

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“CARACTERIZACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES Y
ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DEL TALUD EN ROCA
EN EL ASENTAMIENTO HUMANO INTY LLACTA”**

PRESENTADO POR:

Bach. JOSÉ LUIS ARONES APESTEGUI

Línea de investigación institucional:

Transporte y Urbanismo

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

Huancayo – Perú

2021

ASESORA: ING. NATALY LUCIA CORDOVA ZORRILLA

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación a las dos personas más importantes de mi vida a mi madre y mi abuela, ellas siempre me han guiado por el camino más correcto para el logro de todos mis objetivos y siempre han sido un soporte muy importante en los momentos más difíciles de mi vida.

HOJA DE CONFORMIDAD DE LOS JURADOS

**DR. RUBEN DARIO TAPIA SILGUERA
PRESIDENTE**

**MSC. JULIO CESAR LLALLICO COLCA
JURADO**

**ING. ALCIDES LUIS FABIÁN BRAÑEZ
JURADO**

**ING. DAYANA MARY MONTALVÁN SALCEDO
JURADO**

**MG. LEONEL UNTIVEROS PEÑALOSA
SECRETARIO DOCENTE**

ÍNDICE

ASESORA:	ii
DEDICATORIA	iii
HOJA DE CONFORMIDAD DE LOS JURADOS	iv
RESUMEN	xii
ABSTRAC	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPITULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	15
1.1. Planteamiento del problema	15
1.2. Formulación y sistematización del problema	16
1.2.1. Problema general	16
1.2.2. Problema específico.....	16
1.3. Justificación	16
1.3.1. Practica o social	16
1.3.2. Científica o teórica.....	16
1.3.3. Metodológica	16
1.4. Delimitaciones	17
1.4.1. Espacial.....	17
1.4.2. Temporal.....	17
1.4.3. Económica	18
1.4.4. Delimitación geográfica	18
1.5. Limitaciones	18
1.5.1. Limitación económica	18
1.6. Objetivos.....	18
1.6.1. Objetivo general	18
1.6.2. Objetivos específicos.....	18
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	19
2.1. Antecedentes.....	19
2.1.1. Antecedentes nacionales.....	19
2.1.2. Antecedentes internacionales	21
2.2. Marco Conceptual.....	24
2.2.1. Taludes en roca.....	24

2.2.2. Proyección estereográfica.....	25
2.2.3. Cono de fricción	27
2.2.4. Análisis cinemático de taludes	29
2.2.5. Clasificaciones geomecánicas	34
2.2.6. Clasificación Rock Mass Rating (RMR).....	35
2.2.7. Clasificación geomecánica Slope Mass Rating (SMR).....	42
2.2.8. Clasificación geomecánica Qslope.....	45
2.3. Definición de términos	50
2.4. Hipótesis	53
2.4.1. Hipótesis general	53
2.4.2. Hipótesis específicas.....	53
2.5. Variables.....	53
2.5.1. Definición conceptual de la variable	53
2.5.2. Definición operacional de la variable.....	54
2.5.3. Operacionalización de la variable.....	55
CAPITULO III: METODOLOGÍA.....	56
3.1. Método de investigación.....	56
3.2. Tipo de investigación.....	56
3.3. Nivel de investigación	56
3.4. Diseño de investigación.....	57
3.5. Población y muestra.....	57
3.5.1. Población	57
3.5.2. Muestra	57
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	57
3.7. Procesamiento de la información	58
3.8. Técnicas y análisis de datos.....	58
CAPITULO IV: RESULTADOS	59
4.1. Descripción del talud en roca en el asentamiento humano Inty Llacta	59
4.2. Análisis cinemático del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta.....	61
4.3. Clasificación geomecánica Rock Mass Rating (RMR) del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta.....	66
4.4. Clasificación geomecánica Slope Mass Rating (SMR) del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta.....	70
4.5. Clasificación geomecánica Qslope del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta.....	75

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	82
CONCLUSIONES	86
RECOMENDACIONES	88
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
ANEXOS.....	92

