquistos micáceos.

Se presenta fuertemente replegada y afectada por un fracturamiento intenso, por la acción de eventos tectónicos polifásicos.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD	GROSOR APROX. EN M	COLUMNA	DESCRIPCION LITOLOGICA	
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	DEP. ALUVIAL DEP. COLLUVIAL			Bloques, gravas, arenas y limos no consolidados	
			DEP. FLUVIOGLACIAR			Bloques, gravas, arenas y limos ligeramente consolidados	
		PLEISTOCENO	DEP. MORRENICO				
			ALTA ERASMO	SUPERIOR	>600	T T T T T T T T	Tobas dacíticas blanca grisáceo a beige
	INFERIOR	>250	V V V V V V V V	Lavas andesíticas gris oscuras algo fluidales			
	NEOGENO	PUCOCHO	FM. MATA PUCOCHO	>150	T T T T T T T T	Areniscas tobáceas y conglomerados blancos a beige en bancos gruesos	
			FM. SENCCA	>300	V V V V V V V V	Intercalaciones de tobas dacíticas y riolíticas porfíricas, cremas, con estratos de areniscas tobáceas de grosor medio	
			FM. CAUDALOSA	>100	V V V V V V V V	Derrames andesíticos gris verdosos, aglomerados, piroclásticos y brechas	
		MOCCHO	FM. ANISO	>100	V V V V V V V V	Alternancia de areniscas tobáceas grises con areniscas conglomerádicas gris blanquecinas estratificadas en capas de grosor medio	
			FM. ALPABAMBA	>300	V V V V V V V V	Lavas dacíticas porfidobolíticas	
			GPO. TACAZA	± 400	V V V V V V V V	Lavas andesíticas gris oscuras intercaladas con areniscas y lutitas estratificadas en capas delgadas	
			FM. CASTROVIRREYNA	>150	V V V V V V V V	Tobas andesíticas blanco amarillentas con intercalaciones calcáreas, estratificadas en capas delgadas	
			FM. PUCOCHO	>300	T T T T T T T T	Derrames andesíticos y tobas andesíticas de grosor medio	
	PALEOGENO	OLIGOCENO	FM. PARA	>200	T T T T T T T T	Areniscas tobáceas en bancos gruesos y lutitas blanco amarillentas en capas delgadas	
FM. ANTA ANTA			>400	T T T T T T T T	Areniscas, areniscas calcáreas, limolitas y lutitas rojas estratificadas en capas delgadas		
MESOZOICO	CRETACEO	SUPERIOR	FM. FERROBAMBA	>900	T T T T T T T T	Calizas gris negruzcas estratificadas en bancos de 2 metros alternadas con areniscas calcáreas beige y lutitas estratificadas en capas delgadas	
			FM. MARA	>350	V V V V V V V V	Limolitas y lutitas rojo oscuras en capas delgadas intercaladas con areniscas blanco rojizas en bancos delgados	
		INFERIOR	FM. SORAYA	>350	V V V V V V V V	Areniscas cuarzosas blanco amarillentas estratificadas en bancos de 40 a 50 cm., intercalada con ortocuarcitas en menor proporción	
	JURASICO	SUPERIOR	FM. PAIRE	>300	T T T T T T T T	Calizas gris a gris claro estratificadas en bancos de 20 a 30 cm., intercaladas con lutitas y calizas arenáceas en capas delgadas	
			M. SAYHUA	>350	V V V V V V V V	Areniscas cuarzosas y ortocuarcitas en bancos de grosor medio intercaladas con areniscas calcáreas, lutitas y margas en menor proporción	
		M. PACCHA	>450	V V V V V V V V	Lutitas y margas en capas delgadas intercaladas con areniscas calcáreas, areniscas cuarzosas, limolitas y calizas en menor proporción		
		M. MINASCHAYOC	>300	V V V V V V V V	Areniscas cuarzosas gris a verdosas en bancos medianos, intercaladas con lutitas calcáreas en capas delgadas y areniscas en menor proporción		
		MEDIO	FM. SOCOSANI	>100	T T T T T T T T	Calizas masivas gris oscuras en bancos gruesos, calizas arenáceas de grosor medio y lutitas oscuras en capas delgadas	
	TRIASICO	SUPERIOR	GPO. PUCARA	>750	V V V V V V V V	Calizas gris oscuras en bancos gruesos, intercaladas con porciones subordinadas de areniscas, yeso y lutitas oscuras en capas delgadas	
			GPO. MITU	>800	V V V V V V V V	Conglomerados, areniscas rojas estratificadas en bancos de grosor medio, intercalados con lutitas rojas en bancos delgados, brechas y derrames lávicos andesíticos	
PALEOZOICO	DEVONIANO	MEDIO	GPO. EXCELSIOR		X X X X X X X X	Esquistos areniscos gris verdosos a pardo rojizos, arenas limolíticas finamente laminadas y cuarcitas grises estratificadas en bancos de 20 a 50 cm. Intraído por Granito Querobamba	

Figura 17. Columna estratigráfica generalizada de los cuadrángulos de Huancapi, Chincheros, Querobamba y Chaviña.

- **Grupo Mitu.**

En la zona en estudio, se encuentran rocas de carácter sedimentaria y volcánica que representan al grupo en referencia compuestos por roca como areniscas lutitas, conglomerados y rocas volcánicas representadas por las andesitas y riolitas.

Las rocas que conforman en la zona de estudio se encuentran fracturadas, lo cual hace suponer que fueron afectadas por actividades tectónicas en la zona.

- **Grupo Pucara.**

Este grupo litológicamente está representado y/o constituido por calizas grises, cuya estratificación es observada con espesores que varían de 0.0 a 1.00 metros; las mismas que están intercaladas con evaporitas.

- **Grupo Yura.**

Esta unidad de edad Jurásico superior-Cretáceo inferior, de amplitud regional, está representada por una serie sedimentaria de cerca de 2,000 m de lutitas, areniscas, cuarcitas y calizas en menor proporción, que aflora dentro del ámbito de los departamentos de Tacna, Arequipa, Ayacucho y Huancavelica.

El Grupo Yura está constituido por las formaciones Huacaña, Paire y Soraya.

- **Formación Huacaña.**

Litológicamente, la Formación Huacaña está constituida en su base por una parte inferior predominantemente lutácea, con algunas intercalaciones de areniscas cuarzosas y calcáreas en estratos delgados, que pasa hacia arriba a una secuencia consistente de areniscas calcáreas, margas y lutitas calcáreas. Hacia la parte alta predominan areniscas cuarcíticas dentro de las que se intercalan niveles delgados subordinados de lutitas y areniscas calcáreas.

• **Depósitos Cuaternarios.**

Suprayaciendo a las rocas que conforman el grupo Mitu, Pucara y yura se encuentran una variedad de depósitos cuaternarios, entre las cuales tenemos como las más importantes los depósitos coluviales y aluviales.

3.7.1.3. Clima

“El clima de la zona en estudio, como en la mayor parte de los andes peruanos, está caracterizado por la alternancia de una estación seca (Abril a Noviembre) y otra lluviosa (Diciembre a Marzo); las temperaturas oscilan entre 6 y 20 °c” (INGEMMET, 2016, pág. 8)

3.7.1.4. Hidrología

El área de estudio se encuentra ubicado dentro de la cuenca del río Pampas, pertenece al sistema hidrográfico de la vertiente del Atlántico, presenta una superficie de drenaje de 23 236,37 km², desde su nacimiento, en la Laguna Choclococha, a una altitud aproximada de 4 454 msnm., hasta su desembocadura en la margen izquierda del río Apurímac, a una altitud aproximada de 975 msnm. (Ministerio de Agricultura, Perú, pág. 6)

• Unidades Hidrográficas.

El sistema hidrográfico de la cuenca del río Pampas, está conformado por las Unidades Hidrográficas: Alto Pampas, Caracha, Sondondo, Chicha, Torobamba y Bajo Pampas.

Dentro de la unidad hidrográfica del río Caracha se encuentra ubicado el talud en roca motivo por el cual se realiza el estudio en esta tesis.

Precipitación media mensual en unidad hidrográfica de Caracha

La tabla resumen N°3. y figura N°19, muestra la variación de la precipitación media mensual en las subcuencas, se resalta la sub cuenca caracha.

Tabla 3. Variación de la precipitación media (mm/mes)

Subcuenca	ENE.	FEB	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
Alto Pampas	135.0	138.6	115.0	45.1	14.1	5.6	6.8	11.7	24.1	38.4	51.5	93.0
Bajo Pampas	136.0	136.0	124.7	43.8	15.7	9.7	9.2	17.4	30.8	54.6	70.8	92.7
Caracha	129.3	136.5	125.1	42.7	11.3	3.9	4.4	10.8	17.0	26.3	33.9	70.6
Chicha	145.1	150.3	142.8	46.8	14.1	8.0	11.3	18.9	30.2	48.7	56.7	90.3
Medio Pampas	147.6	154.3	135.3	45.8	14.9	7.4	9.9	19.0	31.4	51.7	60.9	92.6
Sonondo	124.1	135.0	124.7	43.5	13.3	5.9	9.5	13.5	22.5	31.1	37.7	73.0
Torobamba	124.3	122.9	112.7	39.5	16.0	7.5	8.3	12.7	30.0	46.6	59.8	87.7

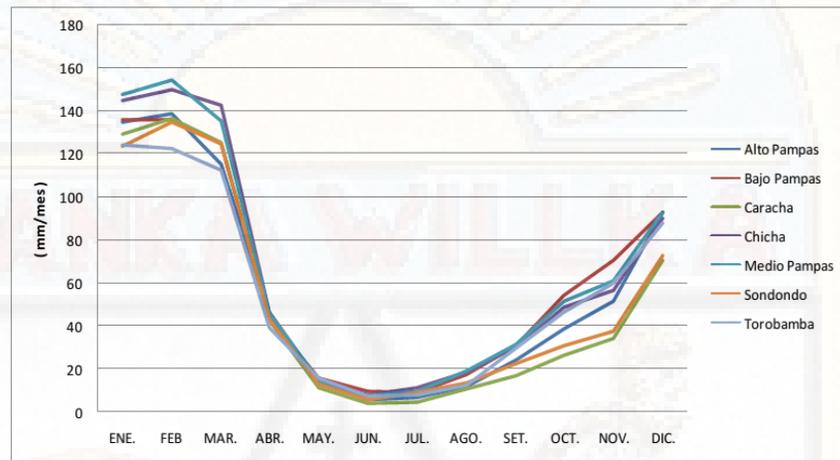


Figura 18. Variación de la precipitación mensual por subcuencas

3.7.1.5. Tectónica⁵

En el área estudiada se ha distinguido por la ocurrencia de fases tectónicas caracterizadas por lineamientos estructurales particulares para cada una de ellas.

Las etapas sucesivas de tectogénesis y orogénesis han superpuesto sus efectos de tal suerte que enmascaran las estructuras más antiguas; por lo que es difícil la interpretación de las mismas.

⁵(Sismo de Ayacucho del 23 de Mayo de 2010 (6.0 ML)Región Centro-Sur del Perú, publicado porIGP (2010))

A. Ciclo Hercínico.

El Ciclo Hercínico comprende dos fases tectónicas, en razón a la tectogénesis que afecta a las rocas paleozoicas de los grupos Excélsior y Mitu.

- A.1. Fase Eohercínica
- A.2. Fase Tardihercínica

B. Ciclo Andino

La tectogénesis andina comenzó a manifestarse después de un período de sedimentación continua, que abarcó desde el Triásico superior con la presencia de las rocas calcáreas del Grupo Pucará, hasta la ocurrencia de los movimientos epirogénicos que levantaron los Andes a las alturas actuales.

En el área estudiada, esta configuración estructural ha sido evidenciada en las fases:

- Fase peruana (Cretácico superior)
- Fase incaica (Eoceno-Oligoceno)
- Fase quechua (Mioceno- Pleistoceno)
 - Fase quechua I
 - Fase quechua II

- Tectónica reciente (Plio - Cuaternaria)

3.7.1.6. Geología local

En el tramo crítico ubicado entre los KM 34+600 y KM 36+000, afloran rocas de la segunda faja de orientación NO-SE, de la formación huacaña. Litológicamente, la Formación Huacaña está constituida en su base por una parte inferior predominantemente lutácea, con algunas intercalaciones de areniscas cuarzosas y calcáreas en estratos delgados, que pasa hacia arriba a una secuencia consistente de areniscas calcáreas, margas y lutitas calcáreas. Hacia la parte alta predominan areniscas cuarcíticas dentro de las que se intercalan niveles delgados subordinados de lutitas y areniscas calcáreas. Las rocas calcáreas (Caliza) se presenta en mantos perpendiculares al eje de la carretera con un espesor aproximado de 400m desde los 2900 msnm nivel del río Caracha hasta 3300 msnm, se observa que estas calizas son compactas y presentan diaclasamientos esporádicos.

3.7.1.7. Vulcanismo y Sismicidad

a.- Vulcanismo

El magmatismo y vulcanismo activo se produjo en el área de estudio hace aproximadamente 12 millones de años (Era Terciaria-Cuaternaria), dando

lugar a las rocas volcánicas y piroclásticas que existen en relativa abundancia.

b.- Sismicidad

“En el borde occidental de Perú se desarrolla el proceso de convergencia de la placa de Nazca bajo la Sudamericana con una velocidad promedio del orden de 7- 8 cm/año (De Mets et al, 1980; Norabuena et al, 1999)” (Tavera Huarache, 2018, pág. 2). Este proceso es responsable de la ocurrencia de sismos de gran magnitud, todos con epicentros frente a la línea de costa y asociados al contacto sismogénico interplaca (Dorbath et al, 1990a; Tavera y Buforn, 2001)⁶.

Los sismos que ocurren en la región de Ayacucho son debido a las siguientes fuentes:

- A los mecanismos de subducción y otros procesos tectónicos que caracterizan al Perú como un país de alta sismicidad, con eventos sísmicos en la zona de subducción de la Costa, sismos superficiales asociados a fallas poco profundas en la zona andina y los sismos a gran profundidad que ocurren en la región oriental.

⁶(Informe Técnico N° 05-2010 IGP (Sismo de Ayacucho del 23 de Mayo de 2010 (6.0 ML) Región Centro-Sur del Perú))

- Los sismos en su mayoría son Tectónicos. Según la Carta Sísmica (Atlas Histórico-Geográfico y de Paisajes Peruanos).

A mayores niveles de profundidad, por debajo de los Andes, la frecuencia de sismos es menor y son pocos aquellos que son percibidos en superficie. Estos sismos tienen su origen en la deformación interna de la placa de Nazca a niveles de profundidad del orden de 120 km. El día 23 de Mayo del 2010, ocurre un sismo de magnitud moderada (6.0 ML) en la región centro-sur del Perú con epicentro a 38 km al Oeste-Suroeste de la localidad de Huanca Sancos en Ayacucho. Este sismo presentó su foco a una profundidad de 115 km y en general, presentó un área de percepción con radio del orden de 250 km ($I_{max}=II$ (MM)), siendo mayor su intensidad entorno a las ciudades y/o localidades de Huanca Sancos y San Pedro de Palco (Ayacucho)⁷.

b.1.- Peligro Sísmico

El mapa de peligro sísmico o iso-aceleraciones para el Perú corresponde a las máximas aceleraciones horizontales del suelo.

Los valores de aceleraciones máximas deben ser considerados como valores medios esperados en suelo firme (PGA), sin considerar los efectos de sitio y la interacción suelo-estructura.

⁷(Informe Técnico N° 05-2010 IGP (Sismo de Ayacucho del 23 de Mayo de 2010 (6.0 ML) Región Centro-Sur del Perú))

El área de estudio se ubica donde el potencial sísmico es alto debido a que es afectada por la ocurrencia de sismos de gran magnitud ($M > 7.0$, ver Figura 22) que producen aceleraciones de 280 cm/s^2 .

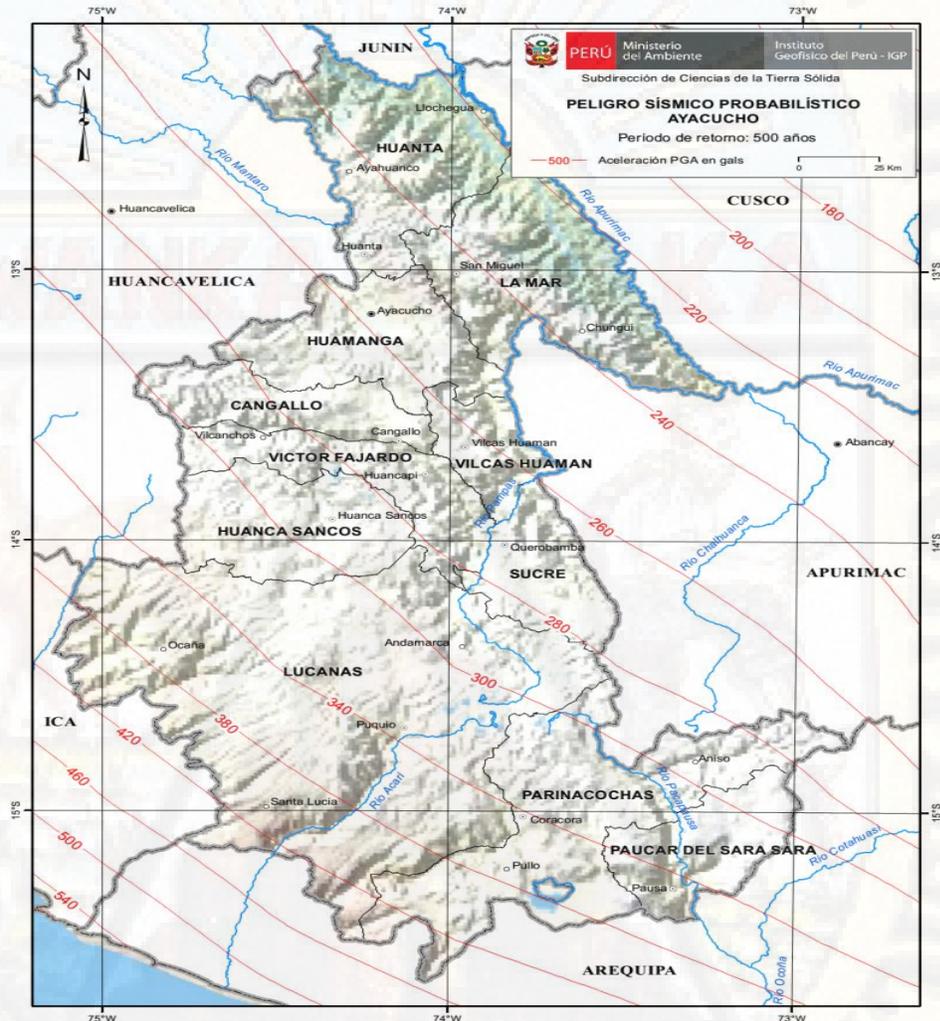


Figura 19. Mapa de peligro sísmico para Ayacucho, considerando un periodo de retorno de 500 años con el 10% de excedencia. Los valores de aceleración están expresados en unidades de gals.

De acuerdo a la norma técnica E.030, el tipo de perfil de roca que mejor describe las condiciones locales es “S₀ - Roca dura”, la zona en estudio pertenece a la zona 3 (Z₃), el factor de suelo “S” de acuerdo a la amplificación sísmica es 0.80.



Figura 20. A cada zona se asigna un factor Z_n según se indica en la Tabla. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad.

Tabla 4. Valores del factor de amplificación del suelo “S” en función al factor Z y perfil del suelo

FACTOR DE SUELO “S”				
SUELO ZONA	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
Z ₄	0,80	1,00	1,05	1,10
Z ₃	0,80	1,00	1,15	1,20
Z ₂	0,80	1,00	1,20	1,40
Z ₁	0,80	1,00	1,60	2,00

La aceleración máxima horizontal de diseño (A_{max-d}) se determina con la siguiente formula⁸:

$$A_{max-d} = PGA * S \dots\dots\dots (21)$$

PGA : peak ground aceleration (aceleración máxima del terreno)

⁸(Estabilidad de Taludes: Conceptos Básicos, parámetros de Diseño y Métodos de Cálculo. Ricardo Valiente Sanz, Salvador Sobrecases Martí, Aníbal Díaz Orrego.)

3.7.1. Características Geotécnicas del Talud.

3.7.1.1. Características Geométricas.

He podido delimitar un total de 10 taludes según la orientación que siguen a lo largo de la progresiva Km 35+000 (anexo 05), que presenta las siguientes características:

Longitud aproximada de 700. 00 m, con dirección de N104°E, con altura que varía de 10 m con ángulo de talud de 80° hasta una altura de 20 m con ángulo de talud de 85°.

3.7.1.2. Parámetros Geomecánicos de la Roca.

Matriz Rocosa

La resistencia a compresión uniaxial, el ensayo de propiedades físicas y el ensayo de corte directo se realizó en el laboratorio de Mecánica de Rocas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (anexo 3).

Estratos y Discontinuidades

La roca predominante en el área de estudio son los sedimentos (Caliza), se formaron en aguas poco profundas que en condiciones de turbulencia se reflejan en la existencia del soporte de grano con relleno de calcita cementante, quedando dispuestos en estratos horizontales.

Estos estratos han sufrido un fuerte tectonismo que deformaron a la roca quedando curvados formando ondulaciones alargadas y de direcciones más o menos paralelas entre sí.

Se establecieron 8 estaciones geomecánicas en las que se han caracterizado los planos de estratificación y juntas.

Es conocido que el comportamiento mecánico del macizo rocoso es gobernado esencialmente por las discontinuidades, ya que la resistencia de la roca intacta se ve disminuida con el aumento de densidad de estructuras. También, la permeabilidad es afectada por la red de estructuras, y esto determina una menor resistencia de macizo rocoso, influenciando en la estabilidad de taludes y el control de voladura⁹.

Considerando que las estaciones Geomecánicas E-1 al E-8 son las más representativa a lo largo del talud, las discontinuidades han sido muestreadas y mapeadas mediante líneas de detalle y el levantamiento de la información estructural se resume en las Tablas de mapeo geomecánico RMR, para cada una de las estaciones se ha realizado un análisis cinemático en la que intervienen las medidas geométricas de los planos (Buzamiento y dirección del buzamiento) las cuales fueron recogidas en campo (Anexos 2).

⁹(Arturo Maldonado; Mapeo Geomecánico)

Se recogió información de algunas discontinuidades no repetitivas con gran continuidad (fallas) con buzamiento paralelo a los estratos que por ser individual no se tuvo en cuenta para el análisis de la estabilidad del talud, y otras diaclasas con buzamiento perpendicular a los estratos formando cuñas.

Para calcular la resistencia a compresión uniaxial de los planos de estratificación se hizo uso de esclerómetro de Schmidt, ya que esta estimación considera: la inclinación de las estructuras, el número de rebote del martillo y la densidad de la roca.

Tabla 5. Resultado de la campaña con esclerómetro de Schmidt

		Resistencia a compresion simple UCS (Mpa)									Promedio
EG-1	Fam. 1	65.80	66.10	64.80	63.00	62.80	65.50	66.40	66.80	65.90	65.2
	Fam. 2	69.40	63.50	63.20	65.10	69.10	62.00	59.20	61.30	62.50	63.9
EG-2	Fam. 1	66.00	63.90	64.00	65.00	62.10	61.20	65.00	65.50	63.30	64.0
	Fam. 2	63.00	64.00	62.80	64.80	68.70	66.10	58.40	59.50	61.00	63.1
EG-3	Fam. 1	71.10	72.40	70.00	75.20	69.90	73.20	72.00	69.23	67.40	71.2
	Fam. 2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
EG-4	Fam. 1	69.10	68.40	63.50	68.00	62.80	63.50	64.60	69.80	68.70	66.5
	Fam. 2	62.90	64.00	68.20	66.90	68.30	67.50	61.90	70.50	62.50	65.9
	Fam. 3	71.80	68.00	62.10	65.40	59.98	69.70	70.40	64.00	66.00	66.4
EG-5	Fam. 1	66.50	68.00	63.00	68.70	75.00	62.00	68.00	66.10	73.00	67.8
	Fam. 2	75.10	69.90	65.80	78.40	69.10	79.80	85.00	72.00	75.00	74.5
	Fam. 3	69.00	70.00	75.00	65.80	58.90	77.60	72.90	73.00	65.00	69.7
EG-6	Fam. 1	59.90	58.90	63.50	65.80	66.00	59.00	59.90	70.00	69.45	63.6
	Fam. 2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
EG-7	Fam. 1	69.10	66.00	63.00	75.00	67.70	71.20	69.50	68.57	69.90	68.9
	Fam. 2	75.00	66.60	62.00	60.00	69.50	70.80	67.00	72.00	73.10	68.4
	Fam. 3	62.50	76.50	69.00	74.00	63.40	75.10	66.20	70.50	74.20	70.2
EG-8	Fam. 1	65.50	64.10	59.90	70.90	64.00	68.00	59.90	69.00	62.20	64.8
	Fam. 2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0

3.7.2. Estabilidad de taludes.

3.7.2.1. Clasificación Geomecánica RMR, SMR.

De la caracterización geomecánica del macizo rocoso, se tipifica la inestabilidad más probable de los taludes para esto se ha utilizado la clasificación geomecánica **SMR** para taludes, de M.R. Romana (1995), para valorar la calidad del talud.

La clasificación **SMR** de Romana (1995) es una adaptación de la clasificación **RMR** de Bieniawski a taludes, mediante la aplicación de los factores de corrección adecuados. El índice **SMR**, "*Slope Mass Rating*", se valora sumando al RMR básico un "factor de ajuste", función de la orientación de las juntas (y producto de tres subfactores, $F_1 \cdot F_2 \cdot F_3$) y un "factor de excavación" (F_4) que depende del método de excavación.

$$\text{SMR} = \text{RMR} + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4 \dots\dots\dots (22)$$

El RMR (rango de 0 a 100) se calcula de acuerdo con los coeficientes de Bieniawski (1989), como la suma de las valoraciones correspondientes a cinco parámetros:

1. Resistencia a compresión uniaxial de la matriz rocosa.
2. RQD (medido en sondeos o estimado).
3. Espaciamiento de las juntas.

4. Condición de las juntas (rugosidad, persistencia, apertura, meteorización, rellenos...).
5. Flujo de agua por entre las juntas (estando en las peores condiciones posibles) o razón de presiones intersticiales r_u (que se define como la relación entre la presión intersticial del agua y la tensión principal mayor, ambas como valores medios a lo largo de las posibles superficies de las juntas susceptibles de provocar inestabilidades).

Se desarrolla el **RMR** de Bieniawski (1989) para la EG-1

1. Resistencia a compresión uniaxial de la matriz rocosa.

Se estimó en laboratorio de Mecánica de Rocas de la UNSCH.

Tabla 6. Ensayo de UCS

Propiedad Mecánica de la Roca		
Roca	UCS (Kg/cm ²)	UCS (MPa)
Caliza	719.19	70.50

Tabla 7. Puntaje según UCS

A carga puntual (MPa)	> 8	4 a 8	2 a 4	1 a 2	< 1 (no se utiliza)		
A compres. simple (MPa)	> 200	100 a 200	50 a 100	25 a 50	10 a 25	3 a 10	< 3
VALOR	15	12	7	4	2	1	0

Valoración: 7 pts.

2. RQD (medido en sondeos o estimado).

El RQD se calculó en función del número de fisuras por metro lineal, determinadas al realizar el levantamiento litológico estructural (línea de detalle) en el área de estudio.

$$\boxed{RQD = 100 \times e^{-0.1(\lambda)} (0.1\lambda + 1)} \dots\dots\dots(23)$$

$$RQD = 100 * e^{-0.1\left(\frac{1}{0.30}\right)} \left(0.1\left(\frac{1}{0.30}\right) + 1\right) = 95.54\%$$

Tabla 8. Puntaje según valor RQD.

R.Q.D. (%)	90 A 100	75 A 90	50 A 75	25 A 50	< 25
VALOR	20	17	13	8	3

Valoración: 20 pts.

3. Espaciamiento de las discontinuidades.

El espaciado de las discontinuidades fue medida in situ colocando una cinta métrica perpendicular a las discontinuidades en el afloramiento de cada tramo como se muestra en el (Anexo 2)

Tabla 9. Datos Espaciamiento estructural.

Espaciado	> 2 m	0.6 - 2 m	0.2 - 0.6 m	0.06 - 0.2 m	< 0.06 m
EG - 1	0	8	14	4	0
EG - 2	0	9	11	6	0
EG - 3	0	1	16	9	0
EG - 4	0	1	18	7	0
EG - 5	0	5	16	5	0
EG - 6	0	3	18	5	0
EG - 7	0	4	17	5	0
EG - 8	0	3	14	9	0

Tabla 10. Histograma de Espaciamiento de estructuras

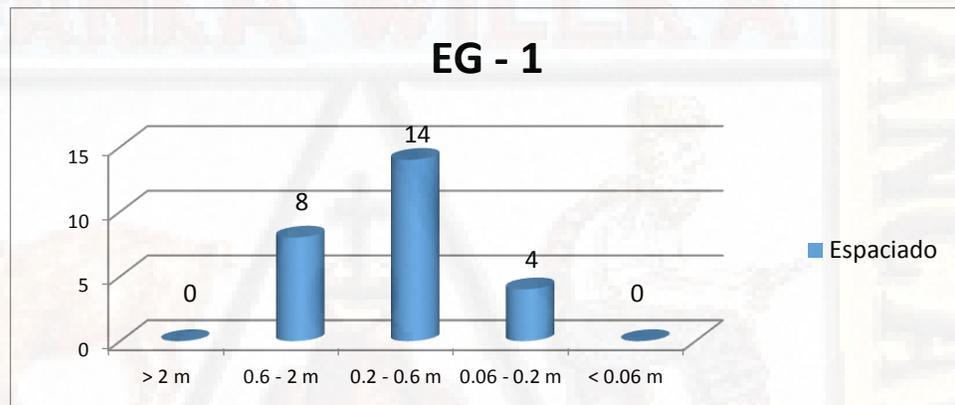


Tabla 11. Puntaje según el espaciado

Espaciado	> 2 m	0.6 - 2 m	0.2 - 0.6 m	0.06 - 0.2 m	< 0.06 m
VALOR	20	15	10	8	5

Valoración: 10 pts.

4. Condición de las juntas (persistencia, apertura, rugosidad, relleno, meteorización).

4.1 Continuidad o persistencia.

La persistencia de las discontinuidades se cuantificó observando la extensión y/o longitud de las discontinuidades en los afloramientos, en la dirección del rumbo y en la de buzamiento.

Tabla 12. Datos Persistencia

Persistencia	< 1	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
EG - 1	0	0	4	5	17
EG - 2	0	0	2	6	18
EG - 3	0	0	3	4	19
EG - 4	0	0	1	5	20
EG - 5	0	0	2	4	22
EG - 6	0	0	0	2	24
EG - 7	0	4	0	0	22
EG - 8	0	0	0	4	22

Tabla 13. Histograma de persistencia

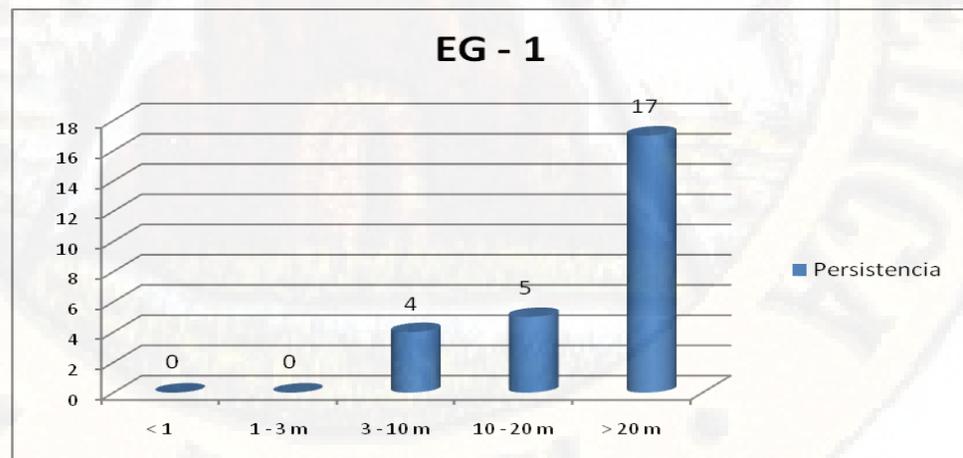


Tabla 14. Condición de las juntas

Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 a 3 m	3 a 10 m	10 a 20 m	> 20 m
VALOR (P 4.1)	6	4	2	1	0
Separación apertura	Ninguna	< 0,1 mm	0,1 a 1 mm	1 a 5 mm	> 5 mm
VALOR (P 4.2)	6	5	4	1	0
Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Algo rugosa	Suave	Pulida
VALOR (P 4.3)	6	5	3	1	0
Relleno	Ninguno	< 5 mm duro	> 5 mm duro	< 5 mm blando	> 5 mm blando
VALOR (P 4.4)	6	4	2	2	0
Meteorización	Ninguna	Ligera	Moderada	Elevada	Descompuestas
VALOR (P 4.5)	6	5	3	1	0

Valoración: 0 pts.

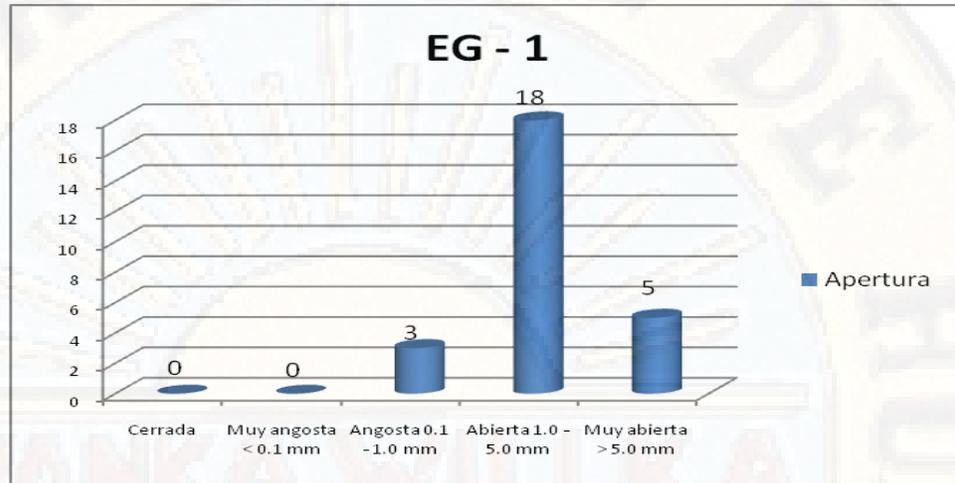
4.2 Apertura.

La abertura de las discontinuidades en campo fueron medidas y mapeadas con la ayuda de una cinta métrica.

Tabla 15. Datos Apertura

Apertura	Cerrada	Muy angosta < 0.1 mm	Angosta 0.1 - 1.0 mm	Abierta 1.0 - 5.0 mm	Muy abierta > 5.0 mm
EG - 1	0	0	3	18	5
EG - 2	0	0	2	17	7
EG - 3	0	0	3	19	4
EG - 4	0	0	1	20	5
EG - 5	0	0	0	22	4
EG - 6	0	0	0	21	5
EG - 7	0	0	4	19	3
EG - 8	0	0	2	16	8

Tabla 16. Histograma de apertura



Valoración: 1 pts.

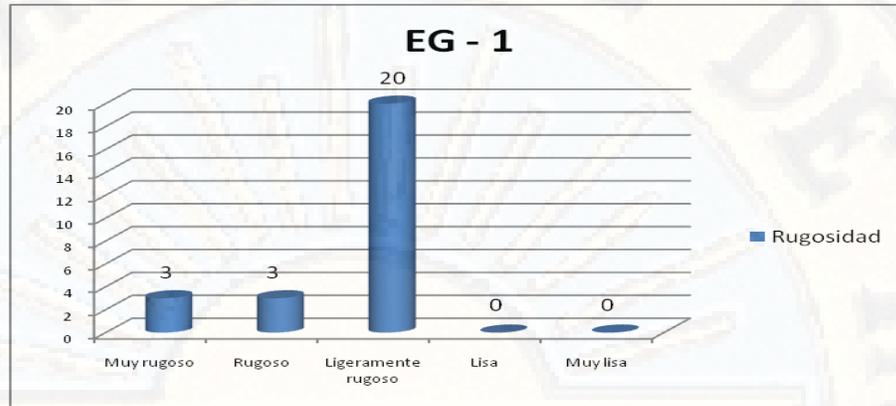
4.3 Rugosidad.

La rugosidad presente en cada una de las discontinuidades se caracterizó en fichas del mapeo lineal in situ.

Tabla 17. Datos rugosidad

Rugosidad	Muy rugoso	Rugoso	Ligeramente rugoso	Lisa	Muy lisa
EG - 1	3	3	20	0	0
EG - 2	1	2	23	0	0
EG - 3	3	4	19	0	0
EG - 4	1	1	24	0	0
EG - 5	3	4	19	0	0
EG - 6	1	2	23	0	0
EG - 7	1	5	19	1	0
EG - 8	2	6	18	0	0

Tabla 18. Histograma de rugosidad



Valoración: 3 pts.

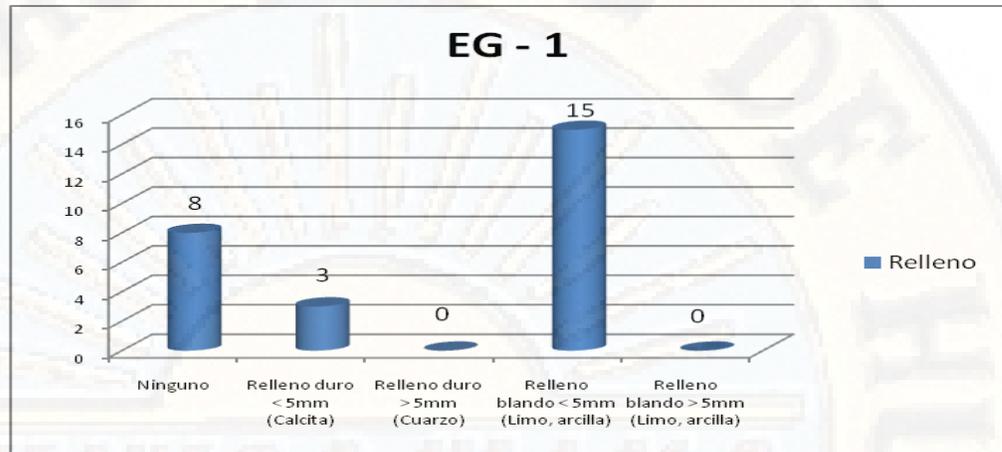
4.4 Relleno.

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

Tabla 19. Datos relleno

Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5mm (Calcita)	Relleno duro > 5mm (Cuarzo)	Relleno blando < 5mm (Limo, arcilla)	Relleno blando > 5mm (Limo, arcilla)
EG - 1	8	3	0	15	0
EG - 2	6	2	0	18	0
EG - 3	7	1	1	17	0
EG - 4	5	2	1	18	0
EG - 5	5	4	1	16	0
EG - 6	9	0	2	15	0
EG - 7	7	0	1	18	0
EG - 8	5	0	4	17	0

Tabla 20. Histograma de relleno



Valoración: 1 pts.

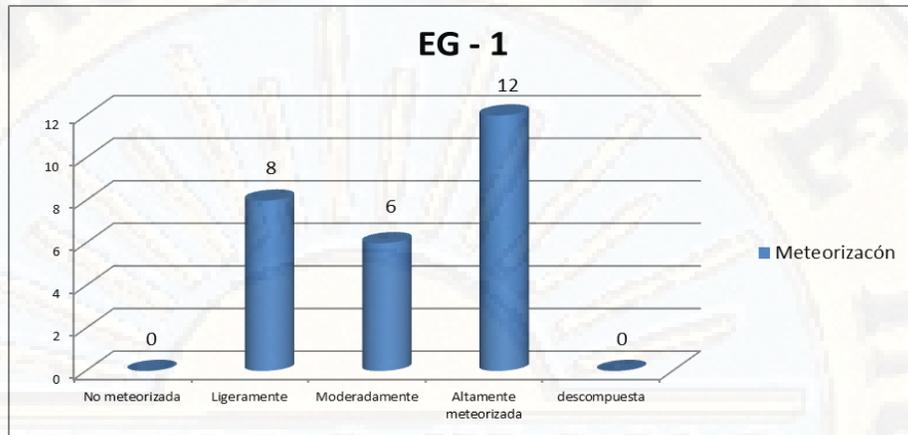
4.5 Meteorización.

La zona de estudio al ser un talud de corte producto de la excavación para la apertura de la carretera en alguno de los tramos presenta alteraciones fuertes y casi imperceptibles producto de la utilización de explosivos y de la misma formación geológica.

Tabla 21. Datos Meteorización

Meteorización	No meteorizada	Ligeramente	Moderadamente	Altamente meteorizada	descompuesta
EG - 1	0	8	6	12	0
EG - 2	0	2	18	6	0
EG - 3	0	6	1	19	0
EG - 4	0	20	5	1	0
EG - 5	5	3	18	0	0
EG - 6	20	4	2	0	0
EG - 7	15	9	2	0	0
EG - 8	15	8	3	0	0

Tabla 22. Histograma de meteorización



Valoración: 1 pts.

5. Flujo de agua a través de las juntas.

La descripción de la presencia de agua en los taludes en análisis, fueron mapeadas y caracterizadas mediante observaciones in situ, principalmente en las discontinuidades.

Tabla 23. Presencia de agua

Agua	Seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo
EG - 1	22	4	0	0	0
EG - 2	20	6	0	0	0
EG - 3	21	5	0	0	0
EG - 4	19	7	0	0	0
EG - 5	18	8	0	0	0
EG - 6	21	5	0	0	0

Tabla 24. Histograma de presencia de agua

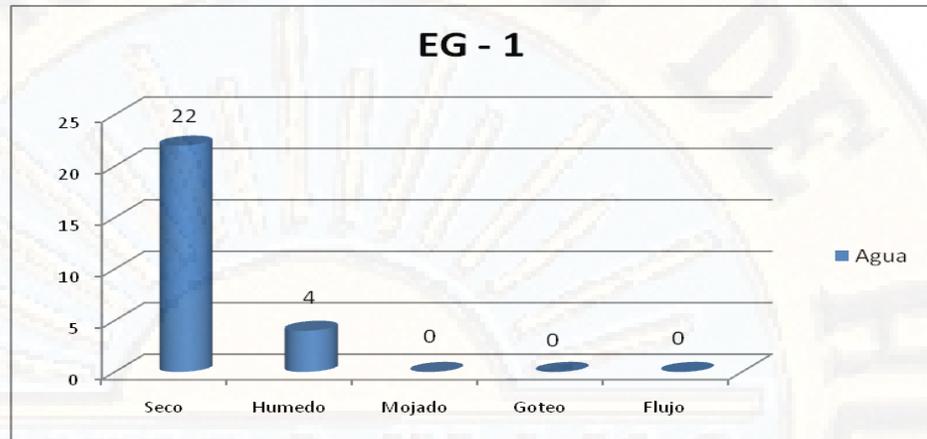


Tabla 25. Puntaje según presencia de agua

Flujo de agua cada 10m de túnel (l/m)	Ninguno	< 10	10 a 25	25 a 125	> 125
Relación presión agua en la junta/tensión principal máxima	0	< 0,1	0,1 a 0,2	0,2 a 0,5	> 0,5
Condiciones generales	Completamente seco	Manchas de humedad	Muy húmedo	Goteo	Flujo de agua
VALOR	15	10	7	4	0

Valoración: 15 pts.

El valor total del RMR se calcula de acuerdo con los coeficientes de Bieniawski (1989), como la suma de las valoraciones correspondientes a cinco parámetros:

Valoración RMR_{básico}: 58 pts.

A continuación se describe las categorías de clasificación del macizo rocoso.

Tabla 26. Categorías de clasificación del macizo rocoso

Valor RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21
Categoría	I	II	III	IV	V
Descripción del macizo rocoso	Roca muy buena	Roca buena	Roca regular	Roca mala	Roca muy mala

Romana en 1985, propuso un sistema de valoración que es aplicado en taludes, este sistema considera la consecuencia de las discontinuidades del macizo rocoso en función a la dirección del corte del talud, el tipo de falla predominante y método de excavación.

6. Factor de ajuste de las juntas.

El factor de ajuste de las juntas es producto de tres subfactores.

6.1 F1: Depende del paralelismo entre el rumbo de las juntas y de la cara del talud. Varía entre 1 (rumbos paralelos) y 0,15 (ángulo entre los dos rumbos es superior a 30 ° y la posibilidad de rotura es muy baja). Estos valores se ajustan a la expresión:

$$F1 = (1 - \text{sen}(\alpha_j - \alpha_s))^2 \dots\dots\dots (24)$$

Dónde: α_j = Dirección del Buzamiento de la Junta (27°, 20°)
 α_s = Dirección del Buzamiento del talud (119°, 90°)

De la tabla 26, obtenemos: **F1 = 0.15**

6.2 F2: Depende del buzamiento de la junta en la rotura plana. Es una probabilidad de la resistencia a esfuerzo cortante de la junta. Varía entre 1(para juntas con buzamiento >45°) y 0,15 (buzamientos < 20°). Se ajusta a la relación siguiente:

$$F2 = \tan^2(\beta_j) \dots\dots\dots (25)$$

Dónde: β_j = Buzamiento de la Junta (85°)
F2 para roturas por vuelco vale 1.

De la tabla 26, obtenemos: $F_2 = 1$

6.3 F3: Refleja la relación entre los buzamientos de la junta y el talud.

Se han mantenido los valores propuestos por Bieniawski en 1976 / 79 que son siempre negativos. Para roturas planas F_3 expresa la probabilidad de que las juntas afloren en el talud. Se supone que las condiciones son "normales" cuando el buzamiento medio de la familia de juntas es igual al del talud, y por lo tanto aflorarán algunas pocas juntas. Cuando el talud buza más que las juntas, casi todas afloran y las condiciones serán "muy desfavorables" lo que supone un valor de F_3 de - 60 (para $\beta_s - \beta_j > 10^\circ$), o "desfavorables" lo que supone un valor de F_3 de - 50 (para $0 < \beta_s - \beta_j < 10^\circ$). La diferencia con el valor de F_3 "normal" (que es - 25) es muy grande.

De la tabla 26, obtenemos: $F_3 = - 25$

7. Factor de ajuste según el método de excavación.

En las visitas a campo se observó taladros con espaciado irregular y sin el paralelismo adecuado, taladros sin explotar, etc. Por lo que se calificó como "voladura deficiente".

De la tabla 26, obtenemos: $F_4 = - 8$

Tabla 27. Factores de ajuste de la Clasificación SMR (Romana, 1985)

$SMR = RMR_b + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4$ (ROMANA, 1985)					
FACTORES DE AJUSTE DE LAS JUNTAS (F_1, F_2, F_3)			α_j = DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO DE LA JUNTA α_s = DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO DEL TALUD β_j = BUZAMIENTO DE LA JUNTA β_s = BUZAMIENTO DEL TALUD		
	MUY FAVORABLE	FAVORABLE	NORMAL	DESFAVORABLE	MUY DESFAVORABLE
ROTURA PLANA $ \alpha_j - \alpha_s =$	> 30°	30° - 20°	20° - 10°	10° - 5°	< 5°
VUELCO $ \alpha_j - \alpha_s - 180° =$	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
VALORES	AJUSTE ANALÍTICO $F_1 = (1 - \text{sen } \alpha_j - \alpha_s)^2$				
β_j =	< 20°	20° - 30°	30° - 35°	35° - 45°	> 45°
	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
ROTURA PLANA $\beta_j - \beta_s =$	> 10°	10° - 0°	0°	0° - (-10°)	< (-10°)
VUELCO $\beta_j + \beta_s =$	< 110°	110° - 120°	> 120°	-	-
VALORES	0	-6	-25	-50	-60
FACTORES DE AJUSTE	AJUSTE ANALÍTICO $F_2 = \text{tg}^2 \beta_j$				
VALORES	AJUSTE ANALÍTICO $F_3 =$ (SE MANTIENEN LOS VALORES PROPUESTOS POR BIENIAWSKI, 1976 / 79)				
FACTORES DE AJUSTE POR EL MÉTODO DE EXCAVACIÓN	$F_4 =$ VALORES EMPÍRICOS ESTABLECIDOS PARA CADA MÉTODO DE EXCAVACIÓN				
	TALUD NATURAL	PRECORTE	VOLADURA SUAVE	VOLADURA ó MECÁNICO	VOLADURA DEFICIENTE
	+ 15	+ 10	+ 8	0	- 8

A continuación se resume los resultados obtenidos del análisis anterior, encontrando el valor final del SMR para el macizo rocoso:

Tabla 28. Resumen del análisis geomecánico RMR y SMR para el macizo rocoso.

	Valor RMR	F1	F2	F3	F4	Valor SMR	Clase N°	Descripción	Estabilidad
EG - 1	58	0.15	1	-25	-8	46	III b	Normal	Parcialmente inestable
EG - 2	60	0.4	1	-25	-8	42	III b	Normal	Parcialmente inestable
EG - 3	60	0.15	1	-50	-8	45	III b	Normal	Parcialmente inestable
EG - 4	60	0.15	0.87	-60	-8	44	III b	Normal	Parcialmente inestable
EG - 5	60	0.18	1	-60	-8	41	III b	Normal	Parcialmente inestable
EG - 6	63	0.15	0.7	-60	-8	49	III b	Normal	Parcialmente inestable
EG - 7	63	0.15	0.7	-60	-8	49	III b	Normal	Parcialmente inestable
EG - 8	63	0.15	0.7	-60	-8	49	III b	Normal	Parcialmente inestable

SMR medio: 46

Los valores límites del SMR encontrados empíricamente para cada forma de rotura son los que se presentan en la Tabla 33. Todos los taludes con valores del SMR inferiores a 20 se caen rápidamente. No se han encontrado con valores inferiores a 10 lo que indica que no son físicamente factibles. Según el valor del índice SMR se obtienen 5 clases de estabilidad, definidas simplificada en la Tabla 34. En la práctica habitual de aplicación de la clasificación SMR parece conveniente dividir cada una de las clases anteriores en dos subclases (a y b) con una amplitud de 10 puntos¹⁰.

Tabla 29. Valores del SMR para cada tipo de rotura

TIPO DE ROTURA	INTERVALOS SMR	FRECUENCIA
PLANAS	SMR > 60 60 > SMR > 40 40 > SMR > 15	Ninguna Importantes Muy grandes
EN CUÑA	SMR > 75 75 > SMR > 49 55 > SMR > 40	Muy pocas Algunas Muchas
POR VUELCO	SMR > 65 65 > SMR > 50 40 > SMR > 30	Ninguna Menores Importantes
COMPLETAS	SMR > 30 30 > SMR > 10	Ninguna Posible

Tabla 30. Clases de estabilidad según el SMR

DESCRIPCIÓN DE LAS CLASES SMR										
CLASE Nº	Vb	Va	IVb	IVa	IIIb	IIIa	IIb	IIa	Ib	Ia
DESCRIPCIÓN	MUY MALA		MALA		NORMAL		BUENA		MUY BUENA	
ESTABILIDAD	TOTALMENTE INESTABLE		INESTABLE		PARCIALMENTE INESTABLE		ESTABLE		TOTALMENTE ESTABLE	
ROTURAS	GRANDES ROTURAS POR PLANOS CONTINUOS O POR LA MASA		JUNTAS O GRANDES CUÑAS		ALGUNAS JUNTAS O MUCHAS CUÑAS		ALGUNOS BLOQUES		NINGUNA	
SOSTENIMIENTOS	REEXCAVACIÓN		IMPORTANTES		SISTEMÁTICOS		OCASIONALES		NINGUNO	

¹⁰(LA CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA SMR: APLICACIÓN, EXPERIENCIAS Y VALIDACIÓN. ROMANA RUIZ, Manuel, SERÓN GÁÑEZ, José Bernardo, MONTALAR YAGO, Enrique)

De todo el análisis anterior, los taludes estudiados presentan una estabilidad clase III b, Normal, parcialmente inestable, con desarrollo de algunas cuñas producto de diaclasas esporádicas. La valoración SMR obtenida, indica que los taludes en estudio necesitan un tratamiento de carácter sistemático.

3.7.2.2. Análisis de la estabilidad, método de Equilibrio Limite.

El análisis de estabilidad, se realizó utilizando los métodos de equilibrio límite, para calcular el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable. Se basa únicamente en las leyes de la estática sin tener en cuenta las deformaciones del terreno.

3.7.2.3. Análisis Cinemático.

Es un acercamiento que permite una evaluación rápida de las condiciones de estabilidad (permite identificar las superficies potenciales de rotura) en el diseño de las excavaciones en macizos rocosos, con un fuerte control estructural y una distribución de discontinuidades no homogéneas o isotropas. El análisis cinemático permite analizar la estabilidad de los tipos de roturas básicos: planar, cuña y vuelco, descritos por Hoek y Bray (1981).

Para el análisis Cinemático se tiene en cuenta los siguientes parámetros:
 La dirección y pendiente del talud, La dirección y buzamiento de las diferentes discontinuidades, el ángulo de fricción.

A partir de este análisis de las discontinuidades con el software Dips 6.0 de ROCSCIENCE. Se han encontrado las siguientes relaciones geométricas:

Tabla 31. Mecanismo de rotura por Estación Geomecánica

	Familia		Mecanismo de Rotura			
			Talud	F1	F2	F3
EG-1	F1	Curva	Talud 1	----	----	----
	F2		Talud 2	----	Cuña	----
EG-2	F1		Talud 3	----	----	----
	F2			Cuña	----	----
EG-3	F1		Talud 4	----	----	----
EG-4	F1		Talud 5	----	----	----
	F2			Cuña	----	----
	F3			Cuña	Cuña	----
EG-5	F1	Curva	Talud 6	----	Cuña	----
	F2			----	----	----
	F3			----	----	----
EG-5	F1	Curva	Talud 7	----	----	----
	F2			----	----	cuña
	F3			----	----	plana
EG-6	F1		Talud 8	----	----	----
EG-7	F1		Talud 9	----	----	----
	F2			----	----	----
	F3			Cuña	----	----
EG-8	F1		Talud 10	----	----	----

A partir del análisis cinemático mediante proyección estereográfica realizado para cada estación geomecánica (anexo 4) se deduce que la inestabilidad de tipo cuña es la predominante a lo largo de la zona de estudio.

3.7.2.4. Rotura tipo Cuña.

Para el caso de rotura en cuñas, las fuerzas actuantes sobre la masa deslizando son:

- El peso propio de la cuña (W).
- Las presiones intersticiales, actuantes sobre los planos de rotura (A y B) y sobre la grieta de tracción (plano C). Actúan normalmente a dichos planos, se nombra como plano "A" al plano de menor buzamiento.
- Las debidas a un posible movimiento sísmico.

Para el cálculo del factor de seguridad FS se tiene que suponer que el efecto sobre la estabilidad de la cuña de los momentos de las fuerzas actuantes es despreciable.

El factor de seguridad se determina utilizando el procedimiento sugerido por Kovari y Fritz¹¹. Al aplicar el criterio de rotura de Mohr-Coulomb.

$$FS = \frac{T_{max}}{T} = \frac{(N_1 \tan \phi_1 + C_1 A_1) + (N_2 \tan \phi_2 + C_2 A_2)}{R \sin(\alpha_s + \varepsilon) - F_a \cos \xi} \dots\dots\dots (26)$$

¹¹(Manual de Anclajes en Obras de Tierras, Ucar Navarro, Roberto)

Dónde:

$N_1 \tan \theta_1 + C_1 A_1 =$ máxima fuerza tangencial resistente medida en el plano

(A).

$N_2 \tan \theta_2 + C_2 A_2 =$ máxima fuerza tangencial resistente medida en el plano

(B).

$C_1, C_2 =$ cohesión medida a través del plano de diaclasa (A) y (B) respectivamente.

Si los planos de fractura están abiertos $C_1 = C_2 = 0$. Dicho caso en particular se considerará para fines prácticos en esta investigación.

Igualmente no se tomará en cuenta el efecto de la presión intersticial ni la Fuerza de anclaje (F_a)

$\theta_1, \theta_2 =$ ángulo de fricción interna del macizo rocoso de los planos (A) y (B) respectivamente.

Los valores de N_1, N_2 y T cuando $F_a = 0$ (no existe refuerzo), se transforman como sigue:

$$N_1 = R \cdot \cos(\alpha_s + \varepsilon) \cdot \cos \theta_2 / \sin(\theta_1 + \theta_2)$$

$$N_2 = R \cdot \cos(\alpha_s + \varepsilon) \cdot \cos\theta_1 / \sin(\theta_1 + \theta_2)$$

$$T = R \cdot \sin(\alpha_s + \varepsilon)$$

Por lo tanto el valor de FS bajo estas condiciones y despreciando las fuerzas cohesivas, resulta.

$$FS = \frac{\cos\theta_2 \cdot \tan\phi_1 + \cos\theta_1 \cdot \tan\phi_2}{\tan(\alpha_s + \varepsilon) \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2)} \dots\dots\dots (27)$$

Dónde:

θ_1 y θ_2 ángulos que forman los respectivos planos de deslizamiento con el plano vertical.

Los ángulos de rozamiento (ϕ_p , ϕ_r) se obtienen a partir de las fórmulas propuestas por Barton y Choubey (1977), donde se determina la resistencia al corte de pico ϕ_p en discontinuidades rugosas sin cohesión.

$$\phi_p = JRC \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma'_n} \right) + \phi_r \dots\dots\dots (28)$$

$$\phi_p = \phi_r + 1,7 JRC \dots\dots\dots (29)$$

Si $JCS/\sigma'_n > 50$, Usar la fórmula n° 29

Dónde:

σ'_n : Esfuerzo normal efectivo sobre el plano de discontinuidad.

ϕ_r : Ángulo de rozamiento interno residual.

JRC: Coeficiente de rugosidad de la discontinuidad (*joint roughness coefficient*).

JCS: Resistencia a compresión de la pared de la discontinuidad (*joint Wall compression strength*).

- Generalmente la pared de las discontinuidades están alteradas por lo tanto el ángulo de rozamiento residual será menor que el ángulo de rozamiento de la matriz rocosa. Para su evaluación se aplica la fórmula:

$$\phi_r = (\phi_b - 20^\circ) + 20^\circ \left(\frac{r}{R} \right) \dots\dots\dots (30)$$

ϕ_b : Ángulo de rozamiento básico del material.

R : UCS sobre roca sana.

r : UCS sobre la pared de la discontinuidad.

Para el plano A $\phi_r = (27^\circ - 20^\circ) + 20^\circ \left(\frac{65.2}{69.53} \right) = 25.75^\circ$

Para el plano B $\phi_r = (27^\circ - 20^\circ) + 20^\circ \left(\frac{63.9}{69.53} \right) = 25.38^\circ$

> El esfuerzo normal efectivo sobre el plano de discontinuidad, σ'_n , viene dado por:

$$\sigma'_n = W \cos \alpha \dots\dots\dots (31)$$

Donde

$W =$ Peso de la cuña ($W = \rho Vg$)

$\alpha =$ Angulo de la discontinuidad sobre la que deslizaría el bloque.

> El peso de la cuña lo calculamos tomando en cuenta la dirección del buzamiento, el buzamiento de las familias de discontinuidades, altura del talud, El peso aproximado de la cuña es:

$$W = 2.5 \text{ TM} \cong 24.52 \text{ KN}$$

> Podemos calcular la fuerza aplicada en la dirección perpendicular a los planos A y B:

$$FnA = 24.52 \text{ KN} * \text{Cos } 85 = 2.137 \text{ KN}$$

$$FnB = 24.52 \text{ KN} * \text{Cos } 86 = 1.710 \text{ KN}$$

$$\sigma' nA = \frac{2.137 \text{ KN}}{20.11 \text{ m} * 0.4 \text{ m}} = 0.266 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} \cong 0.0027 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

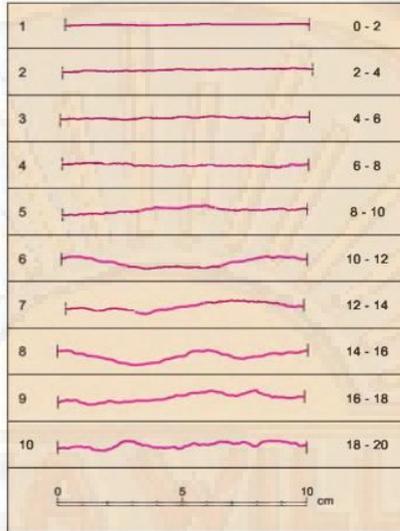
$$\sigma' nB = \frac{1.710 \text{ KN}}{20.08 \text{ m} * 0.7 \text{ m}} = 0.122 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} \cong 0.0012 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

> El factor JRC, se calcula haciendo uso del perfil de rugosidad.

Comparando la rugosidad de la discontinuidad en campo se observó que el perfil es coincidente con el perfil tipo 4. (Ver Fig. 23)

JRC = 8 para los planos A y B

Figura 21. Perfiles tipo para estimar el coeficiente de rugosidad



- El factor JCS, se obtiene a partir de datos de campo. (Ver tabla 9)

$$\mathbf{JCS_A = 65.20 \text{ Mpa} \cong 664.90 \text{ kg/cm}^2}$$

$$\mathbf{JCS_B = 63.90 \text{ Mpa} \cong 651.60 \text{ kg/cm}^2}$$

- El ángulo de rozamiento pico (ϕ_p) se calcula con la ecuación (29):

$$\mathbf{\phi_{pA} = 25.75^\circ + 1.7 * 8 = 39.35^\circ}$$

$$\mathbf{\phi_{pB} = 25.38^\circ + 1.7 * 8 = 38.98^\circ}$$

- Calculando el Azimut o Dip Direction de la línea de intersección.

$$\boxed{\tan \Psi_s = \frac{\tan \alpha_1 \cos \Psi_1 - \tan \alpha_2 \cos \Psi_2}{\tan \alpha_2 \sin \Psi_2 - \tan \alpha_1 \sin \Psi_1}} \dots \dots \dots (32)$$

$$\tan \Psi_s = \frac{\tan 85 \cos 27^\circ - \tan 86 \cos 119^\circ}{\tan 86 \sin 119^\circ - \tan 85 \sin 27^\circ} = 2.339$$

$$\Psi_s = \text{atan}(2.339) = 66.85^\circ$$

> Calculando el Buzamiento o Dip de la línea de intersección.

$$\tan\alpha_s = [\tan\alpha_2 * \cos(\Psi_2 - \Psi_s)] \dots\dots\dots (33)$$

$$\tan\alpha_s = [\tan 86^\circ * \cos(119^\circ - 66.85^\circ)] = 8.775$$

$$\alpha_s = \text{atan}(8.775) = 83.4^\circ \cong 83^\circ$$

> Calculando θ_1 y θ_2 son los ángulos que forman los respectivos planos de deslizamiento con el plano vertical.

$$\text{sen } \theta_1 = \text{sen } \alpha_1 \text{sen } \alpha_s \cos(\Psi_s - \Psi_1) + \cos \alpha_1 \cos \alpha_s \dots\dots\dots (34)$$

$$\text{sen } \theta_1 = \text{sen}85^\circ \text{sen}83^\circ \cos(66.85^\circ - 27^\circ) + \cos85^\circ \cos83^\circ = 0.769$$

$$\theta_1 = \text{asen}(0.769) = 50.33^\circ$$

$$\text{sen } \theta_2 = \text{sen } \alpha_2 \text{sen } \alpha_s \cos(\Psi_s - \Psi_2) + \cos \alpha_2 \cos \alpha_s \dots\dots\dots (35)$$

$$\text{sen } \theta_2 = \text{sen}86^\circ \text{sen}83^\circ \cos(66.85^\circ - 119^\circ) + \cos86^\circ \cos83^\circ = 0.616$$

$$\theta_2 = \text{asen}(0.616) = 38.02^\circ$$

$$\text{por lo tanto } \theta_1 + \theta_2 = \theta_{AB}$$

$$\theta_{AB} = 50.33^\circ + 38.02^\circ = 88.35^\circ$$

El factor de seguridad de acuerdo a la ecuación (27), sin considerar el efecto de fuerzas sísmicas el F_s es:

$$F_s = \frac{\cos\theta_2 \tan \phi_A + \cos \theta_1 \tan \phi_B}{\tan(\alpha_s + \varepsilon) \text{sen}(\theta_1 + \theta_2)}$$

$$F_s = \frac{\cos(38.02^\circ)\tan(39.35^\circ) + \cos(50.33^\circ)\tan(38.98^\circ)}{\tan(83^\circ + 0^\circ)\sin(88.35^\circ)} = 0.143$$

Se obtiene un coeficiente de seguridad de 0.143, es decir inestable. para este análisis, sin considerar Las magnitudes de las fuerzas sismicas, al momento este talud no ha fallado debido a que los estratos tienen grandes distancia de persistencia y el buzamiento de la línea de intersección (83°) está a solo 2° y 3° de diferencia, con el buzamiento de los planos A y B respectivamente.

“Considerando La magnitud de las fuerzas pseudo-estáticas son: Fuerza horizontal y fuerza vertical debido al movimiento sísmico o por la acción de voladura” (Kramer, 1996).

$$F_h = \frac{a_h * W}{g} = K_h * w \dots\dots\dots (36)$$

$$F_v = \frac{a_v * W}{g} = K_v * w \dots\dots\dots (37)$$

Dónde:

K_h : Coeficiente sísmico horizontal.

K_v : Coeficiente sísmico vertical.

a_h : Aceleración máxima horizontal

a_v : Aceleración máxima vertical

De la ecuación (36) concluimos que el K_h es:

$$K_h = \frac{a_h}{g} = \frac{2.80m/s^2}{9.81m/s^2} = 0.285$$

El coeficiente sísmico horizontal de diseño (K_{hmax-d}) se determina con la ecuación:

$$K_{hmax-d} = K_h * S \dots\dots\dots (38)$$

El valor de “S” se detalla en el acápite “3.7.1.7. Vulcanismo y Sismicidad”.

$$K_{hmax-d} = 0.285 * 0.8 = 0.228$$

“En el caso de considerar métodos pseudo-estáticos para el diseño de los taludes, la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y la Federal Highway Administration (FHWA) sugieren reducir el valor K_{hmax-d} a la mitad” (Valiente Sanz, Sobrecases Martí, & Díaz Orrego, 2015, pág. 54).

$$K_{hmax-d} = \frac{0.228}{2} = 0.114$$

El valor de K_{vmax-d} , se considera la mitad de K_{hmax-d} .

$$K_{vmax-d} = \frac{K_h}{2} = \frac{0.114}{2} = 0.057$$

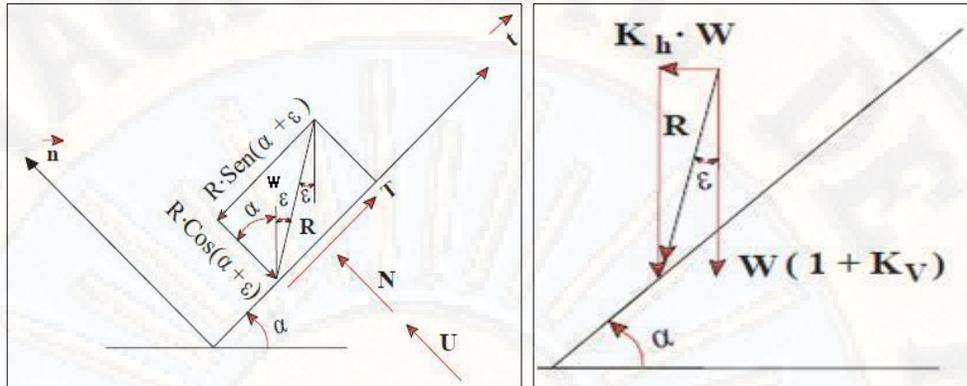


Figura 22. Fuerzas sísmicas actuando sobre la superficie potencial de rotura.

Por lo tanto el ángulo ϵ , se calcula con la siguiente ecuación:

$$\tan \epsilon = \frac{K_h}{1 + K_v} \dots \dots \dots (39)$$

$$\epsilon = \text{atan} \left(\frac{0.114}{1 + 0.057} \right) = 6.156^\circ$$

De acuerdo con la ecuación (27), considerando el efecto de fuerzas sísmicas el F_s es:

$$F_s = \frac{\cos(38.02^\circ)\tan(39.35^\circ) + \cos(50.33^\circ)\tan(38.98^\circ)}{\tan(83^\circ + 6.156^\circ)\text{sen}(88.35^\circ)} = 0.02$$

3.7.2.5. Técnicas Estadísticas Utilizadas en el Análisis de datos.

Pero trabajar la información recopilada en campo la herramienta que utilizamos como técnica de análisis de datos, es la **Media Aritmética** (medida central) para variables continuas, sin olvidar la importancia de asegurar la calidad de la información.

3.8. Descripción de la prueba de hipótesis.

El factor de seguridad del talud en roca se valora, luego de caracterizar el macizo rocoso del talud de corte, mediante las clasificaciones geomecánicas RMR de Bieniawski, SMR de Romana y el método de equilibrio límite.

CAPITULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación e interpretación de datos.

4.1.1. D1: Características del talud.

4.1.1.1. Geología.

Las rocas calcáreas (Caliza) se presenta en mantos perpendiculares al eje de la carretera con un espesor aproximado de 400m desde los 2900 msnm nivel del rio Caracha hasta 3300 msnm, se observa que estas calizas son compactas y presentan diaclasamientos esporádicos.

4.1.1.2. Propiedades Físico Mecánicas del macizo rocoso.

El muestreo se realizó sistemáticamente en las ocho Estaciones Geomecánicas, de las rocas que afloran a lo largo del tramo en estudio, las cuales fueron analizadas en el laboratorio de Mecánica de Rocas de la Universidad Nacional San Cristóbal de huamanga, cuyos resultados se observan en el Anexo N° 3.

4.1.1.3. Clasificación Geomecánica RMR.

La caracterización del macizo rocoso según la clasificación geomecánica RMR de Bieniawski de 1989 (ver anexo 02), entrega el siguiente resultado por estación Geomecánica.

Tabla 32. Resumen del análisis RMR por Estación Geomecánica.

Estación Geomecánica	Valor RMR	Categoría	Descripción del macizo rocoso
EG - 1	58	III	Roca Regular
EG - 2	60	III	Roca Regular
EG - 3	60	III	Roca Regular
EG - 4	60	III	Roca Regular
EG - 5	60	III	Roca Regular
EG - 6	63	II	Roca Buena
EG - 7	63	II	Roca Buena
EG - 8	63	II	Roca Buena
RMR medio:	60		

4.1.2. D2: Proponer la geometría de Talud estable.

“Los taludes para las secciones en corte, variarán de acuerdo a las características geo-mecánicas de la roca; su ángulo de inclinación, altura y otros detalles de diseño” (MTC, 2018, pág. 202).

- ✓ Calculado el buzamiento de la línea de intersección entre los buzamientos de los planos A y B ($\alpha_s = 83^\circ$), mediante el análisis cinemático, estamos en la condición de proponer el ángulo de inclinación del talud, tiene que ser menor que 83° , lo cual contradice la condición de formación del modo de falla tipo cuña ($\psi > \alpha > \Phi$).

- ✓ De acuerdo al (Manual de Carreteras-Diseño Geométrico DG 2018 P. 204) del MTC del Perú, el tipo de roca que mejor describe las condiciones locales es “Roca fija”, con alturas de corte mayores a 10 metros, la altura adecuada del talud en zona de corte estaría en relación (H:V) de (1:8).

Tabla 33. Valores referenciales para taludes en corte (relación H:V)

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

4.1.3. D3: Factor de Seguridad mediante la clasificación geomecánica SMR de Romana.

En la Tabla N° 27, se observa el resumen del análisis de estabilidad de taludes mediante la clasificación geomecánica SMR de Romana, da como resultado que el factor de seguridad para las ocho Estaciones Geomecánicas es Parcialmente Inestable.

4.1.4. D4: Factor de Seguridad por el método de Equilibrio Limite.

Una vez determinado el modo de falla estructural que controla la estabilidad del talud rocoso, con el software Dips 6.008 de ROCSCIENCE (ver tabla N° 30), se realizó el análisis de estabilidad, calculo manual, por el método de equilibrio límite (en condiciones estáticas y pseudoestáticas) para el modo de falla tipo cuña, en la EG-1 talud 2.

➤ **Tabla 34. Análisis de estabilidad del talud en EG – 1 Talud 2**

EG - 01 (Talud 2)					Peligro sísmico
Datos para analisis de falla por cuña					
Plano	Dip	Dip Direction	ϕ_p	Altura Talud(H)	a_x (Cm/s ²)
Plano (A)	85° (α_1)	27° (ψ_1)	39.35°		280
Plano (B)	86° (α_2)	119° (ψ_2)	38.98°		K
Talud	85° (ψ)	90°		20 m	1.0631
FS-e	0.143	FS-seudo-e	0.02	Condición	Inestable

Para el resto de Estaciones Geomecánicas se analizó con software Swedge v.4.0, para el modo de falla tipo cuña, el modo de falla plana, con software RocPlane v.2.0, de la compañía Rocscience.

➤ **Tabla 35. Análisis de estabilidad del talud en EG – 2 Talud 3**

EG - 02 (Talud 3)					Peligro sísmico
Datos para analisis de falla por cuña					
Plano	Dip	Dip Direction	ϕ_p	Altura Talud(H)	a_x (Cm/s ²)
Plano (A)	84°	36°	39.35°		280
Plano (B)	86°	128°	38.98°		K
Talud	85°	57°		18 m	1.0631
FS-e	0.15	FS-seudo-e	0.07	Condición	Inestable

➤ **Tabla 36. Análisis de estabilidad del talud en EG – 4 Talud 5 (fam2-fam3)**

EG - 04 (Talud 5)					Peligro sísmico
Datos para analisis de falla por cuña					
Plano	Dip	Dip Direction	ϕ_p	Altura Talud(H)	a_x (Cm/s ²)
Plano (A)	55°	226°	39.35°		280
Plano (B)	67°	121°	38.98°		K
Talud	81°	142°		10 m	1.0631
FS-e	1.06	FS-seudo-e	0.4	Condición	Inestable

➤ **Tabla 37. Análisis de estabilidad del talud en EG – 5 Talud 6**

EG - 05 (Talud 6)					Peligro sísmico
Datos para analisis de falla por cuña					
Plano	Dip	Dip Direction	ϕ_p	Altura Talud(H)	a_x (Cm/s ²)
Plano (A)	34°	211°	39.35°		280
Plano (B)	86°	117°	38.98°		K
Talud	80°	154°		16 m	1.0631
FS-e	1.3	FS-seudo-e	0.4	Condición	Inestable

➤ **Tabla 38. Análisis de estabilidad del talud en EG – 5 Talud 7**

EG - 05 (Talud 7)					Peligro sísmico
Datos para analisis de falla por cuña					
Plano	Dip	Dip Direction	ϕ_p	Altura Talud(H)	a_x (Cm/s ²)
Plano (A)	50°	61°	39.35°		280
Plano (B)	86°	117°	38.98°		K
Talud	80°	77°		16 m	1.0631
FS-e	0.69	FS-seudo-e	0.3	Condición	Inestable

➤ **Tabla 39. Análisis de estabilidad del talud en EG – 5 Talud 7**

EG - 05 (Talud 7)					Peligro sísmico
Datos para analisis para falla plana					
Plano	Dip	Dip Direction	ϕ_p	Altura Talud(H)	a_x (Cm/s ²)
Plano (A)	50°	61°	39.35°		280
Plano (B)	-	-	-		K
Talud	80°	77°		16 m	1.0631
FS-e	0.69	FS-seudo-e	0.29	Condición	Inestable

➤ **Tabla 40. Análisis de estabilidad del talud en EG – 7 Talud 9**

EG - 05 (Talud 7)					Peligro sísmico
Datos para analisis de falla por cuña					
Plano	Dip	Dip Direction	ϕ_p	Altura Talud(H)	a_x (Cm/s ²)
Plano (A)	40°	192°	39.35°		280
Plano (B)	50°	120°	38.98°		K
Talud	84°	89°		15 m	1.0631
FS-e	0.68	FS-seudo-e	0.29	Condición	Inestable

4.2. Discusión de resultados.

- ✓ Mediante la clasificación RMR y SMR, se obtuvo que la calidad del macizo rocoso es de 46, indicativo que pertenece a la clase IIIb, tipo normal, parcialmente inestable, donde el modo de falla predominante es el de tipo CUÑA.
- ✓ El Factor de Seguridad en las estaciones geomecánicas para los diferentes modos de falla da como resultados la condición de INESTABLE,
- ✓ El Factor de Seguridad disminuye considerablemente bajo la acción de las fuerzas sísmicas, muy común durante la construcción de obras lineales con taludes sobre roca, en donde el avance de la excavación se lleva a cabo mediante voladura.

4.3. Proceso de prueba de hipótesis.

4.3.1. Sistema de hipótesis.

H_0 : El análisis de estabilidad del talud en roca y el factor de seguridad, en la carretera Sarhua – Porta Cruz progresiva KM 35+000 - 2018, dan como resultado que el talud es estable ($\mu = 2$).

H₁: El análisis de estabilidad del talud en roca y el factor de seguridad, en la carretera Sarhua – Porta Cruz progresiva KM 35+000 - 2018, dan como resultado que el talud es inestable ($\mu < 2$).

4.3.2. Nivel de significancia (alfa, $\alpha=5\%$).

“El nivel de significación de una prueba estadística es un concepto estadístico asociado a la verificación de una hipótesis” (Wikipedia, 2015).

4.3.3. Estadística de prueba.

Para la prueba estadística de **t de Student**, utilizamos como datos los resultados de la caracterización del macizo según SMR y los factores de seguridad por el método de equilibrio límite.

Tabla 41. Valor SMR y Factor de Seguridad por Estación Geomecánica, Para taludes permanentes, el coeficiente de seguridad a adoptar debe ser igual o superior a 2.0

Estacion Geomecnica	Valor SMR	Valor SMR en Tanto por Uno	Factor de Seguridad Equilibrio limite
EG - 01	46 (parcialmente inestable)	0.92	0.16 (inestable)
EG - 02	42 (parcialmente inestable)	0.84	0.15 (inestable)
EG - 03	45 (parcialmente inestable)	0.90	0.90 (inestable)*
EG - 04	44 (parcialmente inestable)	0.88	1.06 (inestable)
EG - 05	41 (parcialmente inestable)	0.82	1.30 (inestable)
EG - 06	49 (parcialmente inestable)	0.98	0.98 (inestable)*
EG - 07	49 (parcialmente inestable)	0.98	0.68 (inestable)
EG - 08	49 (parcialmente inestable)	0.98	0.98 (inestable)*

* Se tomó valores de SMR, por que el análisis cinemático en estas EG no configura un tipo de línea de rotura.

Aplicamos la distribución t de Student para calcular la probabilidad de error (P) con la ecuación N°39, en el que se consideran los datos mostrados en la tabla N° 39.

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}} \dots\dots\dots 39$$

$$gl = n-1 \dots\dots\dots 40$$

Dónde:

X: Media muestral. (0.7763)

μ: Media poblacional hipotético. (2)

s: Desviación estándar. (0.4199)

n: Tamaño muestral. (8)

Aplicando la ecuación N° 39 se obtiene el valor de “t” de - **8.2404**, con la ecuación N° 40 obtenemos los grados de libertad (gl) igual a 7

Para el cálculo de la media muestral, desviación estándar incluyendo el valor “t”, utilice la herramienta para cálculo estadístico ofrecida libremente en la página web (http://vassarstats.net/t_single.html).

Para Calcular “t” (Valor Crítico) y P - Valor, hice uso de la herramienta para cálculo estadístico, ofrecida libremente en la página web (http://www.lock5stat.com/StatKey/theoretical_distribution/theoretical_distribution.html#t)

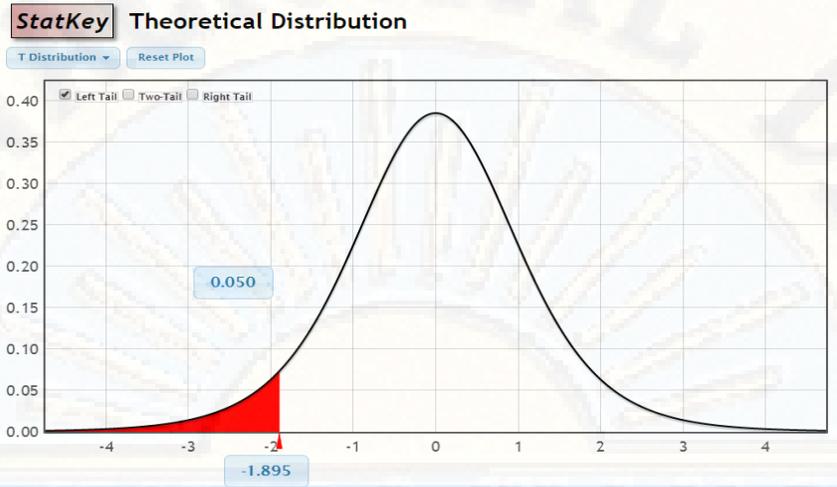


Figura 23. Valor crítico de la distribución "t"

$$t_{(-0.05,7)} = -1.895$$

4.3.4. Probabilidad de error (P – Valor).

Rechazamos la hipótesis nula si el p – valor asociado al resultado observado es igual o menor que el nivel de significación establecido, convencionalmente ($\alpha= 5\%$), encontrándose un P – Valor de 0.000038.

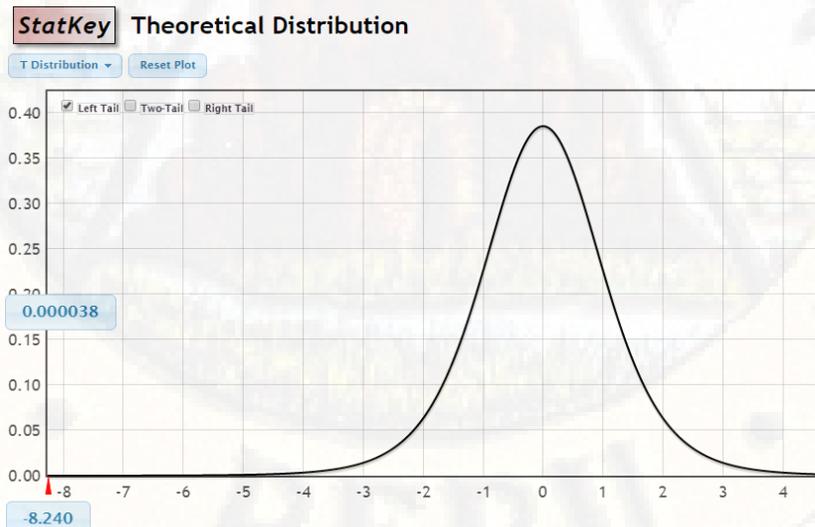


Figura 24. P – Valor

4.3.5. Toma de decisión.

1. Valor $P \leq \alpha \Rightarrow$ Rechazar H_0 al nivel α .

Rechazamos la hipótesis nula, y aceptamos la hipótesis alterna.

La caracterización del macizo rocoso y el análisis de la estabilidad de los taludes sobre roca, en la zona de estudio, permitió conocer que el talud es inestable y el factor de seguridad consiguiéndose el objetivo de este trabajo de tesis, gracias a los conocimientos adquiridos durante los estudios de maestría y la experiencia adquirida durante el trabajo de campo.

CONCLUSIONES

- ✓ Para calcular el factor de seguridad, se caracterizó el macizo rocoso de las ocho estaciones geomecánicas mediante el RMR y SMR, luego, mediante análisis del macizo rocoso utilizando el método de equilibrio límite por el medio determinístico se determinó el factor de seguridad.

Tabla 42. Resultados del Análisis de estabilidad y Factor de Seguridad

Estación Geomecánica	RMR	SMR	Condición	F.S.	F.S. Diseño	Talud	Condición	Condición Final
EG-01	58	46	Parcialmente Inestable	---	2	1	Inestable	P. Inestable
				0.16		2		Inestable
EG-02	60	42	Parcialmente Inestable	0.15	2	3	Inestable	Inestable
EG-03	60	45	Parcialmente Inestable	---	2	4		Parcialmente Inestable
EG-04	60	44	Parcialmente Inestable	1.06	2	5	Inestable	Inestable
EG-05	60	41	Parcialmente Inestable	1.3	2	6	Inestable	Inestable
				0.69		7	Inestable	Inestable
EG-06	63	49	Parcialmente Inestable	---	2	8		Parcialmente Inestable
EG-07	63	49	Parcialmente Inestable	0.68	2	9	Inestable	Inestable
EG-08	63	49	Parcialmente Inestable	---	2	10		Parcialmente Inestable
Condición General								Inestable

No todas las discontinuidades (estratos) producen la inestabilidad de un talud, en el talud en estudio existe la presencia de discontinuidades verticales y subverticales con azimut casi perpendicular a la cara del talud que no afecta la estabilidad del talud en la EG-01 talud 1, EG-03 talud 4, EG-06 talud 7, EG-08 talud 10 (macizo rocoso estratificado), los cuales fueron valorados mediante el SMR.

El Factor de Seguridad dominante a lo largo del talud en estudio tiene la condición de Inestable debido a:

- Pendientes pronunciadas del talud que favorece fenómenos gravitacionales.
 - La presencia de dos o más familias de estratos y discontinuidades, que se interrelacionan entre si y es desfavorable respecto al talud en estudio.
 - Alteraciones realizadas durante el proceso constructivo de la carretera (voladuras ineficientes).
 - La presencia de lluvias durante la época de diciembre a abril en forma ciclica.
- ✓ La caracterización del macizo rocoso mediante la clasificación RMR confirma el papel de las discontinuidades presentes y como condicionan en forma marcada las propiedades, el comportamiento de resistencia y deformación, la permeabilidad del macizo rocoso.
- ✓ La determinación del FS para el caso de estudio se ha realizado tanto para condiciones estáticas como pseudoestáticas, considerando El mapa de peligro sísmico o iso-aceleraciones para Ayacucho corresponde a las máximas aceleraciones horizontales del suelo, y las condiciones locales “Roca dura”.
- ✓ Se proponer un ángulo de inclinación del talud menor que la línea de intersección (rotura en cuña) y plano de rotura (rotura plana), y la altura adecuada del talud en zona de corte estaría en relación (H:V) de (1:8), (Ver sustento en el acápite 4.1.2. D2: Proponer la geometría de talud estable).

RECOMENDACIONES

- ✓ En taludes permanentes, el coeficiente de seguridad a adoptar debe ser igual o superior a 2.0, los valores arrojados mediante el SMR y métodos de equilibrio limite son inferiores a 1.3 en condiciones estáticas y 0.4 en condiciones pseudoestáticas, esto indica que el talud en general debe ser rediseñado con ángulos de talud adecuados, hasta alcanzar un factor de seguridad de 1.5 como mínimo y haciendo uso de anclajes sistemáticos, hasta alcanzar un factor de seguridad de 2.0.
- ✓ Los elevadas ángulos del talud (81° a 86°) que favorece fenómenos gravitacionales, y alturas que varían de 10 a 20 metros, sugieren una remodelación de la geometría del talud estudiado, que permitan la disminución de la pendiente y/o de la altura del mismo, tales como:
 - Descabezado de taludes.
 - Retirada de roca colgada.
 - Banqueo de los taludes.
- ✓ Señalizar los peligros geológicos en la vía, como medida de precaución para los transeúntes.
- ✓ Incluir en el Manual de carreteras diseño geométrico del MTC del Perú, el estudio detallado de la geomecánica de taludes sobre roca.
- ✓ Al MTC, Implementar, laboratorios de Mecánica de Rocas.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

Bibliografía

Armas Sagoya, J. M. (2004). Cartografía geológica estructural del valle de Huizachal, como base para el análisis de estabilidad del talud de la carretera, Rumbo Nuevo, México. Nuevo León: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN .

Ayala Carcedo, F., & Andreu Possé, F. (1984). Manual de Ingeniería de Taludes. Madrid: Instituto Geológico Minero de España, Guías y Manuales nº 3.

Catanzariti, F. (13 de junio de 2016). GeoStru. Obtenido de <https://www.geostru.eu/es/estabilidad-de-taludes/>

Coates, D. F. (1997). FUNDAMENTOS DE MECANICA DE ROCAS. Madrid: Litoprint.

Geologia de Mallorca. (2006). ESTUDIO ESTABILIDAD DE TALUDES TALUD 2 CANTERA COMA DE S'AIGUA, (CAMPANET) eXP. 1304/06. Mallorca: GEOMA.

Gobierno Regional Ayacucho. (2004). 2-00130 Construcción Carretera Sarhua - Porta Cruz. Gobierno Regional Ayacucho, Ayacucho. Ayacucho: Gerencia Regional de Infraestructura.

González de Vallejo, L. (2002). Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson Educación, S.A.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la Investigación (6 ed.). México D.F.: Mc Graw Hill Education.

Hoek, E., Carranza-Torres, C., & Corkum, B. (2002). El criterio de rotura de Hoek-Brown – Edición 2002. Vancouver.

INGEMMET. (2016). Geología de los cuadrángulos de Huancapi, Chincheros, Querobamba, y Chaviña, Hojas 28-ñ, 28-o, 29-o, 30-o. Lima.

Instituto Geológico y Minero de España. (2006). Manual de Ingeniería Taludes (2 ed.). Madrid: Manual de Ingeniería Taludes.

Instituto Tecnológico de Chihuahua. (01 de enero de 2003). Contenido. Recuperado el 21 de abril de 2018, de <http://www.itchihuahua.edu.mx/academic/industrial/estadistica1/cap02c.html>

Instituto Tecnológico GeoMinero de España. (1987). Manual de ingeniería de Taludes. Madrid: ITGE.

Jumikis, A. R. (1983). ROCK MECHANICS (2 ed.). Trans Tech publications.

Lynn Peterson, J. (1999). Probability Analysis of Slope Stability. Virginia: (Collage of Engineering and Mineral Resources at West Virginia University, Morgantown West Virginia ,1999.

Melentijevic, S. (2005). Estabilidad de Taludes en macizos rocosos con criterios de rotura no lineales y leyes de fluencia no asociada. Madrid: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.

Ministerio de Agricultura, Perú. (s.f.). Ministerio de Agricultura y riego. Recuperado el 10 de junio de 2019, de https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/evaluacion_rh_superficiales_ri_o_pampas_0.pdf

Morales Cabrera, D. U. (2000). Análisis y Diseño de Taludes Mediante Métodos Computacionales. Lima: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA.

Morales Cárdenas, M. O. (2009). Caracterización geotécnica y determinación de ángulos de talud en yacimiento Franke. Santiago: Universidad de Chile.

MTC. (2018). Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018. Lima: Dirección general de caminos y ferrocarriles.

Nunez, A. L., Gavilanes Jiménez, H., & Fontoura, S. A. (2000). Análisis de la estabilidad de taludes mineros por métodos numéricos. memorias del IV Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia. São Paulo, Brasil: ABMS - EPUSP, 2000., 10.

Organización Internacional de Normalización. (2015). ISO 14001:2015. Ginebra, Suiza: ISO.

Ortega Cáceres, G. (2018). Infecciones maternas y el riesgo de pre-eclampsia: un estudio de casos y controles en un establecimiento del tercer nivel de atención, 2016. Lima: el autor.

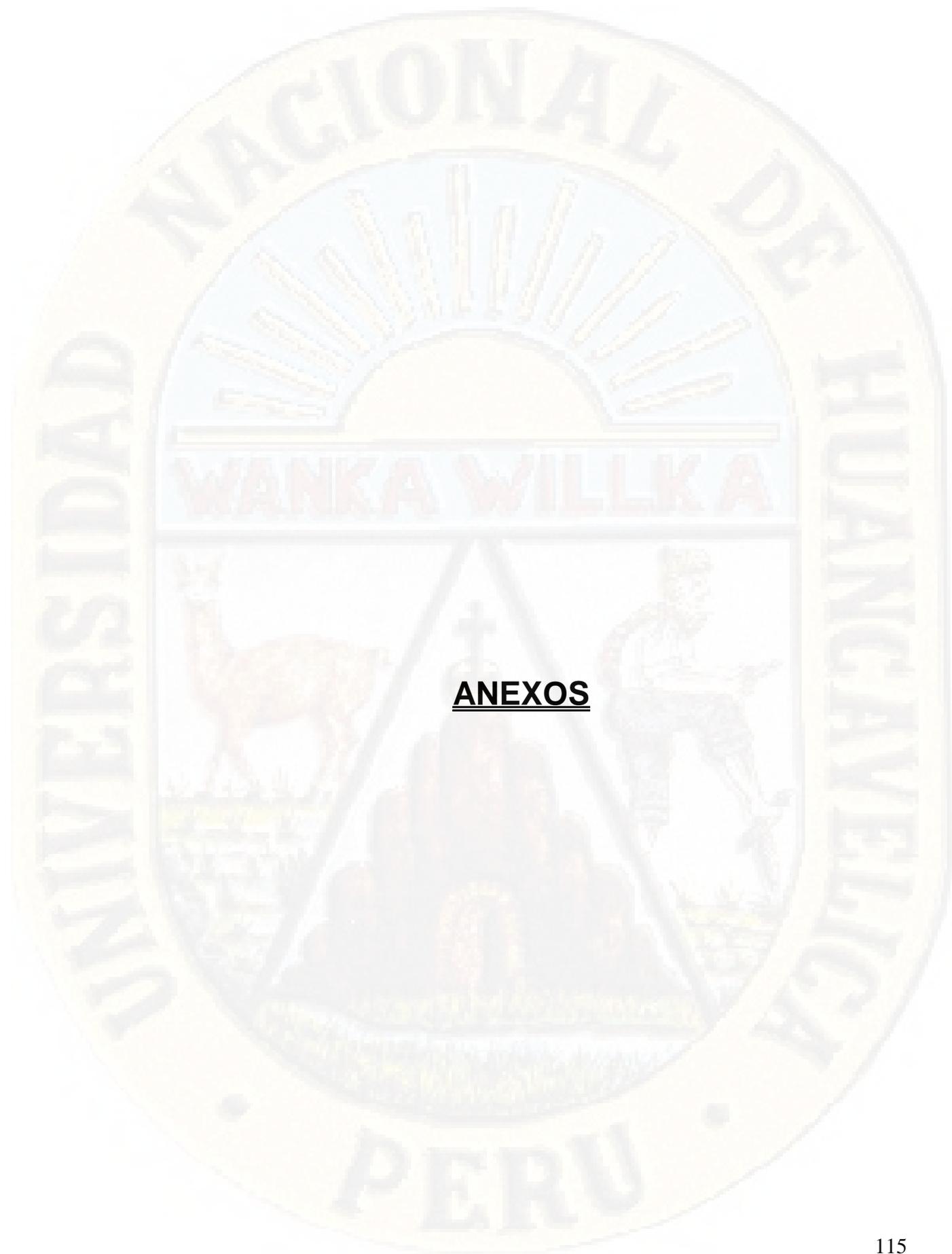
Ramírez Oyanguren, P., & Alejano Monge, L. (2004). Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes. Madrid.

Read, J., & Stacey, P. (2009). Guidelines for Open Pit Slope Design (1 ed.). Australia: CSIRO Publishing.

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

ROMANA RUIZ, M., SERÓN GÁÑEZ, J. B., & MONTALAR YAGO, E. (27 a 30 de noviembre de 2001). LA CLASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA SMR: APLICACIÓN, EXPERIENCIAS Y VALIDACIÓN. V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Madrid, España.

- ROMANA RUIZ, M., SERÓN GÁÑEZ, J. B., & MONTALAR YAGO, E. (27 a 30 de Noviembre de 2001). LA CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA SMR: APLICACIÓN, EXPERIENCIAS Y VALIDACIÓN. Madrid, España: Departamento de Ingeniería del Terreno, Universidad Politécnica de Valencia.
- Shutton, J. B. (1989). Problemas Resueltos de Mecánica del Suelo. Madrid: Librería Editorial.
- 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.
- SUAREZ, J. (2009). DESLIZAMIENTOS: ANALISIS GEOTECNICO. Bucaramanga – Colombia: División de Publicaciones UIS.
- Suárez-Burgoa, L. O. (2014). Descripción del MACIZO ROCOSO. Medellín: El Autor.
- Tavera Huarache, H. (2018). Sismo de lomas – Yauca del 14 de Enero del 2018 (Caravelí – Arequipa): Aspectos sismológicos. Lima: IGP.
- Tomás Jover, R., Ferreiro Prieto, I., Sentana Gadea, I., & Díaz Ivorra, M. C. (2002). Aplicaciones de la Proyección Estereográfica. XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica (pág. 10). Santander: Ingegraf.
- Torrijo Echarri, F. J., & Córtes Gimeno, R. (2007). Los Suelos y las Rocas en Ingeniería Geológica. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- UCAR NAVARRO, R. (2002). Manual de Anclajes en obras de Tierras. Mérida: Facultad de Ingeniería, Mérida Venezuela.
- Valiente Sanz, R., Sobrecases Martí, S., & Díaz Orrego, A. (2015). Estabilidad de Taludes: Conceptos Básicos, Parámetros de Diseño y Métodos de Cálculo. CIVILIZATE N° 7, 54.
- Velásquez Andahua, J. S. (2017). APLICACIÓN DEL SMR AL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA MINA KADI II DE LA EMPRESA PRODUCTOS CALCAREOS KADI S.R.L.- 2016. Huaraz: UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO.
- Wikipedia. (1 de marzo de 2015). Wikipedia la enciclopedia libre. Recuperado el 9 de junio de 2019, de https://es.wikipedia.org/wiki/Significaci%C3%B3n_estad%C3%ADstica



ANEXOS



ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA.

Título: Factor de Seguridad y Análisis de Estabilidad del Talud en Roca, en la Carretera Sarhua – Porta Cruz,
Progresiva Km 35+000 – 2018

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>1. Problema General</p> <p>¿Cuál será la estabilidad del talud en roca y el factor de seguridad, en la carretera Sarhua – Porta Cruz progresiva KM 35+000 - 2018?</p> <p>2. Problemas Específicos</p> <p>> ¿Cómo es la caracterización geomecánica del macizo rocoso en el talud de la carretera Sarhua – Porta Cruz progresiva KM 35+000 - 2018?</p> <p>> ¿Cuál es el factor de seguridad utilizando la clasificación geomecánica SMR, del talud en roca en la carretera Sarhua – Porta Cruz</p>	<p>1. Objetivo General</p> <p>Determinar la estabilidad del talud en roca y el factor de seguridad, en la carretera Sarhua – Porta Cruz progresiva KM 35+000, - 2018.</p> <p>2. Objetivos Específicos</p> <p>> Caracterizar geomecánicamente el macizo rocoso del talud en la carretera Sarhua – Porta Cruz progresiva KM 35+000 - 2018.</p> <p>> Determinar el factor de seguridad utilizando la clasificación geomecánica SMR, del talud en roca en la carretera Sarhua – Porta Cruz progresiva KM 35+000 - 2018.</p> <p>> Determinar el factor de</p>	<p>1. Hipótesis General</p> <p>El análisis de estabilidad del talud en roca y el factor de seguridad, en la carretera Sarhua – Porta Cruz progresiva KM 35+000 - 2018, dan como resultado que el talud es inestable.</p> <p>2. Hipótesis Específicos</p> <p>> El Factor de seguridad es valorada mediante la clasificación geomecánica SMR, para el talud en roca en la carretera Sarhua – Porta Cruz progresiva KM 35+000 - 2018.</p> <p>> Utilizando el método de</p>	<p>1. Variable</p> <p>v1. Estabilidad del talud.</p> <p>v2. Factor de seguridad.</p>	<p>1. Tipo de Investigación.</p> <p>La investigación es de tipo aplicada por que busca la generación de conocimiento con aplicación directa a los problemas de la sociedad esta se basa fundamentalmente en los hallazgos tecnológicos.</p> <p>Diseño de Investigación</p> <p>Por las características de la investigación, el diseño corresponde al tipo No Experimental-transversal ya que no se manipula la variable independiente, limitándonos a observar lo que pasa, para luego analizarlos.</p> <p>2. Nivel de investigación.</p> <p>La investigación es de nivel descriptivo por que se evalúa</p>

<p>progresiva KM 35+000 - 2018?</p> <p>> ¿Cuál será el factor de seguridad para condiciones estática como pseudoestáticas, en el talud rocoso de la carretera Sarhua – Porta Cruz progresiva KM 35+000 – 2018?</p> <p>> ¿Cuál será la geometría del talud estable, utilizando el método de equilibrio límite en el talud de la carretera Sarhua – Porta Cruz progresiva KM 35+000 - 2018?</p>	<p>seguridad para condiciones estática como pseudoestáticas, en el talud rocoso de la carretera Sarhua – Porta Cruz progresiva KM 35+000 - 2018.</p> <p>> Proponer la geometría del talud estable, utilizando el método de equilibrio límite en el talud de la carretera Sarhua – Porta Cruz progresiva KM 35+000 – 2018.</p>	<p>equilibrio limite encontramos el factor de seguridad para condiciones estática como pseudoestáticas, en el talud rocoso de la carretera Sarhua – Porta Cruz progresiva KM 35+000 - 2018.</p> <p>> Con el método de equilibrio limite podemos proponer la geometría del talud estable, en el talud de la carretera Sarhua – Porta Cruz progresiva KM 35+000 – 2018.</p>		<p>los diversos aspectos, dimensiones, componentes, características de las variables</p> <p>Población.</p> <p>Los datos fueron recabados en forma directa de la fuente primaria o campo, sobre el macizo rocoso de del talud de corte.</p> <p>3. Muestra.</p> <p>El muestreo se realizó de manera determinística utilizando las características geotécnicas y geométricas del talud.</p> <p>4. Técnica de recolección de datos</p> <p>La técnica de colección de datos que se utilizó fue la Observación científica, porque la toma de datos se realizó en forma sistemática, controlada</p> <p>5. Procesamiento y análisis de los datos</p> <ul style="list-style-type: none"> > RMR, SMR, Método de equilibrio limite. > aplicación de Software especializados. > “t” de student. > Nivel de significancia 5%.
---	--	--	--	--



ANEXO 2: MAPEO GEOMECÁNICO RMR.

MAPEO GEOMECÁNICO RMR

PROYECTO:		RESISTENCIA DE LA ROCA	
COORDENADAS (x,y,z):		Poco competente	
REALIZADO POR:		Competencia Intermedia	
ORIENTACIÓN DEL TALUD:		Competencia Alta	
ALTURA LITOSTATICA:		sv = Esfuerzo Vertical h = Altura Litostática	
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (Bieniawski, 1989):		Sv=0,0277 h	
RESISTENCIA DE LA ROCA		UCS/Sv ≤ 8	
RESISTENCIA DE LA ROCA		8 < UCS/Sv ≤ 15	
RESISTENCIA DE LA ROCA		UCS/Sv > 15	
RESISTENCIA DE LA ROCA		sv = Esfuerzo Vertical	
RESISTENCIA DE LA ROCA		h = Altura Litostática	
RESISTENCIA DE LA ROCA		0,0277=Constante Universal	

PARAMETRO		EG-1	EG-2	EG-3	EG-4	EG-5	EG-6	EG-7	EG-8
numero de fracturas									
condición en RPE									
SARCOMENTO MEDIDA		X							
FRACCIÓN/METRO		I							
N° DE FRACCIÓN		JV							
RANGO DE CAMBIO DE LA RQD		RQD %							
DESCRIPCION									
J=1(X)									

DATOS GENERALES (EG-4)		LITOLÓGIA (3)	
Tipo de plano (1)		Relleno (2)	
E Estratificado	C Anclajes y Bases	Q1 Oñales	Es Esquistos
S Esquistado	G Arenas	Q2 Cuarcos	Bc Sarcoclastos
J Juntas	G Grutas	Cc Carbonatos	Gr Rocas graníticas
F Fallas	B Brechas	F Faldones	Cz Calizas
S Sarcoclastos	M Micas	M Micas	V Rocas volcánicas
D Desechos	M Micas	M Micas	V Rocas volcánicas
	M Micas	M Micas	V Rocas volcánicas
	M Micas	M Micas	V Rocas volcánicas

CARACTERIZACIÓN DE LA ROCA MATRIZ		CARACTERIZACIÓN DE LAS JUNTAS Y DISCONTINUIDADES DEL MACIZO ROCOSO										CARACTERIZACIÓN DEL RELLENO																																										
N°	LITOLÓGIA (3)	TIPO DE PLANO (1)	BUZAMIENTO (°)	RESISTENCIA (Mpa) (RMR, 1989)	ROD (RMR, 1989)	METEORIZACIÓN (RMR, 1989)	ESPACIAMIENTO (RMR, 1989)	PERSISTENCIA (RMR, 1989)	APERTURA (mm) (RMR, 1989)	RUGOSIDAD (RMR, 1989)	RELLENO (RMR, 1989)	METEORIZACIÓN (BRM, 1981)	HUMEDAD (%) (Bieniawski, 1989)	RESISTENCIA (Mpa) (BRM, 1981) (4)	CARACTERIZACIÓN DEL RELLENO																																							
															1- > 200 Mpa	2- 100-200 Mpa	3- 50-100 Mpa	4- 25 Mpa	5- < 25 Mpa	6- 1-90-100%	7- 75-90%	8- 50-75%	9- 25-50%	10- < 25%	1- No meteorizada	2- Ligero meteorizada	3- Moderadamente meteorizada	4- Moderada meteorizada	5- Discorregulada	1- > 2 m	2- 0,6-2 m	3- 200-600 mm	4- 100-200 mm	5- < 100 mm	1- < 1 m	2- 1-3 m	3- 3-10 m	4- 10-20 m	5- > 20 m	1- Gravedad	2- Muy Angosta < 1 mm	3- Angosta 1 - 1,0 mm	4- Abierta 1,0 - 5,0 mm	5- Muy Abierta > 5,0 mm	1- Muy rugosa	2- Rugosa	3- Ligero meteorizada	4- Lisa	5- Muy lisa	1- Arena	2- Relleno duro < 5mm	3- Relleno duro > 5mm	4- Relleno blando < 5mm	5- Relleno blando > 5mm



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

MAPEO GEOMECÁNICO RMR

DATOS GENERALES (EG - 7)		RESISTENCIA DE LA ROCA	
PROYECTO:		Poco competente	
COORDENADAS (N, E, Z):		UCSISv ≤ 6	
REALIZADO POR:		B < UCSISv ≤ 15	
ORIENTACIÓN DEL TALUD:		Competencia Intermedia	
ALTIMETRIA LITOSTATICA:		Competencia Alta	
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (Bianawski, 1989):		SV = 0.027 * h	
		h = Altura Litostática	
		0.027 = Constante Universal	

RELLENO (2)		LITOLÓGIA (3)	
C Arcillas y limas	Gn Oxitos	Pz Puzos	Es Esquistos
S Arenas	Q Cuarzos	Ge Graniticas	Sic Siccobaxitas
G Gravas	Cc Carbonatas	Ar Andesitas	Gf Rocas graníticas
B Scales	F Felsitas	Cu Calizas	V Rocas volcánicas
M Miltos	Mt Miltos	Ma Mármol	
D Desechos	Ma Miltos	Ac Aciltes	
		Mg Margas	

CARACTERIZACIÓN DE LAS JUNTAS Y DISCONTINUIDADES DEL MACIZO ROCOSO																												
Nº	TIPO DE PLANO (1)	RESISTENCIA (MPa) (RMR, 1989)	RQD (RMR, 1989)	METEORIZACIÓN (RMR, 1989)	ESPACIAMIENTO (RMR, 1989)	PERSISTENCIA (RMR, 1989)	APERTURA (mm) (RMR, 1989)	RUGOSIDAD (RMR, 1989)	RELLENO (RMR, 1989)	CARACTERIZACIÓN DEL RELLENO																		
										HUMEDAD (%) (Bianawski, 1989)	METEORIZACIÓN (RMR, 1981)	RESISTENCIA (MPa) (RMR, 1981) (4)																
1	E 33 185	15	12	7	4	2	20	17	13	8	3	5	3	1	0	25	15	10	7	4	0	35	30	35	34	35	36	
2	E 14 180	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	E 28 191	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	E 38 198	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5	E 40 191	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
6	E 38 190	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7	E 34 200	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
8	E 36 192	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
9	E 50 113	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
10	D 48 190	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
11	D 43 240	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
12	D 43 240	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
13	E 48 191	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
14	E 44 179	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
15	E 33 185	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
16	E 48 188	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
17	E 38 180	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
18	E 41 194	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
19	E 39 187	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
20	E 48 190	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
21	E 32 175	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
22	E 44 191	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
23	E 47 189	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
24	E 38 181	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
25	E 44 180	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
26	E 39 180	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

CARACTERIZACIÓN DE LA ROCA										CARACTERIZACIÓN DEL RELLENO																			
RESISTENCIA DE LA ROCA					RUGOSIDAD					RELLENO					METEORIZACIÓN					HUMEDAD (%)					RESISTENCIA (MPa)				
RQD = 100 x e ^{-0.1(λ + 1)}					RMR					RMR					RMR					Bianawski					RMR				
Dónde: λ = IJK																													



ANEXO 3: ENSAYOS DE LABORATORIO.



LABORATORIO DE
MECANICA DE ROCAS
FIMGC-UNSH

Av. Independencia S/N
Telef. (066) 312510 Anexo 151
Ayacucho - Perú

**PROPIEDADS FISICAS DE LA ROCA
(ASTM C-97-02)**

SOLICITADO POR: Ing° Darwin Ortega Cáceres (Tesis).
TESIS: "Factor de Seguridad y Análisis de Estabilidad del Talud en Roca en la Carretera Sarhua - Portacruz, Progresiva: Km. 35+00 - 2018".

ESTRUCTURA: MUESTRA: N° 01
PROCEDENCIA: Lugar: Ñeqesqa Provincia: Huancasancos Roca del talud en roca.
Distrito: Sarhua Depto. Ayacucho

MUESTRA	VOLUMEN cm ³	PESO NATUR. gr.	PESO SECO gr.	PESO SATUR. gr.	DENSIDAD gr./cm ³	ABSORCION %	POROSIDAD %	NOMBRE DE ROCA
Roca talud	25.50	66.20	65.90	66.30	2.58	0.61	1.57	Caliza

FECHA: Enero del 2019

LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS
FIMGC - UNSH.
Grover Rubina Salazar
ING. GROVER RUBINA SALAZAR
RESPONSABLE



LABORATORIO DE
MECANICA DE ROCAS
FIMGC - UNSCH

Av. Independencia s/n
Telef.(066) -312510 Anexo 151
Ayacucho - Perú

RESULTADOS DE ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE (ASTM D-2938)

Ing° Darwin Ortega Cáceres

SOLICITADO POR: "Factor de Seguridad y Análisis de Estabilidad del Talud en Roca en la Carretera Sarhua - Portacruz, Progresiva Km. 35+000"
TESIS: - 2018".

ESTRUCTURA:

MUESTRA: N° 01 Roca del talud en roca
Carretera Sarhua - Portacruz
Km. 35+000

PROCEDENCIA:

Provincia: Huancasancos
Depto: Ayacucho

Lugar: Ñequesa
Distrito: Sarhua

MUESTRA	PROBETA		CARGA DE ROTURA Kg	RESISTENCIA COMPRESION UNIAIXIAL		NOMBRE DE LA ROCA
	Diámetro cm.	Longitud cm.		Area cm ²	Kg/cm ²	
N° 01	3.43	6.87	6,553	709.19	69.53	Caliza

FECHA: Enero del 2019

OBSERVACION: (*) Corregida según Prodyakonov (L/D=z)

LABORATORIO DE MECANICA DE ROCAS
FIMGC - UNSCH.

Janet Rueda
ING. GROVER RUBINA SALAZAR
RESPONSABLE



LABORATORIO DE
MECANICA DE ROCAS
UNSCH - FIMGC

Av. Independencia s/n
Telef.(066)-312510 Anexo 151
Ayacucho Perú

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO
(ASTM D-4554)**

SOLICITADO POR: Ing° Darwin Ortega Cáceres (Tesista)
TESIS: "Factor de Seguridad y Análisis de Estabilidad del Talud en Roca, en la Carretera Sarhua - Portacruz, Progresiva Km. 35+000 - 2018".

ESTRUCTURA: MUESTRA: N° 01
PROCEDENCIA: Lugar: Ñeqesqa Roca en Talud en roca
Distrito: Sarhua Carretera Sarhua - Portacruz
Provincia: Huancasancos Km. 35+000
Depto: Ayacucho AREA: 16.47 cm²

CARGA NORMAL (KN): 3.00	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
1.36	22
1.49	23
1.62	24

CARGA NORMAL (KN): 4.00	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
1.85	27
1.99	28
2.13	29

CARGA NORMAL (KN): 5.0	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
2.37	32
2.51	33
2.64	34

CARGA NORMAL (KN): 6.0	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
2.88	37
3.01	38
3.15	39

RESUMEN	
ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO DE CORTE
	Kg/cm ²
16.91	9.14
22.54	12.01
28.18	14.89
33.81	17.76

RESULTADOS	
COHESION ©	ANGULO FRICCION φ
Kg/cm ²	Grados
1.53	27°

DESCRIPCION DE LA MUESTRA:
La muestra de roca corresponde a una CALIZA, de color gris oscuro.
La roca es compacto y duro.

FECHA: Enero del 2019.

LABORATORIO DE MECANICA DE ROCAS
FIMGC - UNSCH.
Grover Rubina Salazar
ING. GROVER RUBINA SALAZAR
RESPONSABLE

RESULTADOS ENSAYO CORTE DIRECTO

TESIS: "Factor de Seguridad y Análisis de Estabilidad de Talud en Roca, en la Carretera Sarhua - Portacruz
 Progresiva Km. 35+000 - 2018".

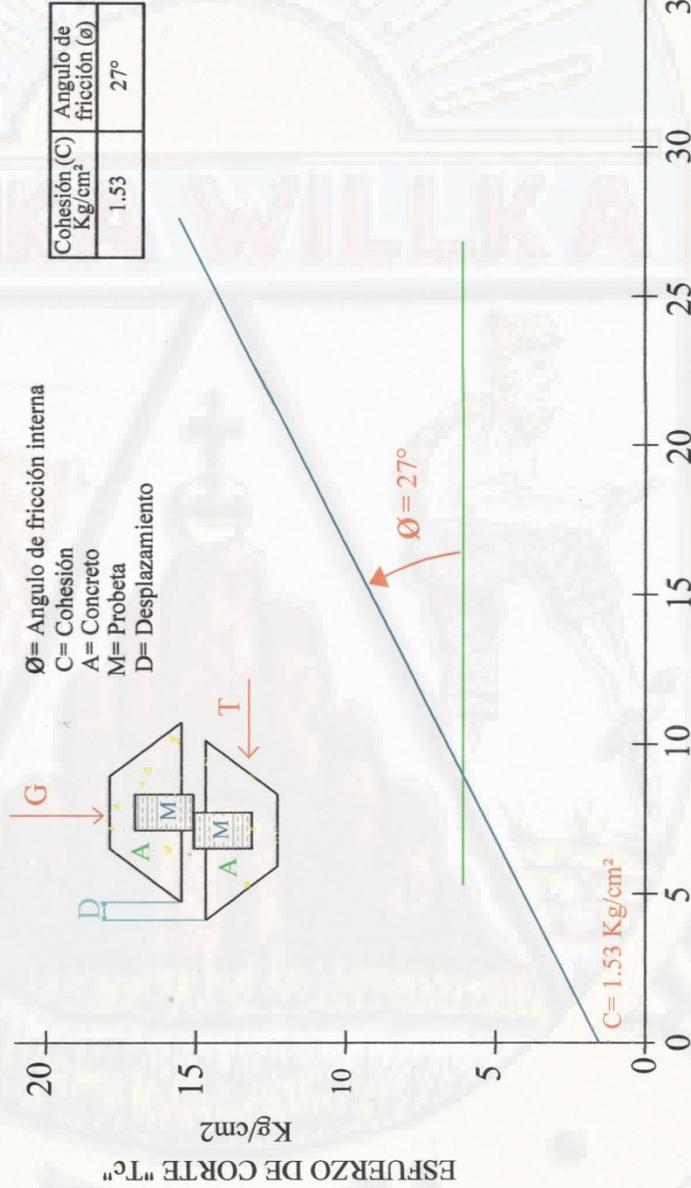
UBICACION: Lugar: Ñeqesqa
 Distrito: Sarhua

MUESTRA: N° 01 Roca de talud en roca - Carretera Sarhua Portacruz Km. 35+000

FECHA: Enero del 2019

Provincia: Huancasancos
 Departamento: Ayacucho

ROCA: Caliza



LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS
 EMIGC - UNMSM

[Signature]
 ING. GIOVANA RUBINA SALAZAR
 RESPONSABLE

GRAFICO N° 1



LABORATORIO DE
MECANICA DE ROCAS
FMGC - UNSCH

Av. Independencia s/n
Telef.(066) -312510 Anexo 151
Ayacucho - Perú

RESULTADOS DE ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE (ASTM D-2938)

SOLICITADO POR:
PROYECTO:

Ing° Darwin Ortega Cáceres
"Factor de Seguridad y Análisis de Estabilidad del Talud en Roca en la Carretera Sarhua - Portacruz, Progresiva Km. 35+000 - 2018".

ESTRUCTURA:

MUESTRA: N° 02 Roca del talud en roca
Carretera Sarhua - Portacruz

PROCEDENCIA:

Provincia: Huancasancos
Depto: Ayacucho

Lugar: Ñequesqa
Distrito: Sarhua

MUESTRA	PROBETA		CARGA DE ROTURA Kg	RESISTENCIA COMPRESION UNIAXIAL		NOMBRE DE LA ROCA
	Díámetro cm.	Longitud cm.		Area cm ²	Kg/cm ²	
N° 02	3.43	6.86	6,376	690.03	67.65	Caliza

FECHA: Enero del 2019

OBSERVACION: (*) Corregida según Prodyakonov (L/D=2)

LABORATORIO DE MECANICA DE ROCAS
FMGC - UNSCH

Tom Riba
ING. ROVER RUBEN SALAZAR
RESPONSABLE



LABORATORIO DE
MECANICA DE ROCAS
UNSC - FIMGC

Av. Independencia s/n
Telef. (066)-312510 Anexo 151
Ayacucho Perú

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO
(ASTM D-4554)**

SOLICITADO POR: Ing° Darwin Ortega Cáceres (Tesista)
PROYECTO: "Factor de Seguridad y Análisis de Estabilidad del Talud en Roca, en la Carretera Sarhua - Portacruz, Progresiva Km. 35+000 - 2018".

ESTRUCTURA: MUESTRA: N° 02
PROCEDENCIA: Lugar: Ñequesqa Roca del Talud en roca
Distrito: Sarhua Carretera Sarhua - Portacruz
Provincia: Huancasancos
Depto: Ayacucho AREA: 16.47 cm²

CARGA NORMAL (KN): 3.00	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
1.48	23
1.61	24
1.74	25

CARGA NORMAL (KN): 4.00	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
1.95	28
2.09	29
2.23	30

CARGA NORMAL (KN): 5.0	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
2.46	33
2.60	34
2.73	35

CARGA NORMAL (KN): 6.0	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
2.95	38
3.08	39
3.22	40

RESUMEN	
ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO DE CORTE
	Kg/cm ²
17.78	10.30
23.71	13.23
29.64	16.16
35.57	19.09

RESULTADOS	
COHESION ©	ANGULO FRICCION Φ
Kg/cm ²	Grados
1.51	26.3°

DESCRIPCION DE LA MUESTRA:
La muestra de roca corresponde a una CALIZA, de color gris oscuro.
La roca es compacto y duro.

FECHA: Enero del 2019.

LABORATORIO DE MECANICA DE ROCAS
FIMGC - UNSCH

ING. GROVER RUBINA SALAZAR
RESPONSABLE

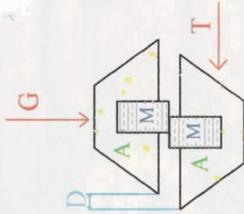
RESULTADOS ENSAYO CORTE DIRECTO

TESIS: "Factor de Seguridad y Análisis de Estabilidad del Talud en Roca, en la Carretera Sarhua-Portacruz, Progresiva Km. 35+000 - 2018".

UBICACION: Lugar: Ñeqesqa
 Distrito: Sarhua
 MUESTRA : N° 2 Roca del Talud en Roca.
 FECHA: Enero del 2019

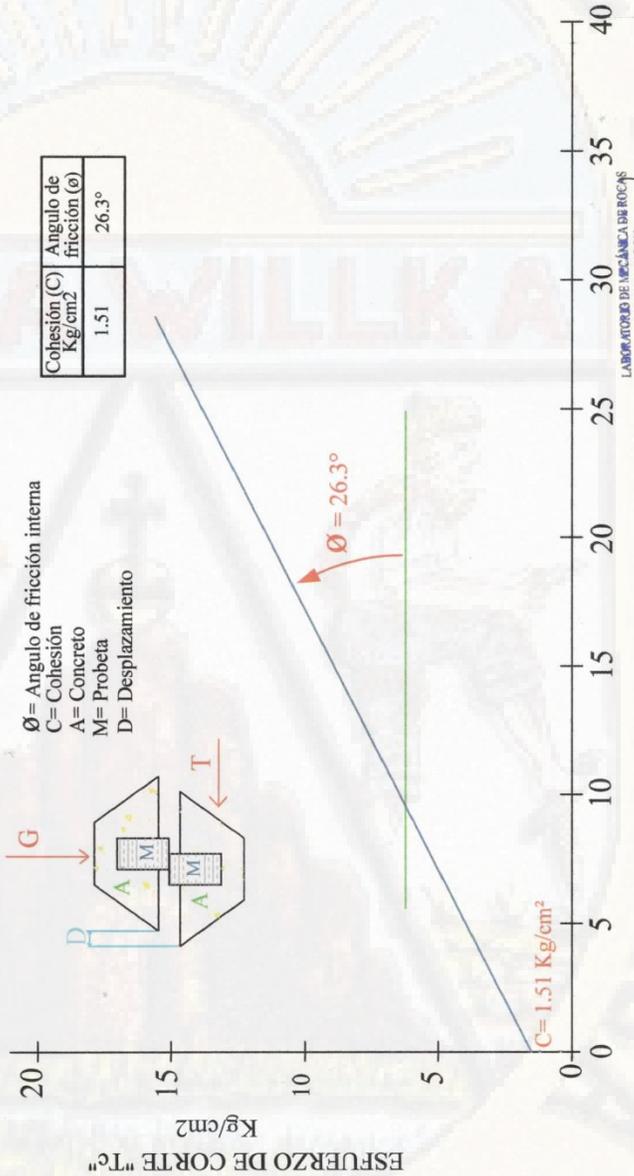
Provincia: Huancasancos
 Departamento: Ayacucho

ROCA: Caliza



ϕ = Angulo de fricción interna
 C = Cohesión
 A = Concreto
 M = Probeta
 D = Desplazamiento

Cohesión (C) Kg/cm ²	Angulo de fricción (ϕ)
1.51	26.3°



LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS
 FMGC - UNOH.
 ING. JOVER RUBINA SALAZAR
 RESPONSABLE

ESFUERZO NORMAL "Gn", Kg/cm²

GRAFICO N° 1



LABORATORIO DE
MECANICA DE ROCAS
FIMGC - UNSCH

Av. Independencia s/n
Telef.(066) -312510 Anexo 151
Ayacucho - Perú

RESULTADOS DE ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE (ASTM D-2938)

SOLICITADO POR:
PROYECTO:

Ing° Darwin Ortega Cáceres
"Factor de Seguridad y Análisis de Estabilidad del Talud en Roca en la Carretera Sarhua - Portacruz, Progresiva Km. 35+000 - 2018".

ESTRUCTURA:

MUESTRA: N° 03 Roca del talud en roca
Carretera Sarhua - Portacruz

PROCEDECENCIA:

Provincia: Huancasancos
Depto: Ayacucho

Lugar: Nequesqa
Distrito: Sarhua

MUESTRA	PROBETA		CARGA DE ROTURA kg	RESISTENCIA COMPRESION UNIAXIAL		NOMBRE DE LA ROCA
	Diámetro cm.	Longitud cm.		Area cm ²	Kg/cm ²	
N° 03	3.43	6.86	7.066	764.71	74.97	Caliza

FECHA: Enero del 2019

OBSERVACION: (*) Corregida según Prodyakonov (L/D=2)

LABORATORIO DE MECANICA DE ROCAS
FIMGC - UNSCH.

ING. GOVEBERRIA SALAZAR
RESPONSABLE



LABORATORIO DE
MECANICA DE ROCAS
UNSCH - FIMGC

Av. Independencia s/n
Telef.(066)-312510 Anexo 151
Ayacucho Perú

ENSAYO DE CORTE DIRECTO (ASTM D-4554)

SOLICITADO POR:
PROYECTO:

Ing° Darwin Ortega Cáceres (Tesisista)
"Factor de Seguridad y Análisis de Estabilidad del Talud en Roca, en la Carretera Sarhua -
Portacruz, Progresiva Km. 35+000 - 2018".

ESTRUCTURA:
PROCEDENCIA:

Lugar: Ñeqesqa
Distrito: Sarhua
Provincia: Huancasancos
Depto: Ayacucho

MUESTRA: N° 03
Roca del Talud en roca
Carretera Sarhua - Portacruz

AREA: 16.47 cm²

CARGA NORMAL (KN): 3.00	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
1.55	26
1.68	27
1.81	28

CARGA NORMAL (KN): 4.00	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
2.04	31
2.18	32
2.32	33

CARGA NORMAL (KN): 5.0	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
2.56	36
2.70	37
2.83	38

CARGA NORMAL (KN): 6.0	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
3.08	41
3.21	42
3.35	43

RESUMEN	
ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO DE CORTE
	Kg/cm ²
17.86	10.76
23.81	13.82
29.77	16.88
35.72	19.94

RESULTADOS	
COHESION ϕ	ANGULO FRICCIÓN ϕ
Kg/cm ²	Grados
1.58	27.2°

DESCRIPCION DE LA MUESTRA:
La muestra de roca corresponde a una CALIZA, de color gris oscuro.
La roca es compacto y duro.

FECHA: Enero del 2019.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS
FIMGC - UNSCH

ING. GROVER RUBINA SALAZAR
RESPONSABLE

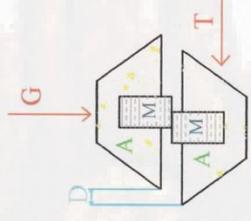
RESULTADOS ENSAYO CORTE DIRECTO

TESIS: "Factor de Seguridad y Análisis de Estabilidad del Talud en Roca, en la Carretera Sarhua-Portacruz, Progresiva Km. 35+000 - 2018".

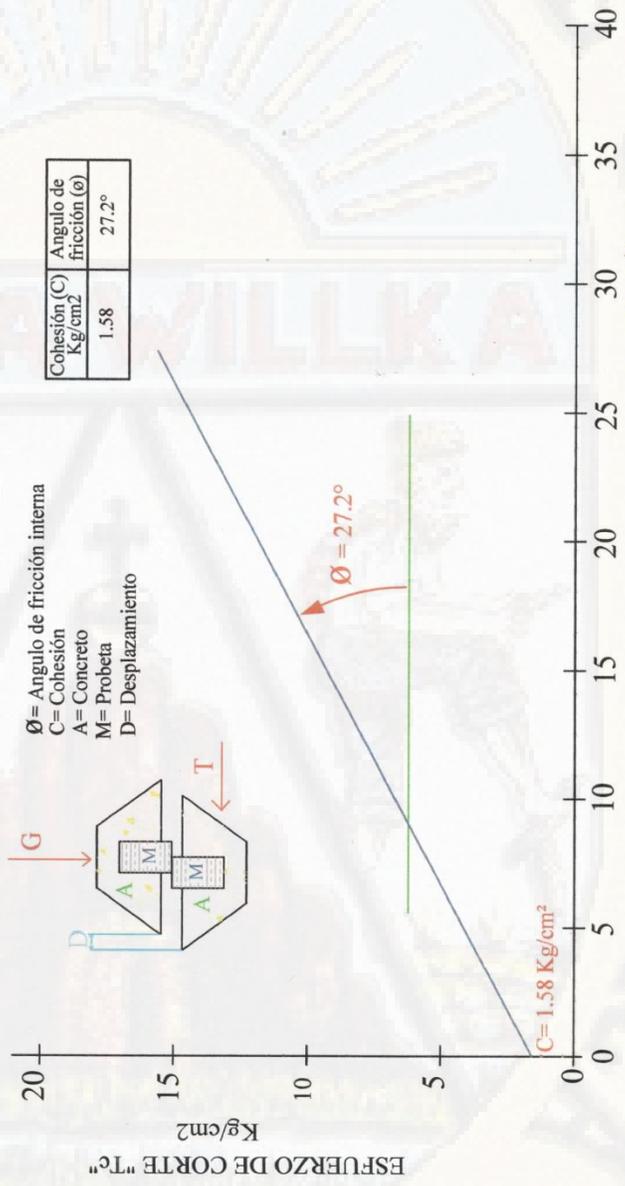
UBICACION: Lugar: Ñequesqa
 Distrito: Sarhua
 MUESTRA: N° 3 Roca del Talud en Roca.
 FECHA: Enero del 2019

ROCA: Caliza

Ø = Angulo de fricción interna
 C = Cohesión
 A = Concreto
 M = Probeta
 D = Desplazamiento



Cohesión (C) Kg/cm ²	Angulo de fricción (ø)
1.58	27.2°



LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS
 FMGC - UNISOL
Javier Rubal
 ING. GROVER RUBINA SALAZAR
 RESPONSABLE

ESFUERZO NORMAL "Gn", Kg/cm2

GRAFICO N° 1



LABORATORIO DE
MECANICA DE ROCAS
FIMGC - UNSCH

Av. Independencia s/n
Telef.(066) -312510 Anexo 151
Ayacucho - Perú

RESULTADOS DE ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE (ASTM D-2938)

SOLICITADO POR: Ing° Darwin Ortega Cáceres
PROYECTO: "Factor de Seguridad y Análisis de Estabilidad del Talud en Roca en la Carretera Sarhua - Portacruz, Progresiva Km. 35+000 - 2018".

ESTRUCTURA: MUESTRA: N° 04 Roca del talud en roca
Carretera Sarhua - Portacruz

PROCEDENCIA: Lugar: Nequesqa
Distrito: Sarhua

Provincia: Huancasancos
Depto: Ayacucho

MUESTRA	PROBETA		CARGA DE ROTURA kg	RESISTENCIA COMPRESION UNIAIXIAL		NOMBRE DE LA ROCA
	Diámetro cm.	Longitud cm.		Area cm ²	Kg/cm ²	
N° 04	3.43	6.86	6,614	715.79	70.18	Caliza

FECHA: Enero del 2019

OBSERVACION: (*) Corregida según Prodyakonov (L/d=2)

LABORATORIO DE MECANICA DE ROCAS
FIMGC - UNSCH

ING° JAVIER RIVERA SALAZAR
RESPONSABLE



LABORATORIO DE
MECANICA DE ROCAS
UNSCH - FIMGC

Av. Independencia s/n
Telef.(066)-312510 Anexo 151
Ayacucho Perú

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO
(ASTM D-4554)**

SOLICITADO POR: Ing° Darwin Ortega Cáceres (Tesisista)
PROYECTO: "Factor de Seguridad y Análisis de Estabilidad del Talud en Roca, en la Carretera Sarhua - Portacruz, Progresiva Km. 35+000 - 2018".

ESTRUCTURA:
PROCEDENCIA: Lugar: Ñequesqa
Distrito: Sarhua
Provincia: Huancasancos
Depto: Ayacucho

MUESTRA: N° 04
Roca del Talud en roca
Carretera Sarhua - Portacruz

AREA: 16.47 cm²

CARGA NORMAL (KN): 3.00	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
1.52	24
1.65	25
1.78	26

CARGA NORMAL (KN): 4.00	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
2.01	29
2.15	30
2.29	31

CARGA NORMAL (KN): 5.0	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
2.52	34
2.66	35
2.79	36

CARGA NORMAL (KN): 6.0	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
3.03	39
3.16	40
3.30	41

RESUMEN	
ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO DE CORTE
	Kg/cm ²
17.78	10.55
23.71	13.56
29.64	16.57
35.57	19.57

RESULTADOS	
COHESION ϕ	ANGULO FRICCION Φ
Kg/cm ²	Grados
1.54	26.9°

DESCRIPCION DE LA MUESTRA:
La muestra de roca corresponde a una CALIZA, de color gris oscuro.
La roca es compacto y duro.

FECHA: Enero del 2019.

LABORATORIO DE MECANICA DE ROCAS
FIMGC - UNSCH.
Ingeniero
ING. GHOVER RUBINA SALAZAR
RESPONSABLE

RESULTADOS ENSAYO CORTE DIRECTO

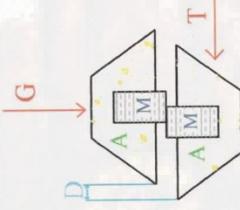
TESIS: "Factor de Seguridad y Análisis de Estabilidad del Talud en Roca, en la Carretera Sarhua-Portacruz, Progresiva Km. 35+000 - 2018".

UBICACION: Lugar: Nequesqa
 Distrito: Sarhua
 MUESTRA : N° 4 Roca del Talud en Roca.
 FECHA: Enero del 2019

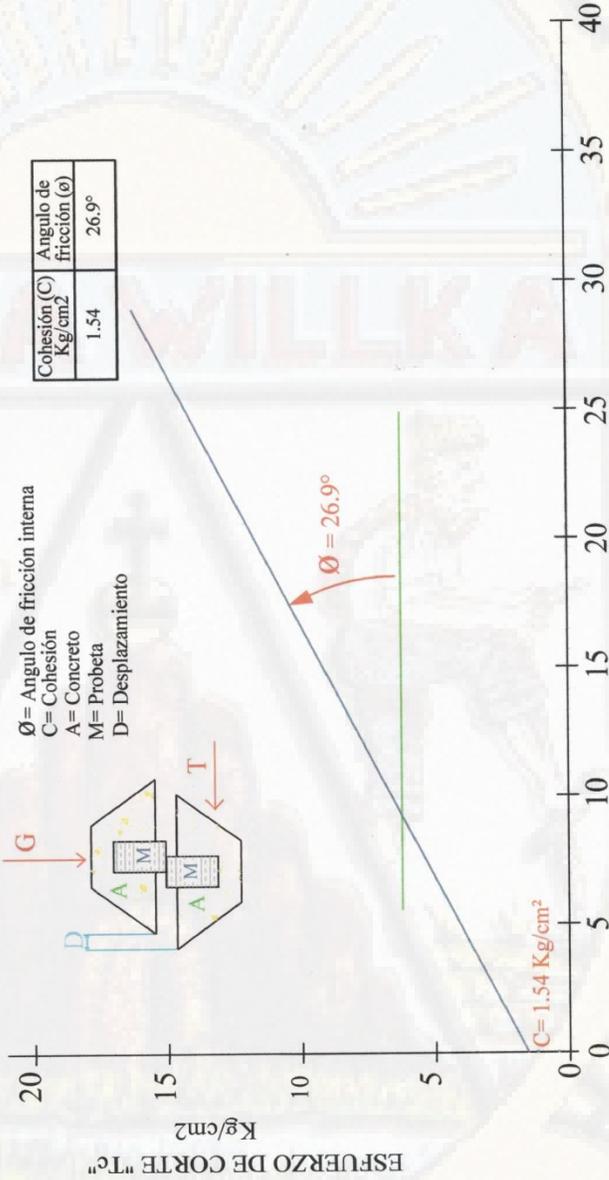
Provincia: Huancasancos
 Departamento: Ayacucho

ROCA: Caliza

Ø = Angulo de fricción interna
 C = Cohesión
 A = Concreto
 M = Probeta
 D = Desplazamiento



Cohesión (C) Kg/cm ²	Angulo de fricción (Ø)
1.54	26.9°



LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS
 EMGC - UNSH
 ING. GABRIEL RUBINA SALAZAR
 RESPONSABLE

ESFUERZO NORMAL "Gn", Kg/cm²

GRAFICO N° 1



LABORATORIO DE
MECANICA DE ROCAS
FIMGC - UNSCH

Av. Independencia s/n
Telef.(066) - 312510 Anexo 151
Ayacucho - Perú

RESULTADOS DE ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE (ASTM D-2938)

SOLICITADO POR:

Ing° Darwin Ortega Cáceres

PROYECTO:

"Factor de Seguridad y Análisis de Estabilidad del Talud en Roca en la Carretera Sarhua - Portacruz, Progresiva Km. 35+000 - 2018".

ESTRUCTURA:

MUESTRA: N° 05 Roca del talud en roca
Carretera Sarhua - Portacruz

PROCEDECENCIA:

Lugar: Ñequesqa
Distrito: Sarhua

Provincia: Huancasancos
Depto: Ayacucho

MUESTRA	PROBETA		CARGA DE ROTURA Kg	RESISTENCIA COMPRESION UNIAIXIAL		NOMBRE DE LA ROCA
	Diámetro cm.	Longitud cm.		Area cm ²	Kg/cm ²	
N° 05	3.43	6.86	6,996	757.13	74.23	Caliza

FECHA: Enero del 2019

OBSERVACION: (*) Corregida según Prodyakonov (L/D=2)

LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS
FIMGC - UNSCH

ING. GÓVERSON SALAZAR
RESPONSABLE



LABORATORIO DE
MECÁNICA DE ROCAS
UNSCH - FIMGC

Av. Independencia s/n
Telef. (066)-312510 Anexo 151
Ayacucho Perú

ENSAYO DE CORTE DIRECTO (ASTM D-4554)

SOLICITADO POR:
PROYECTO:

Ing° Darwin Ortega Cáceres (Tesisista)
"Factor de Seguridad y Análisis de Estabilidad del Talud en Roca, en la Carretera Sarhua - Portacruz, Progresiva Km. 35+000 - 2018".

ESTRUCTURA:
PROCEDENCIA:

Lugar: Ñeqesqa
Distrito: Sarhua
Provincia: Huancasancos
Depto: Ayacucho

MUESTRA: N° 05
Roca del Talud en roca
Carretera Sarhua - Portacruz

AREA: 16.47 cm²

CARGA NORMAL (KN): 3.00	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
1.53	25
1.66	26
1.79	27

CARGA NORMAL (KN): 4.00	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
2.02	30
2.16	31
2.30	32

CARGA NORMAL (KN): 5.0	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
2.54	35
2.68	36
2.81	37

CARGA NORMAL (KN): 6.0	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
3.05	39
3.18	40
3.32	41

RESUMEN	
ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO DE CORTE Kg/cm ²
17.78	10.63
23.71	13.65
29.64	16.67
35.57	19.69

RESULTADOS	
COHESION © Kg/cm ²	ANGULO FRICCION Φ Grados
1.57	27°

DESCRIPCION DE LA MUESTRA:
La muestra de roca corresponde a una CALIZA, de color gris oscuro.
La roca es compacto y duro.

FECHA: Enero del 2019.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS
FIMGC - UNSCH.

ING. GROVER RUBINA SALAZAR
RESPONSABLE

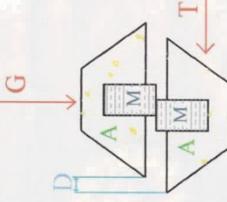
RESULTADOS ENSAYO CORTE DIRECTO

TESIS: "Factor de Seguridad y Análisis de Estabilidad del Talud en Roca, en la Carretera Sarhua-Portacruz, Progresiva Km. 35+000 - 2018".

UBICACION: Lugar: Nequesqa
 Distrito: Sarhua
 Provincia: Huancasancos
 Departamento: Ayacucho

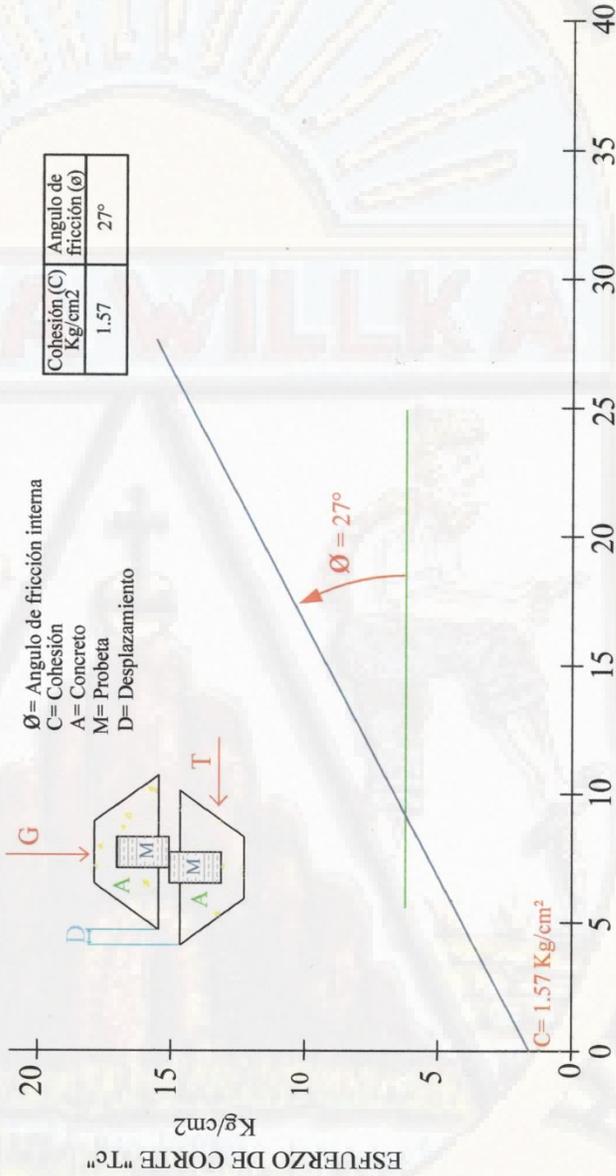
MUESTRA : N° 5 Roca del Talud en Roca.
 FECHA: Enero del 2019

ROCA: Caliza



ϕ = Angulo de fricción interna
 C = Cohesión
 A = Concreto
 M = Probeta
 D = Desplazamiento

Cohesión (C) Kg/cm ²	Angulo de fricción (ϕ)
1.57	27°



ESFUERZO NORMAL "Gn", Kg/cm²

LABORATORIO DE MECANICA DE ROCAS

EMGC - UNRH

[Signature]
 TING. ROVER RUBINA SALAZAR

RESPONSABLE

GRAFICO N° 1



LABORATORIO DE
MECÁNICA DE ROCAS
FIMGC - UNSCH

Av. Independencia s/n
Telef.(066)-312510 Anexo 151
Ayacucho - Perú

RESULTADOS DE ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE (ASTM D-2938)

SOLICITADO POR:
PROYECTO:

Ing° Darwin Ortega Cáceres
"Factor de Seguridad y Análisis de Estabilidad del Talud en Roca en la Carretera Sarhua - Portacruz, Progresiva Km. 35+000 - 2018".

ESTRUCTURA:

MUESTRA: N° 06 Roca del talud en roca
Carretera Sarhua - Portacruz

PROCEDENCIA:

Lugar: Ñequesqa
Distrito: Sarhua

Provincia: Huancasancos
Depto: Ayacucho

MUESTRA	PROBETA		CARGA DE ROTURA Kg	RESISTENCIA COMPRESION UNIAIXIAL		NOMBRE DE LA ROCA
	Diámetro cm.	Longitud cm.		Area cm ²	Kg/cm ²	
N° 06	3.43	6.86	6.458	698.91	68.52	Caliza

FECHA: Enero del 2019

OBSERVACION: (*) Corregida según Prodyakonov (L/D=2)

LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS
FIMGC - UNSCH.


ING. RUBINA SALAZAR
RESPONSABLE



LABORATORIO DE
MECÁNICA DE ROCAS
UNSCH - FIMGC

Av. Independencia s/n
Telef.(066)-312510 Anexo 151
Ayacucho Perú

ENSAYO DE CORTE DIRECTO (ASTM D-4554)

SOLICITADO POR: Ing^o Darwin Ortega Cáceres (Tesisista)
PROYECTO: "Factor de Seguridad y Análisis de Estabilidad del Talud en Roca, en la Carretera Sarhua - Portacruz, Progresiva Km. 35+000 - 2018".

ESTRUCTURA: MUESTRA: N° 06
PROCEDENCIA: Lugar: Ñeqesqa Roca del Talud en roca
Distrito: Sarhua Carretera Sarhua - Portacruz
Provincia: Huancasancos
Depto: Ayacucho AREA: 16.47 cm²

CARGA NORMAL (KN): 3.00	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
1.46	23
1.59	24
1.72	25

CARGA NORMAL (KN): 4.00	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
1.92	28
2.06	29
2.20	30

CARGA NORMAL (KN): 5.0	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
2.42	33
2.56	34
2.69	35

CARGA NORMAL (KN): 6.0	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
2.91	38
3.04	39
3.18	40

RESUMEN	
ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO DE CORTE Kg/cm ²
17.78	10.17
23.71	13.06
29.64	15.95
35.57	18.85

RESULTADOS	
COHESION © Kg/cm ²	ANGULO FRICCIÓN Φ Grados
1.50	26°

DESCRIPCION DE LA MUESTRA:
La muestra de roca corresponde a una CALIZA, de color gris oscuro.
La roca es compacto y duro.

FECHA: Enero del 2019.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS
FIMGC - UNSCH.

ING. GROVER RUBINA SALAZAR
RESPONSABLE

RESULTADOS ENSAYO CORTE DIRECTO

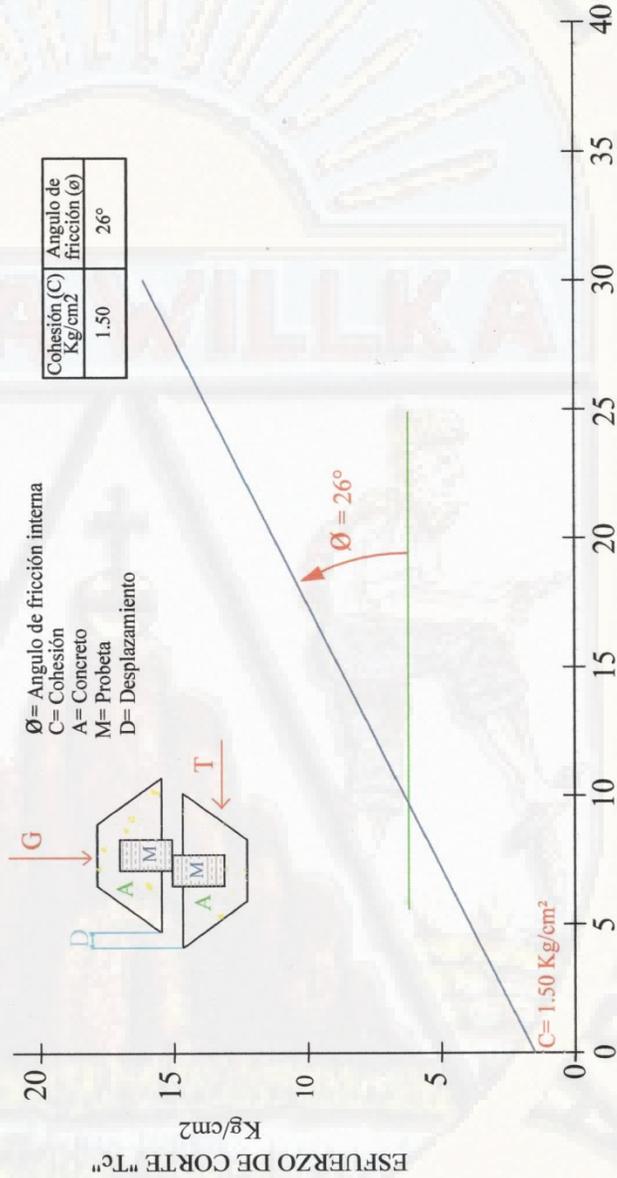
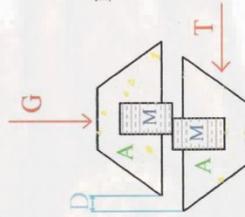
TESIS: "Factor de Seguridad y Análisis de Estabilidad del Talud en Roca, en la Carretera Sarhua-Portacruz, Progresiva Km. 35+000 - 2018".

UBICACION: Lugar: Ñequesqa
 Distrito: Sarhua
 Provincia: Huancasancos
 Departamento: Ayacucho

MUESTRA : N° 6 Roca del Talud en Roca.
 ROCA: Caliza
 FECHA: Enero del 2019

Cohesión (C) Kg/cm ²	Angulo de fricción (φ)
1.50	26°

Ø = Angulo de fricción interna
 C = Cohesión
 A = Concreto
 M = Probeta
 D = Desplazamiento



LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS
 FMGC - UNISCH
 ING. GÖRVER RUBINA SALAZAR RESPONSABLE

ESFUERZO NORMAL "Gn", Kg/cm²

GRAFICO N° 1



LABORATORIO DE
MECANICA DE ROCAS
FIMGC - UNSCH

Av. Independencia s/n
Telef.(066) -312510 Anexo 151
Ayacucho - Perú

**RESULTADOS DE ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE
(ASTM D-2938)**

SOLICITADO POR:
PROYECTO:

Ing° Darwin Ortega Cáceres
"Factor de Seguridad y Análisis de Estabilidad del Talud en Roca en la Carretera Sarhua - Portacruz, Progresiva Km. 35+000 - 2018".

ESTRUCTURA:

MUESTRA: N° 07 Roca del talud en roca
Carretera Sarhua - Portacruz

PROCEDENCIA:

Provincia: Huancasancos
Depto: Ayacucho

Lugar: Ñequesqa
Distrito: Sarhua

MUESTRA	PROBETA		CARGA DE ROTURA Kg	RESISTENCIA COMPRESION UNIAxIAL		NOMBRE DE LA ROCA
	Diámetro cm.	Longitud cm.		Area cm ²	Kg/cm ²	
N° 07	3.43	6.86	6,777	733.43	71.90	Caliza

FECHA: Enero del 2019

OBSERVACION: (*) Corregida según Prodyakonov (L/D=2)

LABORATORIO DE MECANICA DE ROCAS

FIMGC - UNSCH

[Signature]
ING° ROVER RUBINA SALAZAR
RESPONSABLE



LABORATORIO DE
MECANICA DE ROCAS
UNSCH - FIMGC

Av. Independencia s/n
Telef.(066)-312510 Anexo 151
Ayacucho Perú

ENSAYO DE CORTE DIRECTO (ASTM D-4554)

SOLICITADO POR:
PROYECTO:

Ing° Darwin Ortega Cáceres (Tesisista)
"Factor de Seguridad y Análisis de Estabilidad del Talud en Roca, en la Carretera Sarhua -
Portacruz, Progresiva Km. 35+000 - 2018".

ESTRUCTURA:
PROCEDENCIA:

Lugar: Ñeqesqa
Distrito: Sarhua
Provincia: Huancasancos
Depto: Ayacucho

MUESTRA: N° 07
Roca del Talud en roca
Carretera Sarhua - Portacruz

AREA: 16.47 cm²

CARGA NORMAL (KN): 3.00	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
1.46	23
1.59	24
1.72	25

CARGA NORMAL (KN): 4.00	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
2.02	28
2.16	29
2.30	30

CARGA NORMAL (KN): 5.0	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
2.54	33
2.68	34
2.81	35

CARGA NORMAL (KN): 6.0	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
3.05	38
3.18	39
3.32	40

RESUMEN	
ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO DE CORTE
	Kg/cm ²
16.91	10.61
22.54	13.63
28.18	16.65
33.81	19.67

RESULTADOS	
COHESION ϕ	ANGULO FRICCION ϕ
Kg/cm ²	Grados
1.55	27°

DESCRIPCION DE LA MUESTRA:
La muestra de roca corresponde a una CALIZA, de color gris oscuro.
La roca es compacto y duro.

FECHA: Enero del 2019.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS
FIMGC - UNSCH.

ING. PROVER RUEÑA SALAZAR
RESPONSABLE

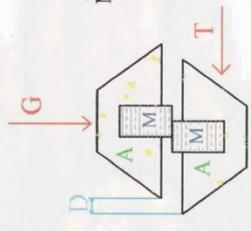
RESULTADOS ENSAYO CORTE DIRECTO

TESIS: "Factor de Seguridad y Análisis de Estabilidad del Talud en Roca, en la Carretera Sarhua-Portacruz, Progresiva Km. 35+000 - 2018".

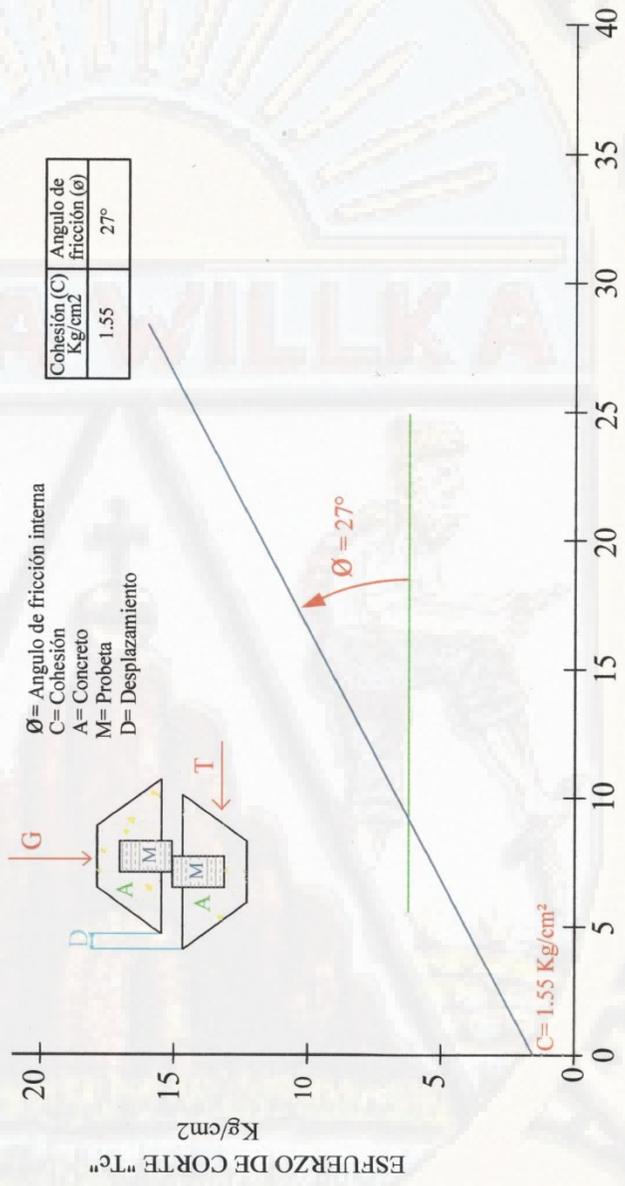
UBICACION: Lugar: Ñequesqa
 Distrito: Sarhua
 MUESTRA: N° 7 Roca del Talud en Roca.
 FECHA: Enero del 2019

ROCA: Caliza

Ø = Angulo de fricción interna
 C = Cohesión
 A = Concreto
 M = Probeta
 D = Desplazamiento



Cohesión (C) Kg/cm ²	Angulo de fricción (Ø)
1.55	27°



LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS
 FMGC - UNISPH.
 ING. GIMONER RUBINA SALAZAR
 RESPONSABLE

ESFUERZO NORMAL "Gn", Kg/cm²

GRAFICO N° 1



LABORATORIO DE
MECANICA DE ROCAS
FIMGC - UNSCH

Av. Independencia s/n
Telef.(066) - 312510 Anexo 151
Ayacucho - Perú

**RESULTADOS DE ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE
(ASTM D-2938)**

SOLICITADO POR:
PROYECTO:

Ing° Darwin Ortega Cáceres
"Factor de Seguridad y Análisis de Estabilidad del Talud en Roca en la Carretera Sarhua - Portacruz, Progresiva Km. 35+000 - 2018".

ESTRUCTURA:

MUESTRA: N° 08 Roca del talud en roca
Carretera Sarhua - Portacruz

PROCEDENCIA:

Provincia: Huancasancos
Depto: Ayacucho

MUESTRA	PROBETA		CARGA DE ROTURA kg	RESISTENCIA COMPRESION		NOMBRE DE LA ROCA
	Díámetro cm.	Longitud cm.		Area cm ²	UNIAXIAL Kg/cm ²	
N° 08	3.43	6.86	6,545	708.32	69.44	Caliza

FECHA: Enero del 2019

OBSERVACION: (*) Corregida según Prodyakonov (L/D=2)

LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS
FIMGC - UNSCH

Janet Rivera
ING. JAVIER ROSINA SALAZAR
RESPONSABLE



LABORATORIO DE
MECÁNICA DE ROCAS
UNSCH - FIMGC

Av. Independencia s/n
Telef.(066)-312510 Anexo 151
Ayacucho Perú

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO
(ASTM D-4554)**

SOLICITADO POR: Ing° Darwin Ortega Cáceres (Tesisista)
PROYECTO: "Factor de Seguridad y Análisis de Estabilidad del Talud en Roca, en la Carretera Sarhua - Portacruz, Progresiva Km. 35+000 - 2018".

ESTRUCTURA:
PROCEDENCIA: Lugar: Ñequesqa
Distrito: Sarhua
Provincia: Huancasancos
Depto: Ayacucho

MUESTRA: N° 08
Roca del Talud en roca
Carretera Sarhua - Portacruz

AREA: 16.47 cm²

CARGA NORMAL (KN): 3.00	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
1.51	22
1.64	23
1.77	24

CARGA NORMAL (KN): 4.00	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
1.99	27
2.13	28
2.27	29

CARGA NORMAL (KN): 5.0	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
2.50	32
2.64	33
2.77	34

CARGA NORMAL (KN): 6.0	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
3.00	37
3.13	38
3.27	39

RESUMEN	
ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO DE CORTE
	Kg/cm ²
16.91	10.46
22.54	13.44
28.18	16.43
33.81	19.41

RESULTADOS	
COHESION ©	ANGULO FRICCION Φ
Kg/cm ²	Grados
1.52	26.7°

DESCRIPCION DE LA MUESTRA:
La muestra de roca corresponde a una CALIZA, de color gris oscuro.
La roca es compacto y duro.

FECHA: Enero del 2019.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS
FIMGC - UNSCH.
Grover Rubina Salazar
ING. GROVER RUBINA SALAZAR
RESPONSABLE

RESULTADOS ENSAYO CORTE DIRECTO

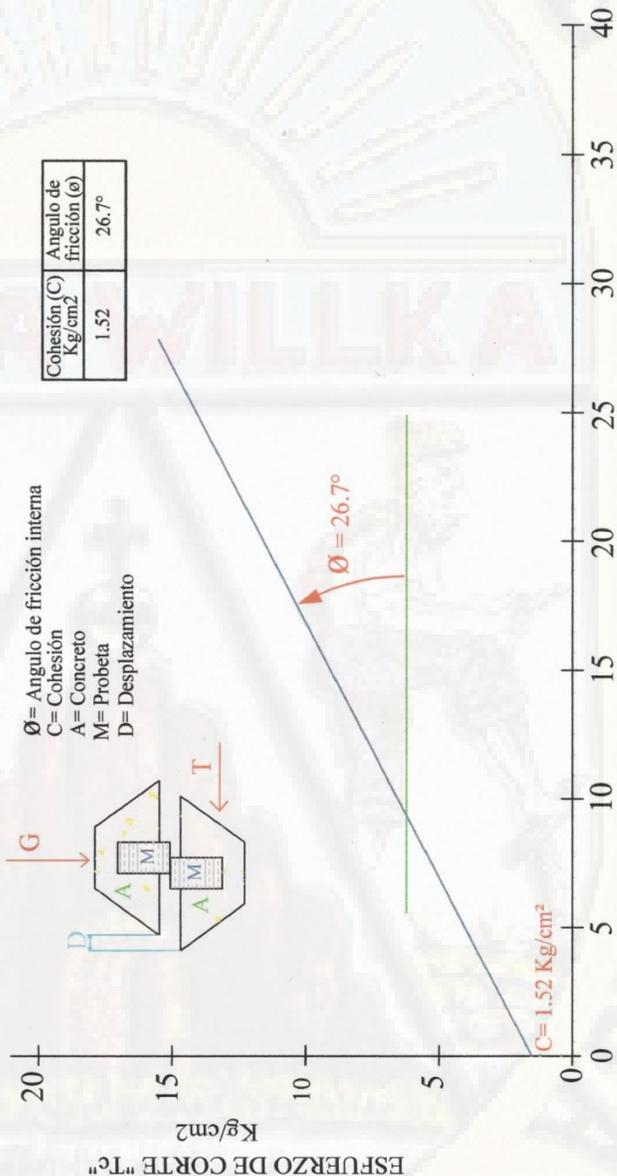
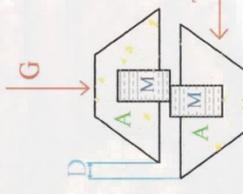
TESIS: "Factor de Seguridad y Análisis de Estabilidad del Talud en Roca, en la Carretera Sarhua-Portacruz, Progresiva Km. 35+000 - 2018".

UBICACION: Lugar: Ñequesqa
 Distrito: Sarhua
 Provincia: Huancasancos
 Departamento: Ayacucho

MUESTRA : N° 8 Roca del Talud en Roca.
 FECHA: Enero del 2019
 ROCA: Caliza

Cohesión (C) Kg/cm ²	Angulo de fricción (ø)
1.52	26.7°

Ø = Angulo de fricción interna
 C = Cohesión
 A = Concreto
 M = Probeta
 D = Desplazamiento



LABORATORIO DE MECANICA DE ROCAS
 FIMSC - UNSCH
 ING. ROVER RUBEN SALAZAR
 RESPONSABLE

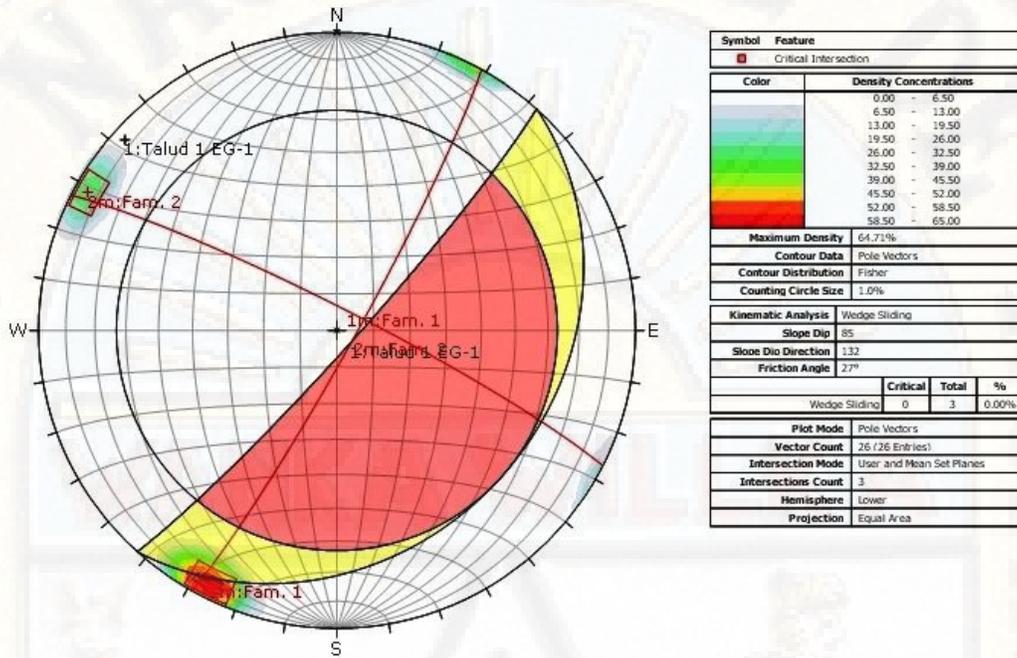
ESFUERZO NORMAL "Gn", Kg/cm²

GRAFICO N° 1

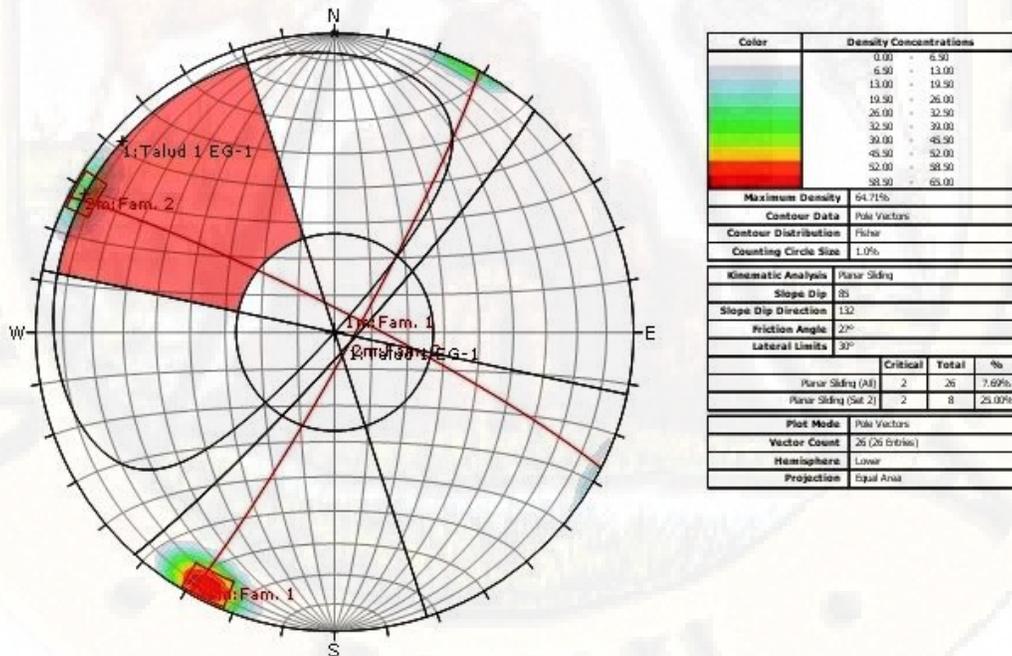


ANEXO 4: ANÁLISIS ESTEREOGRÁFICO.

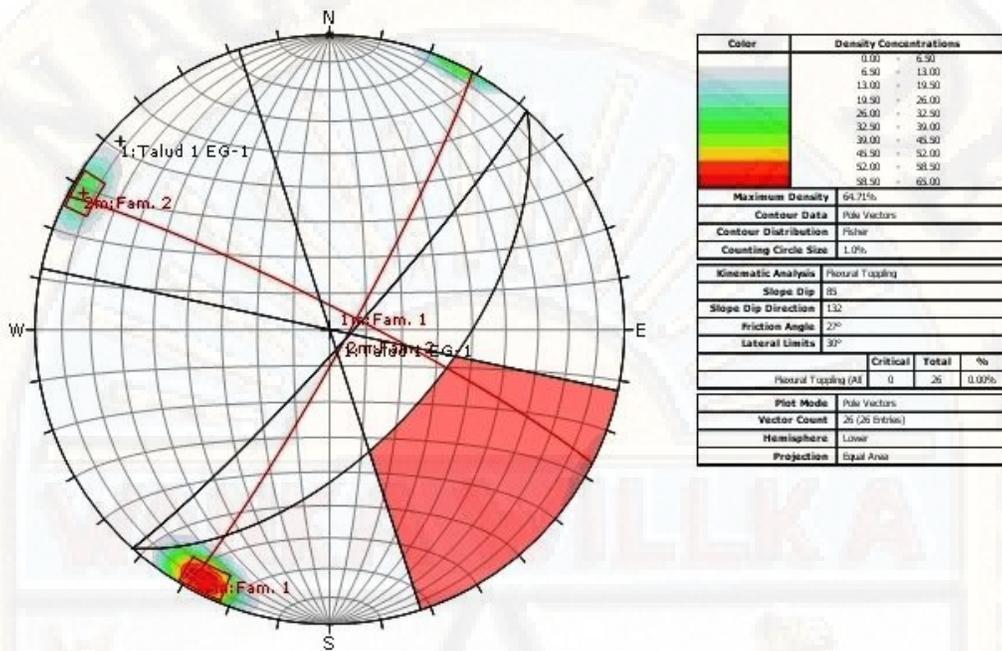
Talud 1 EG – 01



Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla por cuña (no hay intersección, dentro del área crítica).

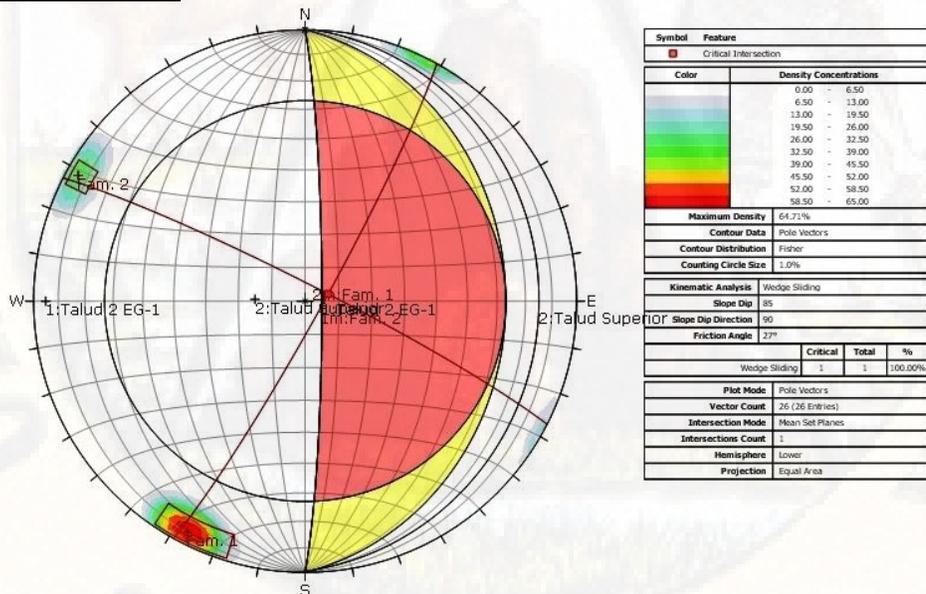


Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla planar (Familia 2, dentro del área crítica).

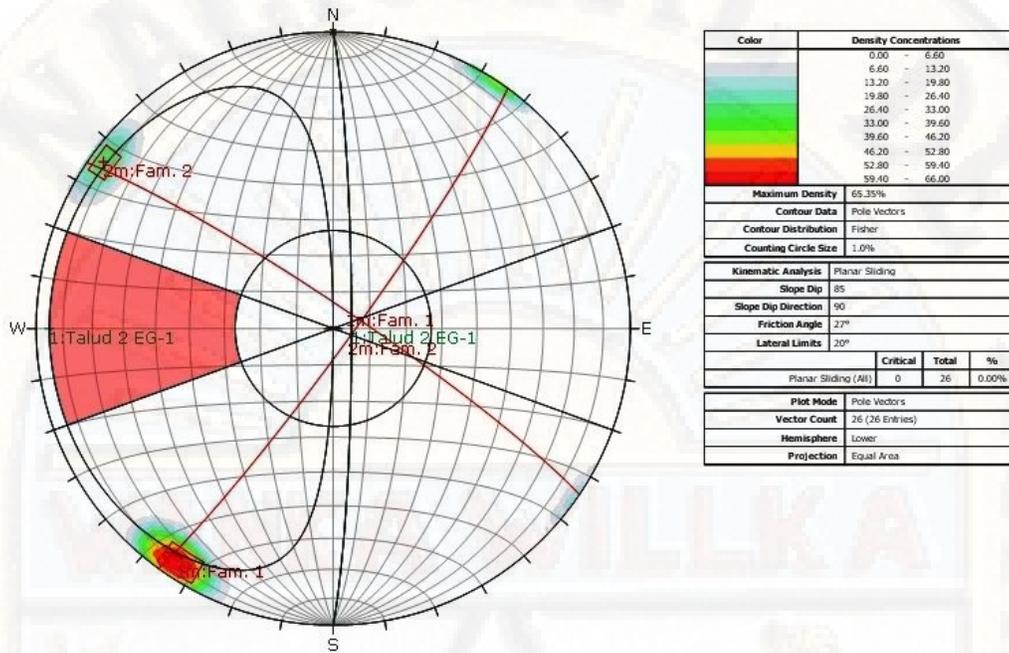


Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla por vuelco. (Ninguna Familia, dentro del área crítica).

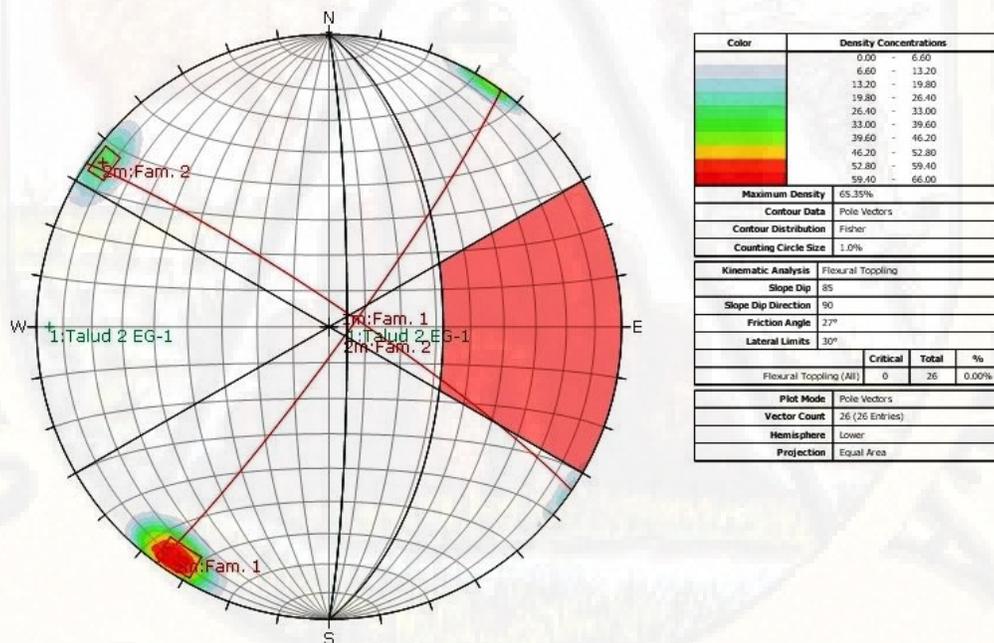
Talud 2 EG – 01



Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla por cuña (intersecta la familia 1 y familia 2, dentro del área crítica).

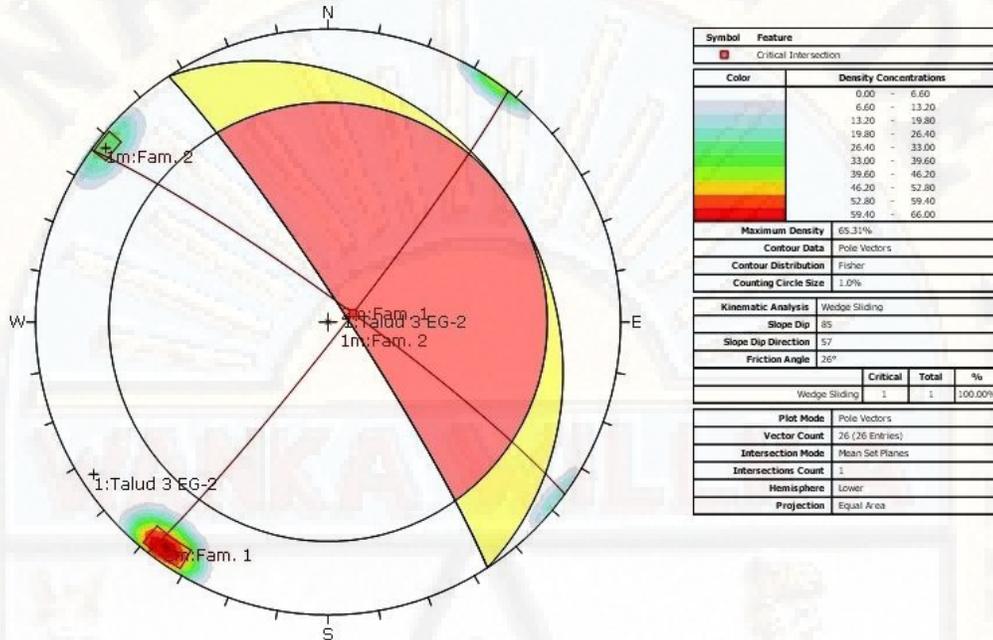


Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla planar (ninguna familia, dentro del área crítica).

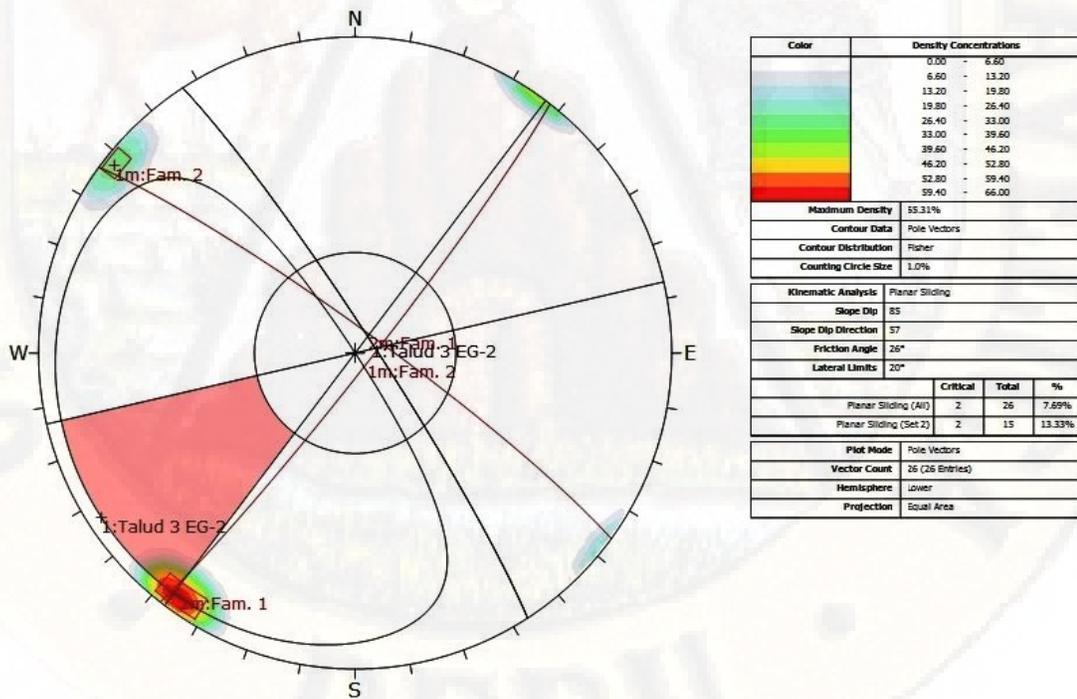


Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla por vuelco (ninguna familia, dentro del área crítica).

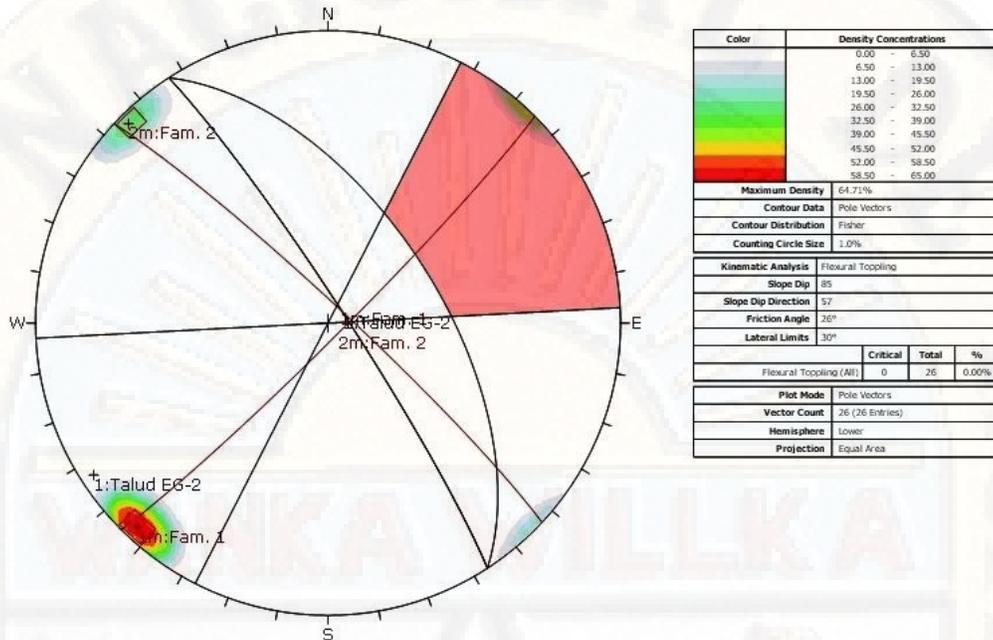
Talud 3 EG – 02



Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla por cuña (intersecta la familia 1 y familia 2, dentro del área crítica).

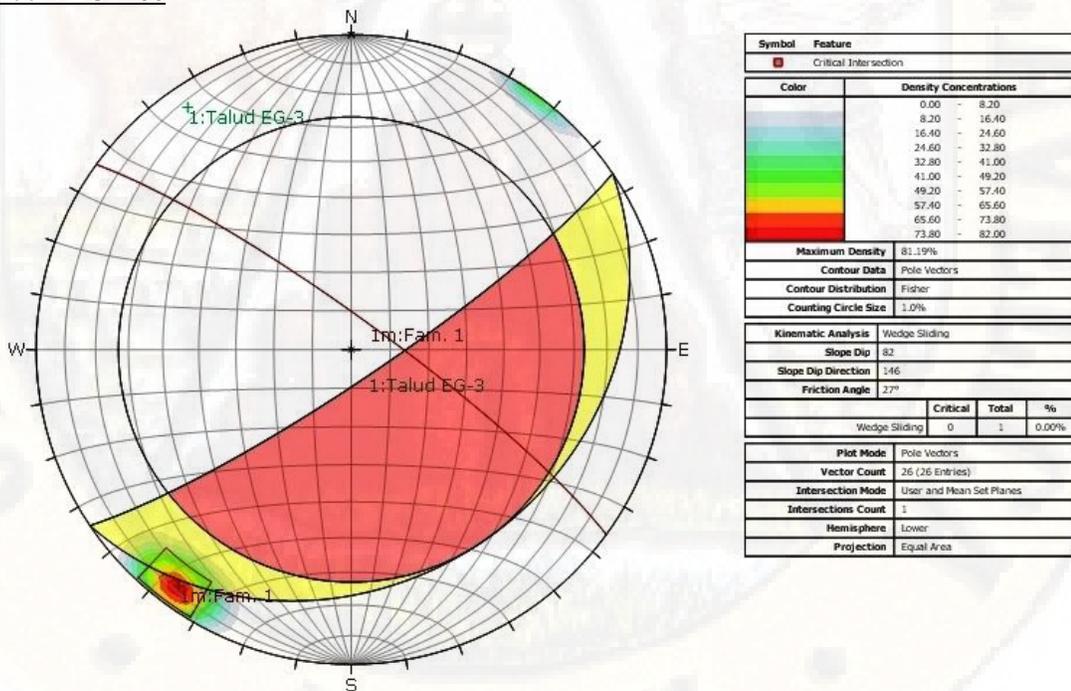


Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla planar (Ninguna familia, dentro del área crítica).

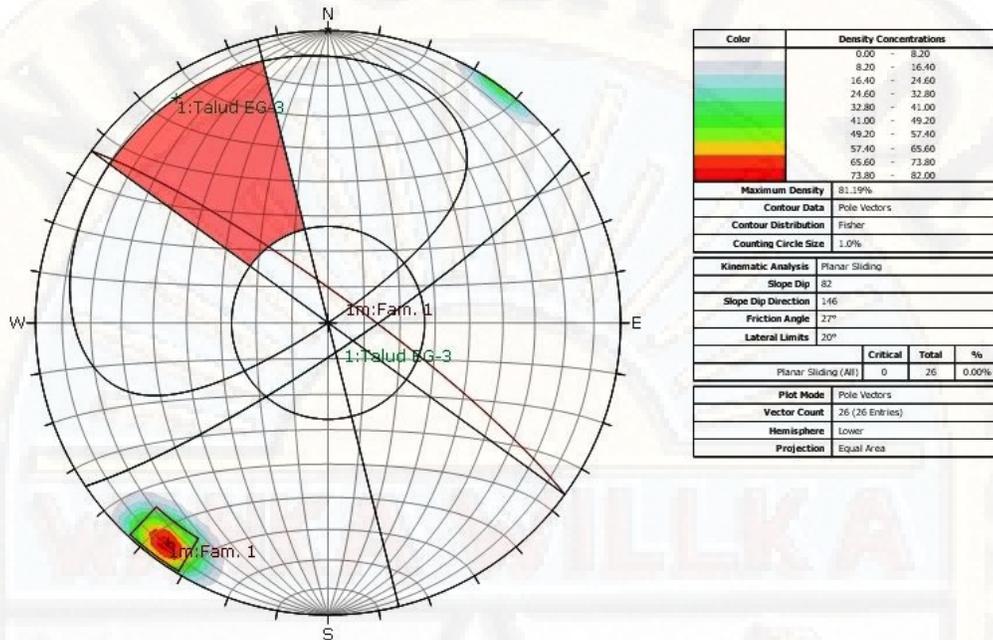


Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla por vuelco (ninguna familia, dentro del área crítica).

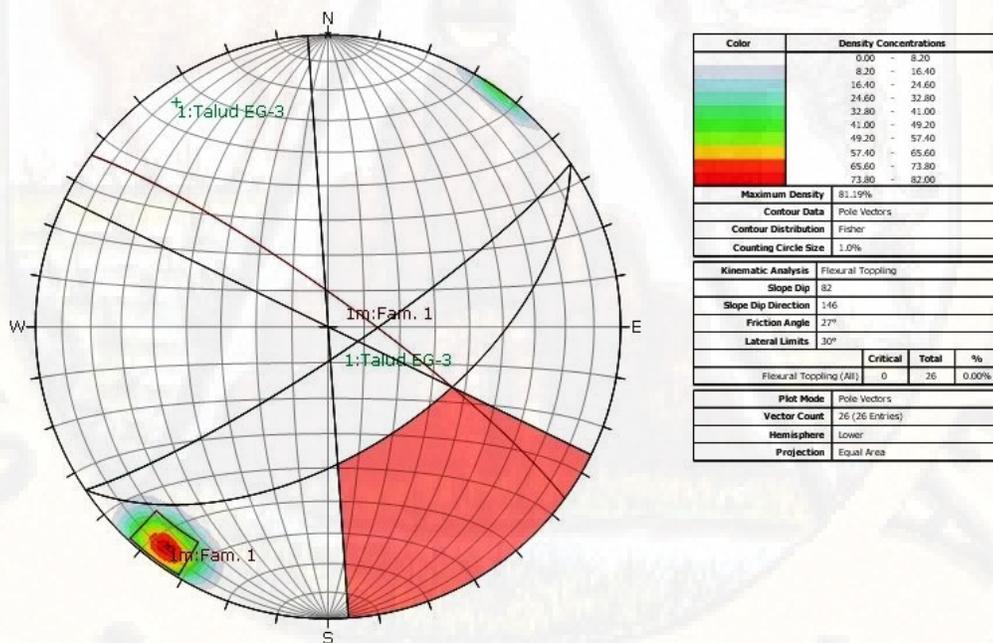
Talud 4 EG – 03



Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla por cuña (no hay intersección, dentro del área crítica).

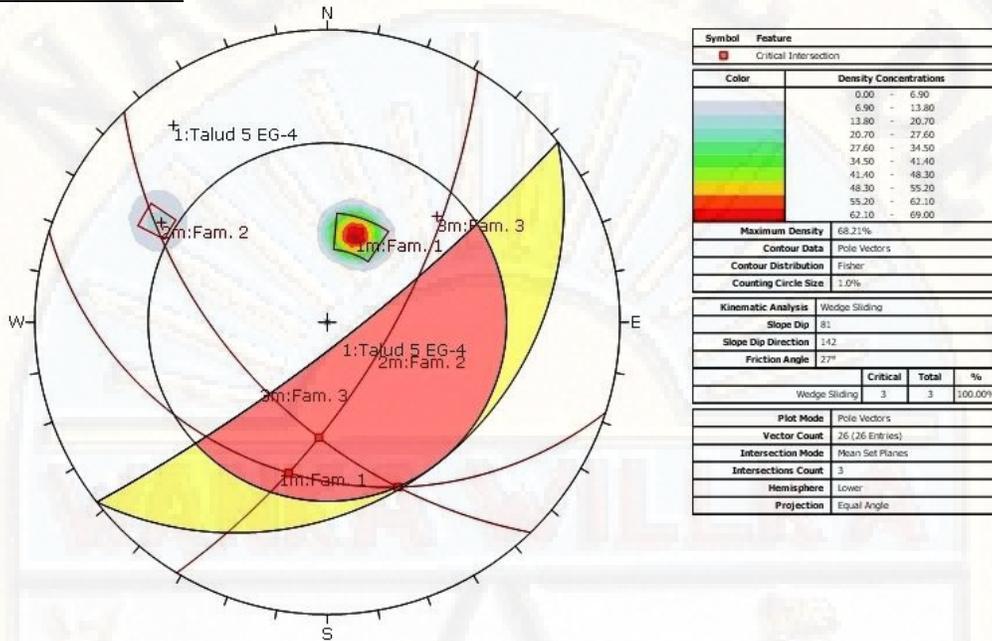


Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla planar (Ninguna familia, dentro del área crítica).

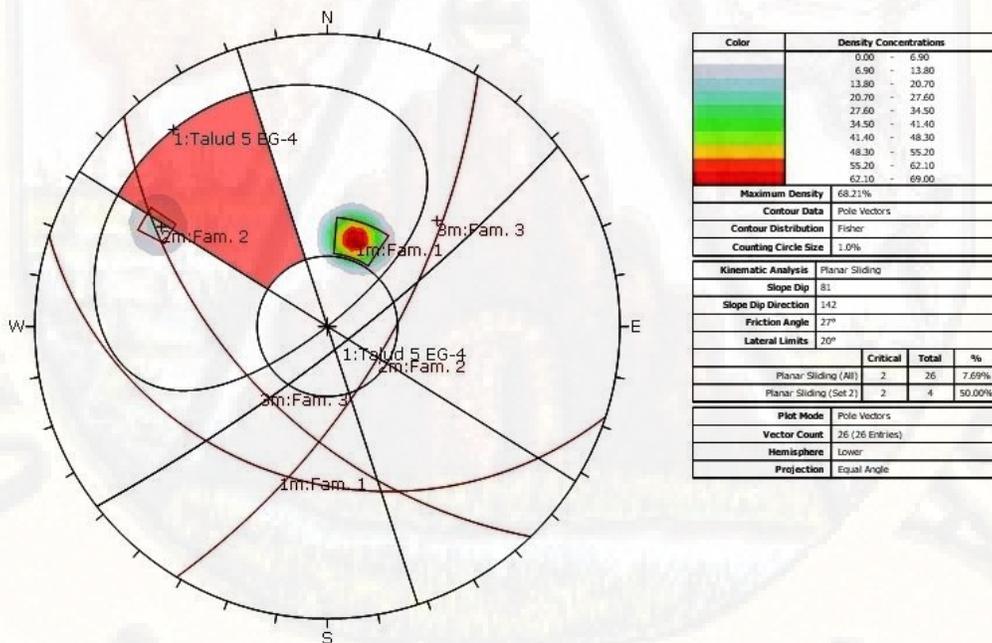


Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla por vuelco (Ninguna familia, dentro del área crítica).

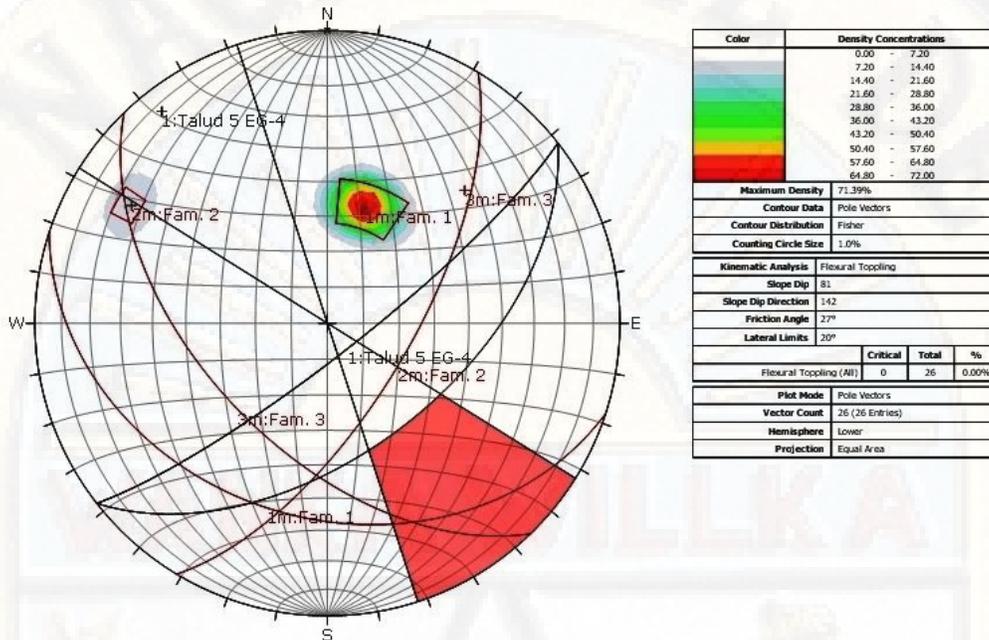
Talud 5 EG – 04



Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla por cuña (intersecta la familia 1 y familia 2, familia 2 y familia 3, familia 1 y familia 3, dentro del área crítica).

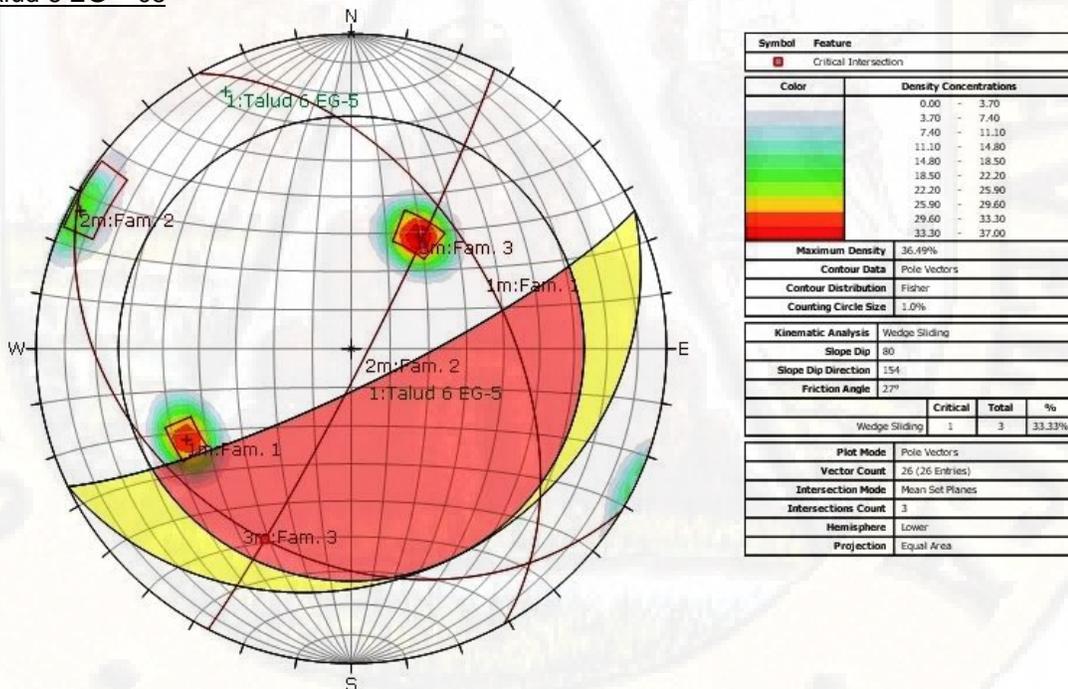


Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla planar (Ninguna familia, dentro del área crítica).

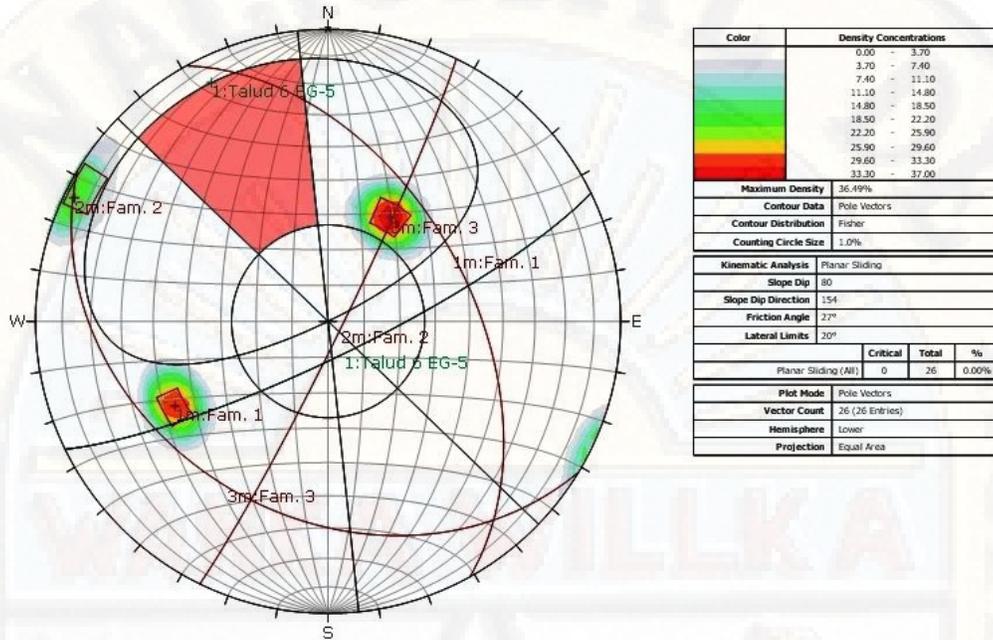


Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla por vuelco (Ninguna familia, dentro del área crítica).

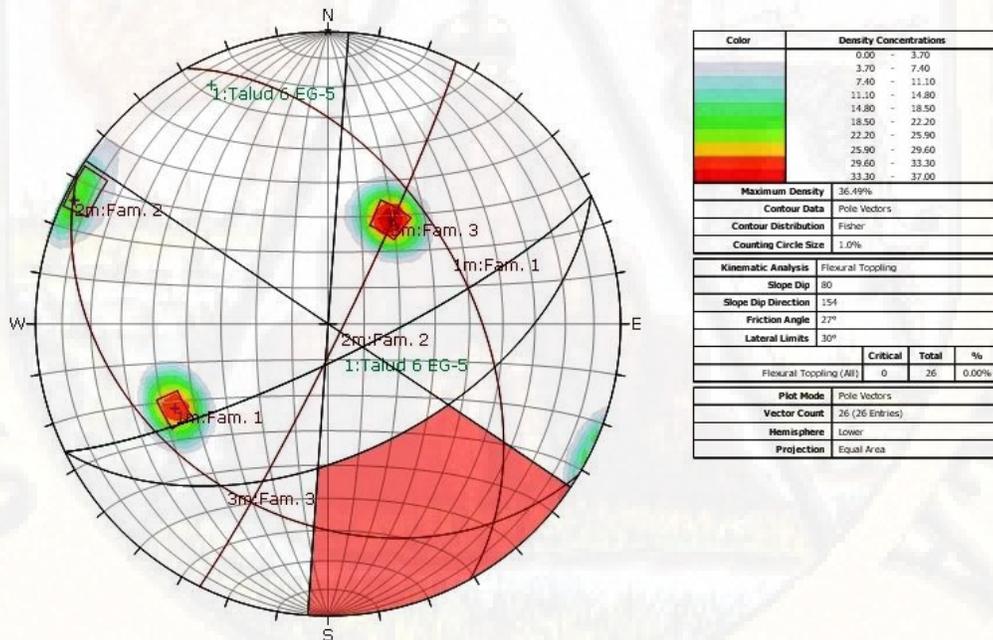
Talud 6 EG – 05



Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla por cuña (intersecta la familia 2 y familia 3, dentro del área crítica).

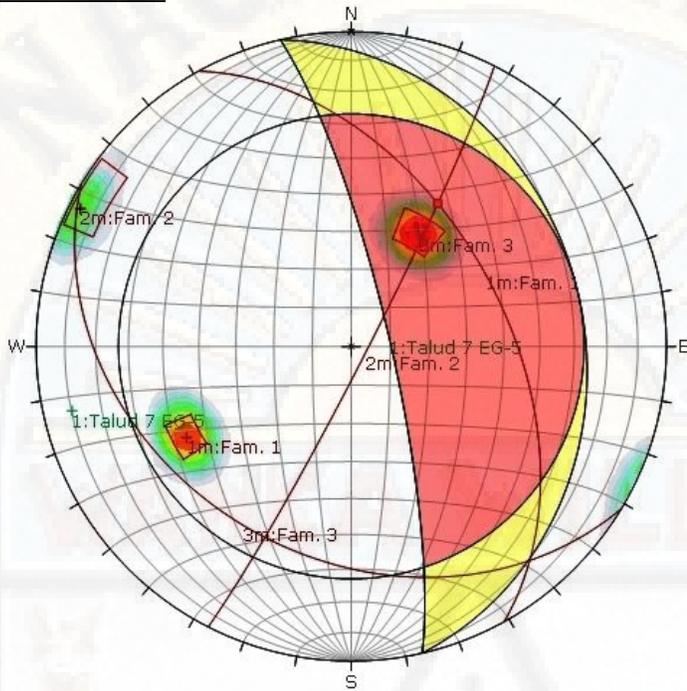


Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla planar (ninguna familia, dentro del área crítica).



Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla por vuelco (ninguna familia, dentro del área crítica).

Talud 7 EG – 05



Symbol	Feature
■	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
Blue	0.00 - 3.70
Light Blue	3.70 - 7.40
Green	7.40 - 11.10
Yellow	11.10 - 14.80
Orange	14.80 - 18.50
Red	18.50 - 22.20
Dark Red	22.20 - 25.90
Dark Red	25.90 - 29.60
Dark Red	29.60 - 33.30
Dark Red	33.30 - 37.00

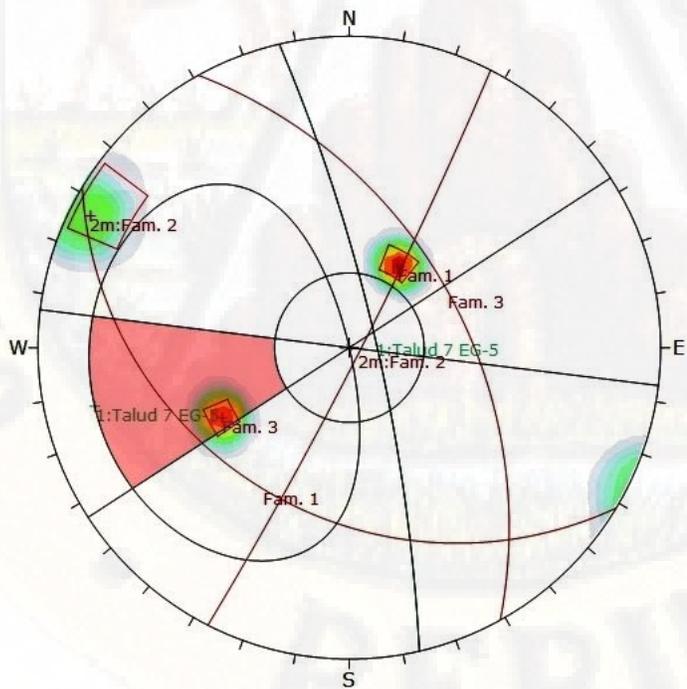
Maximum Density	36.49%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	80
Slope Dip Direction	77
Friction Angle	27°

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	1	3	33.33%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	26 (26 Entries)
Intersection Mode	Mean Set Planes
Intersections Count	3
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla por cuña (intersecta la familia 1 y familia 2, dentro del área crítica).



Color	Density Concentrations
Blue	0.00 - 3.70
Light Blue	3.70 - 7.40
Green	7.40 - 11.10
Yellow	11.10 - 14.80
Orange	14.80 - 18.50
Red	18.50 - 22.20
Dark Red	22.20 - 25.90
Dark Red	25.90 - 29.60
Dark Red	29.60 - 33.30
Dark Red	33.30 - 37.00

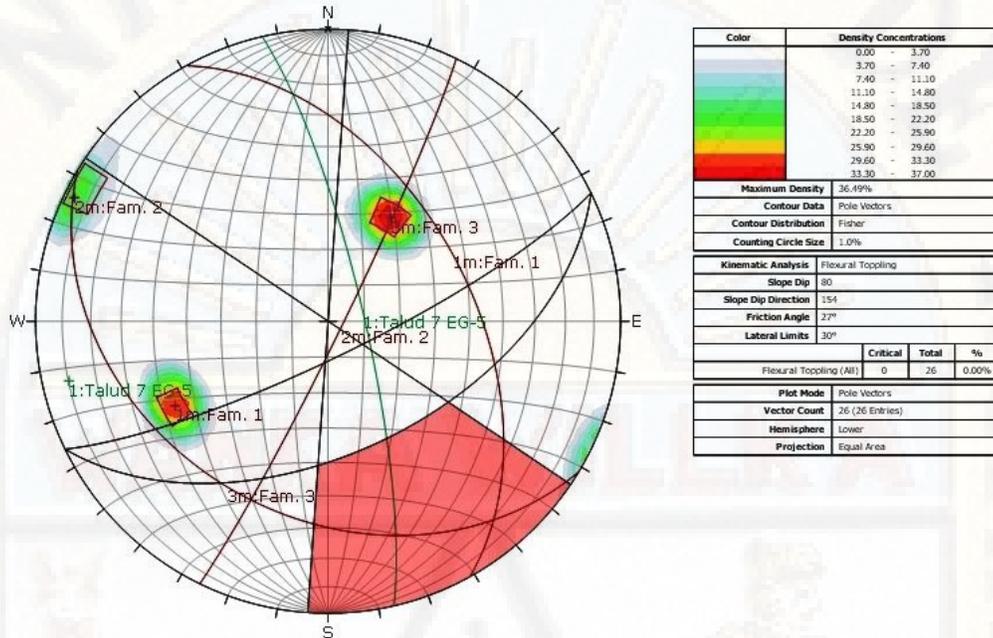
Maximum Density	36.08%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	80
Slope Dip Direction	77
Friction Angle	27°
Laternal Limits	20°

	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	9	26	34.62%
Planar Sliding (Set 1)	9	9	100.00%

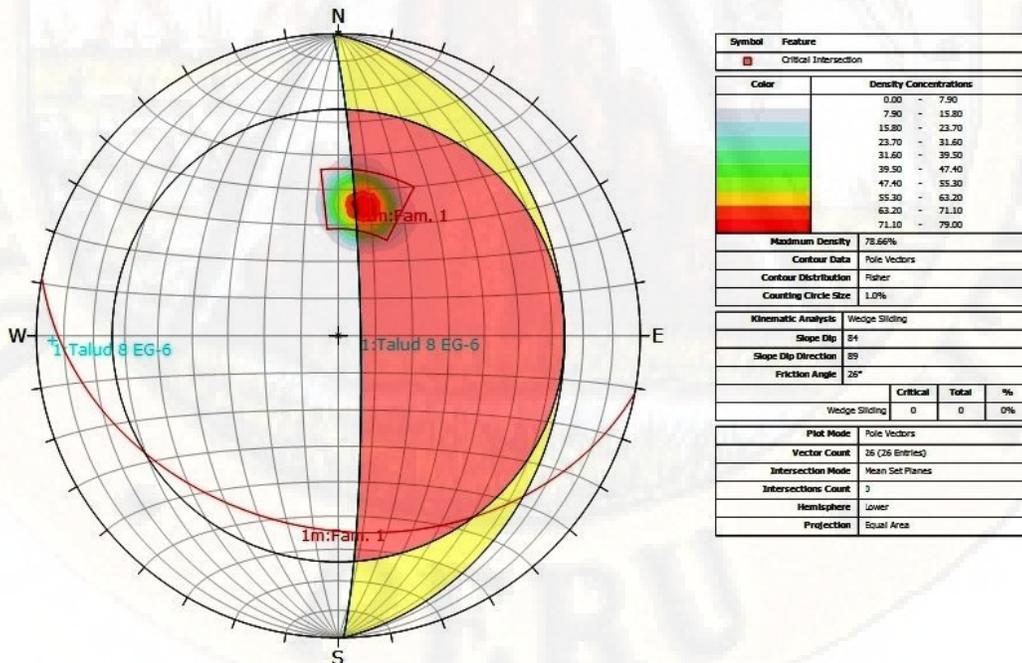
Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	26 (26 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla planar (ninguna familia, dentro del área crítica).

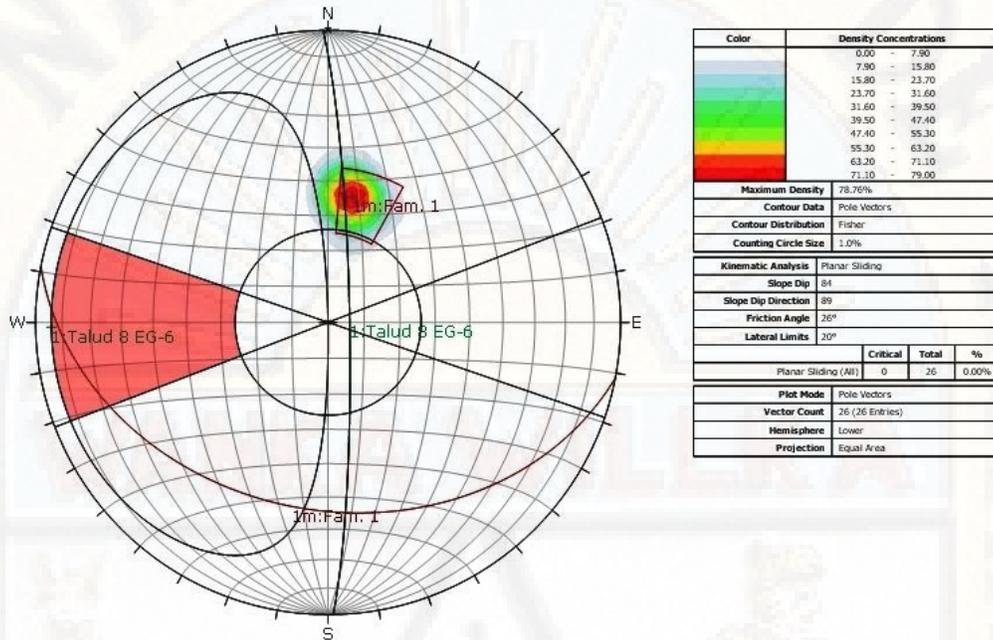


Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla por vuelco (ninguna familia, dentro del área crítica).

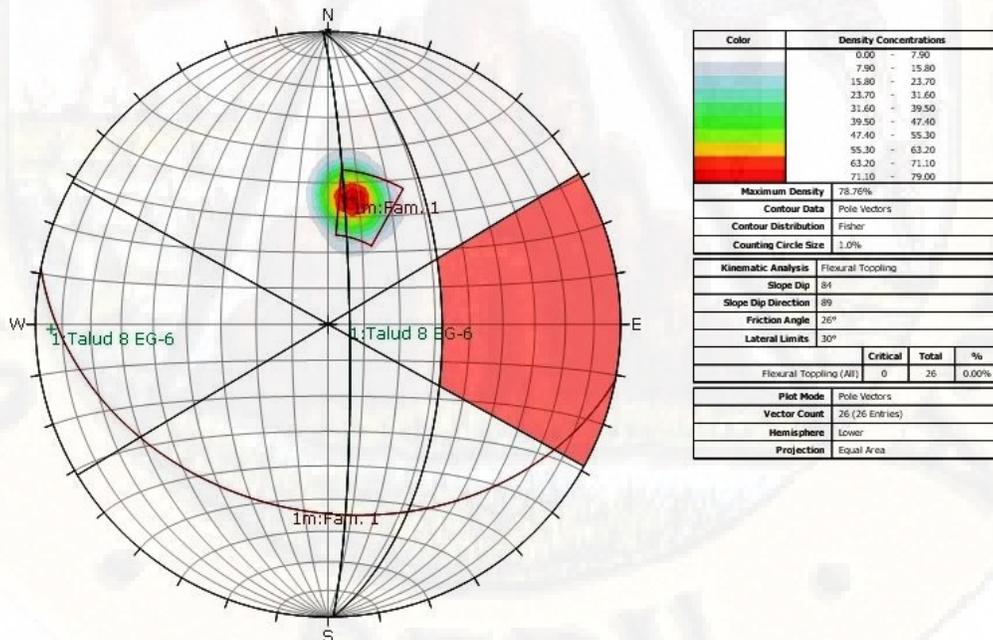
Talud 8 EG – 06



Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla por cuña (no hay intersección, dentro del área crítica).

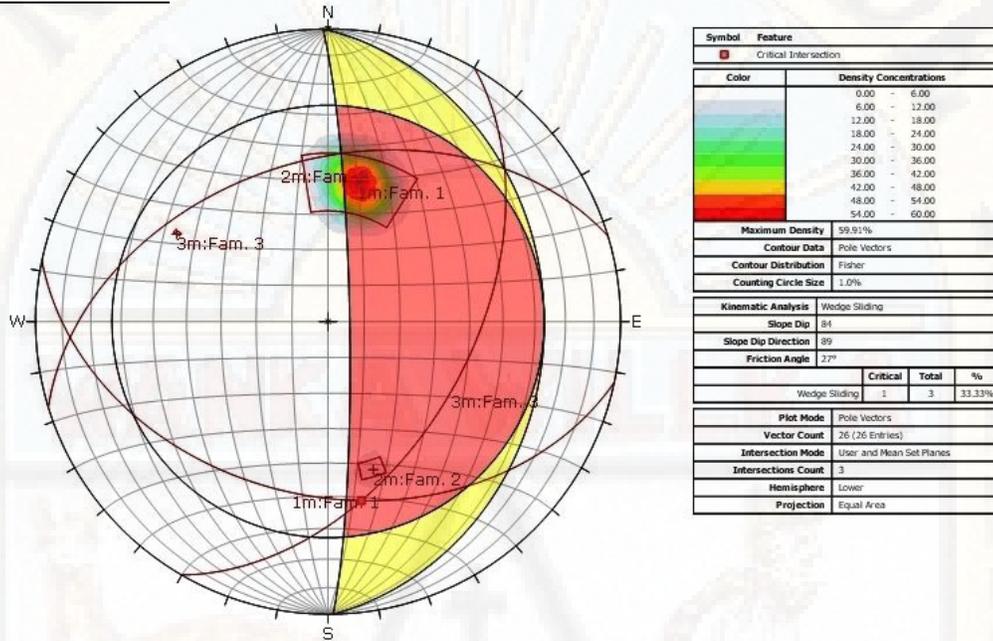


Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla planar (ninguna familia, dentro del área crítica).

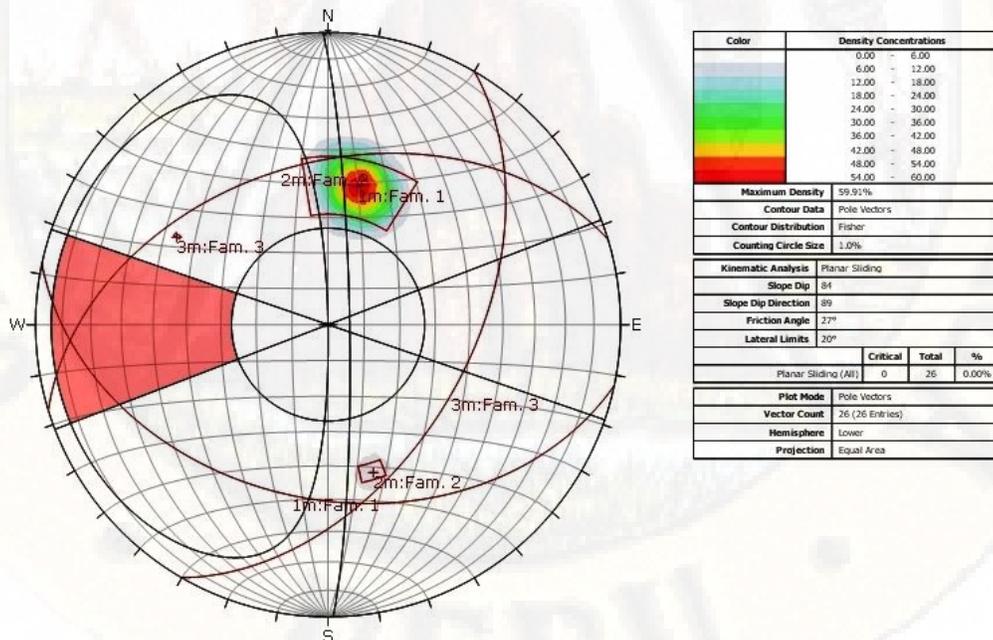


Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla por vuelco (no hay intersección, dentro del área crítica).

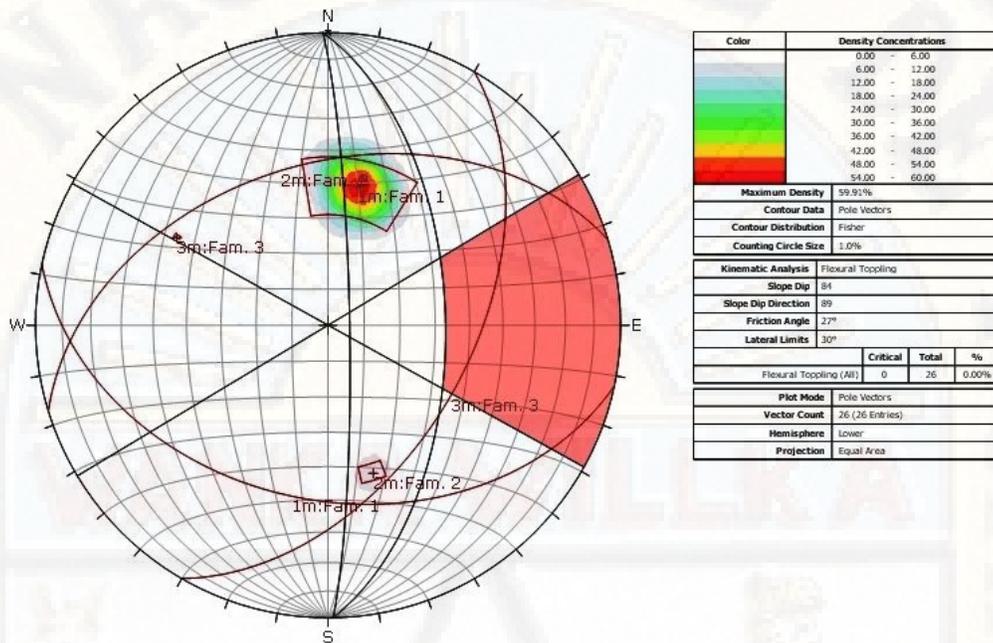
Talud 9 EG – 07



Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla por cuña (intersecta la familia 1 y familia 3, dentro del área crítica).

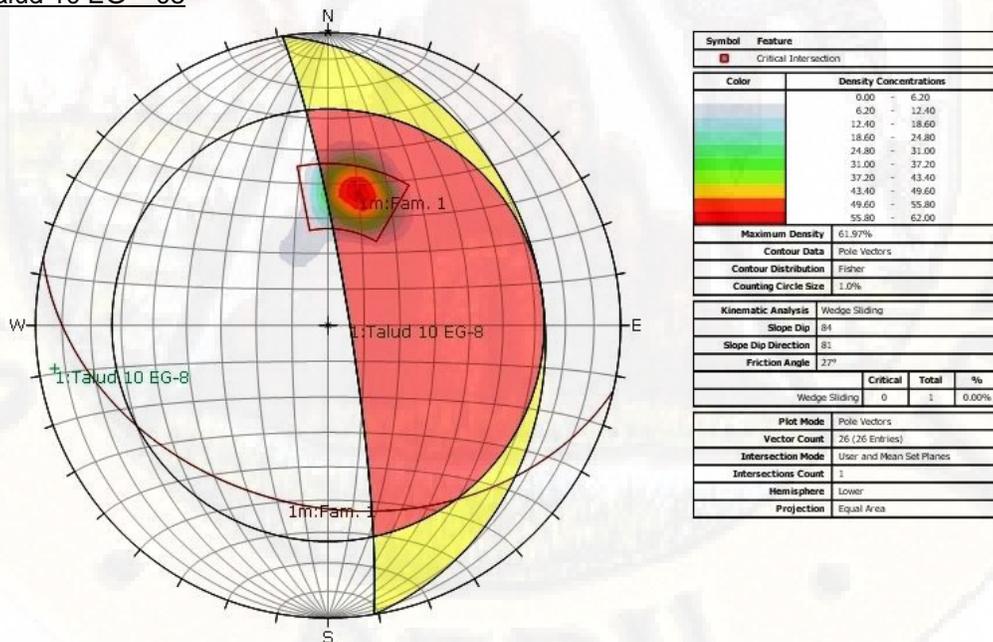


Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla planar (ninguna familia, dentro del área crítica).

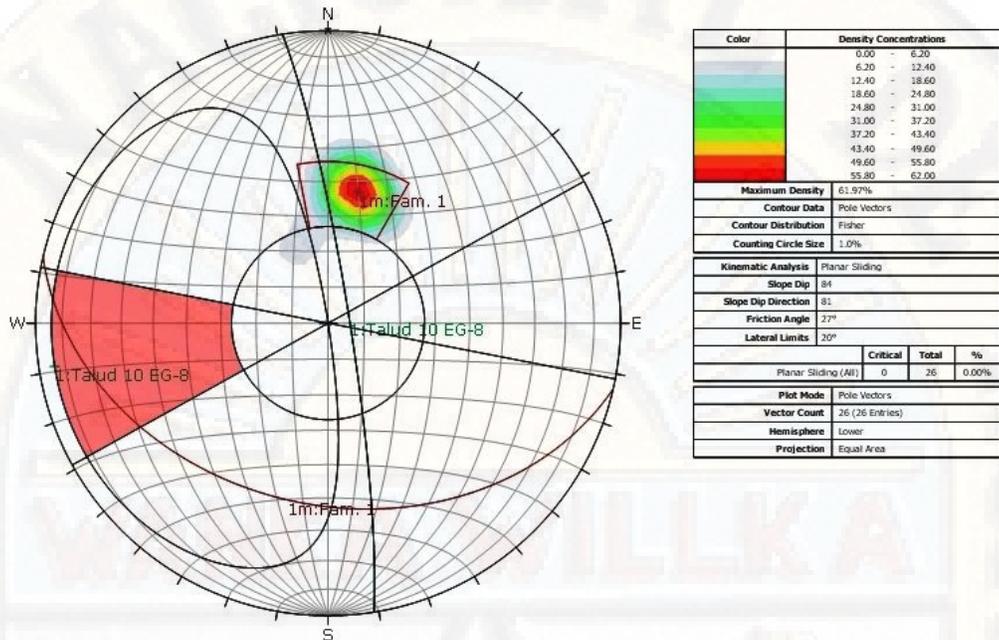


Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla por vuelco (ninguna familia, dentro del área crítica).

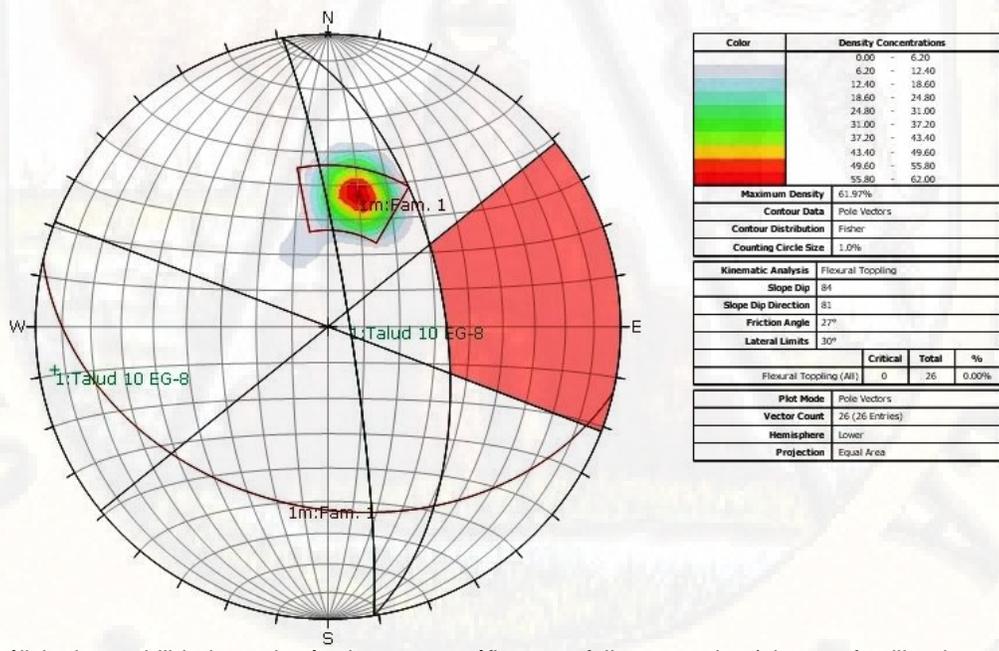
Talud 10 EG – 08



Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla por cuña (no hay intersección, dentro del área crítica).



Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla planar (ninguna familia, dentro del área crítica).



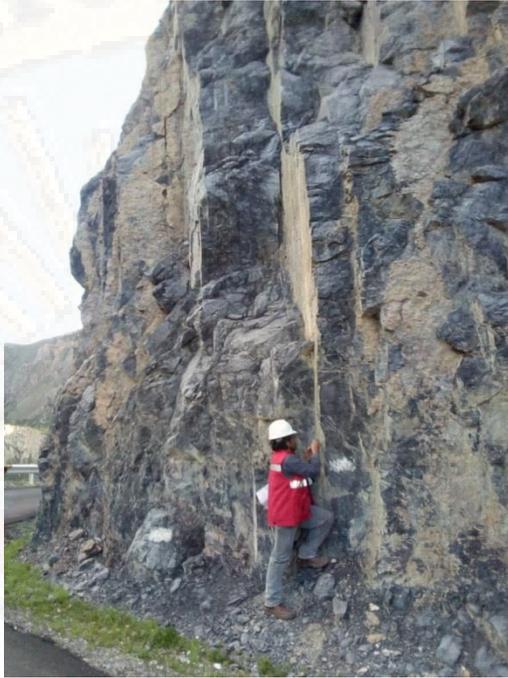
Análisis de estabilidad por el método estereográfico para falla por vuelco (ninguna familia, dentro del área crítica).



ANEXO 5: PLANO TOPOGRÁFICO – GEOMECÁNICO.



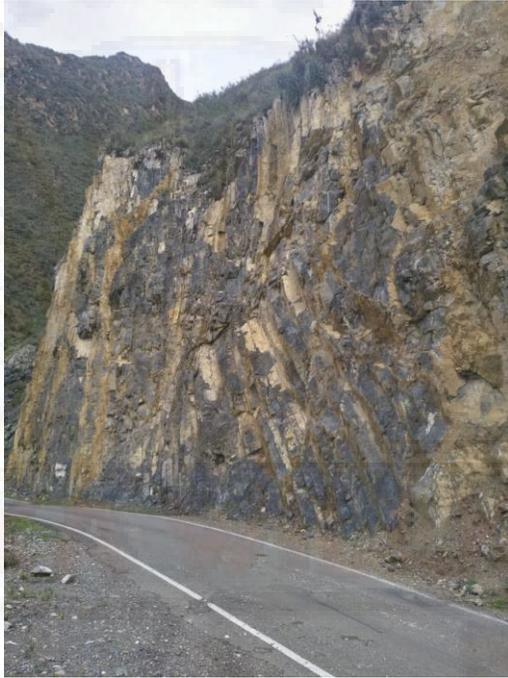
ANEXO 6: FOTOGRAFÍAS DE LA ZONA DE ANÁLISIS DEL TALUD.



EG – 1: Afloramiento del macizo rocoso (caliza), se puede observar los estratos (dos familias) plegados casi verticalmente.



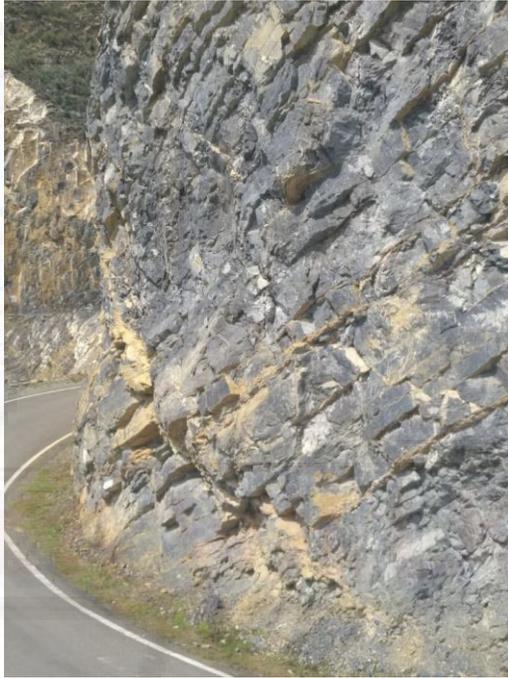
EG – 2: Afloramiento del macizo rocoso (caliza), se puede observar los estratos (dos familias) plegados casi verticalmente.



EG – 3: Afloramiento del macizo rocoso (caliza), se puede observar los estratos (familia N° 1) se observa el plegamiento progresivo de los estratos con buzamiento de 40°- 81°.



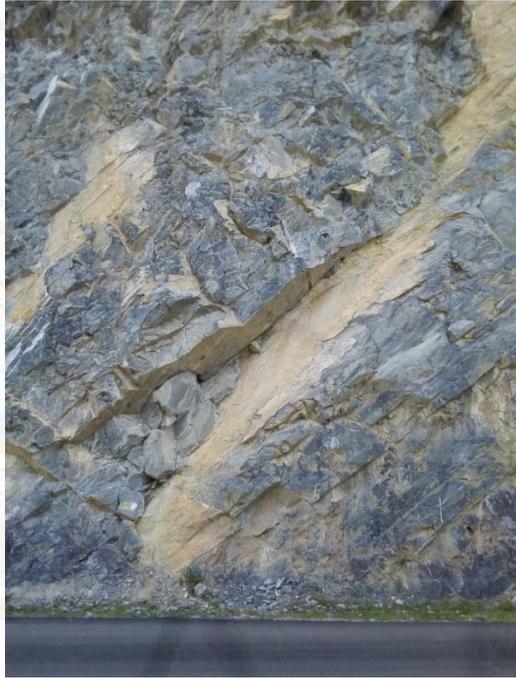
EG – 4: Afloramiento del macizo rocoso (caliza), se puede observar los estratos (una familia) y dos diaclasas esporádicas de gran persistencia que formaron tres cuñas, que fallaron por acción de la deficiente voladura, durante el corte del talud.



EG – 5: Afloramiento del macizo rocoso (caliza), se puede observar los estratos (dos familias) plegados uniformemente, y diaclasa esporádica.



EG – 6: Afloramiento del macizo rocoso (caliza), se puede observar los estratos (una familia) plegados uniformemente con buzamiento promedio de 36°.



EG – 7: Afloramiento del macizo rocoso (caliza), se puede observar los estratos (una familia) y dos diaclasas esporádicas de gran persistencia que formaron una cuña, que fallo por acción de la deficiente voladura, durante el corte del talud.



EG – 8: Afloramiento del macizo rocoso (caliza), se puede observar los estratos (una familia) plegados uniformemente con buzamiento promedio de 35°.