CONTENIDO DE LAS TABLAS

Tabla 2.1 <i>Valoración de la resistencia de la roca.</i>	35
Tabla 2.2 <i>Estimación de la resistencia con picota de geólogo.</i>	36
Tabla 2.3 <i>Valoración del RQD.</i>	38
Tabla 2.4 <i>Valoración del espaciamiento de las discontinuidades.</i>	39
Tabla 2.5 <i>Valoración del espaciamiento de las discontinuidades.</i>	40
Tabla 2.6 <i>Valoración de las condiciones hidrológicas.</i>	40
Tabla 2.7 <i>Corrección por orientación de las diaclasas.</i>	41
Tabla 2.8 <i>Clasificación RMR.</i>	41
Tabla 2.9 <i>Tiempo de sostenimiento, cohesión y ángulo de fricción del macizo rocoso.</i> ...	41
Tabla 2.10 <i>Parámetro de corrección F4.</i>	43
Tabla 2.11 <i>Parámetros de corrección F1, F2 y F3.</i>	43
Tabla 2.12 <i>Clases de estabilidad y clasificación Slope Mass Rating (SMR).</i>	44
Tabla 2.13 <i>Factor de familias de juntas Jn.</i>	46
Tabla 2.14 <i>Factor de rugosidad de juntas Jr.</i>	46
Tabla 2.15 <i>Factor de alteración de juntas Ja.</i>	47
Tabla 2.16 <i>Factor de corrección por orientación de fracturas O.</i>	47
Tabla 2.17 <i>Factor de corrección por presencia de agua en las juntas Jwise.</i>	48
Tabla 2.18 <i>Factor de reducción de la resistencia del talud SFRA.</i>	48
Tabla 2.19 <i>Factor SRFb tensión y resistencia.</i>	49
Tabla 2.20 <i>Factor de discontinuidad mayor SRFc.</i>	49
Tabla 2.21 <i>Operacionalización de la variable independiente: Caracterización de las discontinuidades.</i>	55
Tabla 2.22 <i>Operacionalización de la variable dependiente: Análisis de la estabilidad de talud en roca.</i>	55
Tabla 4.1 <i>Parámetros del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta.</i>	61
Tabla 4.2 <i>Orientación de las familias de las discontinuidades del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta.</i>	62
Tabla 4.3 <i>Parámetros de la rotura planar del talud.</i>	63
Tabla 4.4 <i>Parámetros de la rotura en cuña del talud.</i>	65
Tabla 4.5 <i>Parámetros de la rotura en vuelco del talud.</i>	66
Tabla 4.6 <i>Parámetros y condiciones de las discontinuidades.</i>	70

Tabla 4.7 <i>Factores de corrección de la familia de discontinuidades 04, para rotura planar.</i>	70
Tabla 4.8 <i>Factores de corrección de la rotura en cuña formada por las familias de discontinuidades 03 y 04.</i>	71
Tabla 4.9 <i>Factores de corrección de la rotura en cuña formada por las familias de discontinuidades 03 y 05.</i>	72
Tabla 4.10 <i>Factores de corrección de la rotura en cuña formada por las familias de discontinuidades 04 y 05.</i>	73
Tabla 4.11 <i>Factores de corrección de la rotura en vuelco formado por la familia de discontinuidades 01.</i>	74
Tabla 4.12 <i>Factores de corrección de la rotura en vuelco formada por la familia de discontinuidades 02.</i>	75
Tabla 4.13 <i>Parámetros de la roca del talud del asentamiento Inty Llacta.</i>	76
Tabla 4.14 <i>Parámetros para el cálculo del Q_{slope} en rotura plana.</i>	76
Tabla 4.15 <i>Parámetros para el cálculo del Q_{slope} en rottura en cuña.</i>	78
Tabla 4.16 <i>Parámetros para el cálculo del Q_{slope} en rottura en vuelco.</i>	80
Tabla 5.1 <i>Resumen de los tipos de rotura del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta.</i>	83
Tabla 5.2 <i>Clasificación geomecánica Slope Mass Rating del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta.</i>	84
Tabla 5.3 <i>Clasificación geomecánica Q_{slope} del talud en roca del asentamiento Inty Llacta.</i>	85

CONTENIDO DE LAS FIGURAS

Figura 1.1: <i>Ubicación del Asentamiento humano Inty Llacta – Distrito de chorrillos.</i>	17
Figura 2.1: <i>Línea normal de un plano.</i>	25
Figura 2.2: <i>Idea de una proyección estereográfica.</i>	26
Figura 2.3: <i>Proyección Equiangular.</i>	26
Figura 2.4: <i>Proyección Equidistancial.</i>	27
Figura 2.5: <i>Cono de fricción.</i>	28
Figura 2.6: <i>Rotura plana.</i>	30
Figura 2.7: <i>Análisis cinemático por rotura plana.</i>	30
Figura 2.8: <i>Rotura en cuña.</i>	31
Figura 2.9: <i>Análisis cinemático por rotura en cuña.</i>	32
Figura 2.10: <i>Rotura en vuelco.</i>	33
Figura 2.11: <i>Análisis cinemático por rotura en vuelco.</i>	34
Figura 2.12: <i>Abaco para valorar la resistencia de la roca.</i>	36
Figura 2.13: <i>Abaco para valorar la resistencia de la roca.</i>	37
Figura 2.14: <i>Abaco de la valoración del índice de calidad de la roca (RQD).</i>	38
Figura 2.15: <i>Abaco de la valoración del espaciamiento.</i>	39
Figura 2.16: <i>Medidas de corrección de taludes en función del Slope Mass Rating.</i>	44
Figura 2.17: <i>Abaco Q Slope.</i>	45
Figura 2.18: <i>Ladera.</i>	50
Figura 2.19: <i>Talud.</i>	50
Figura 4.1: <i>Contacto entre areniscas con intercalación de limolitas y lutitas.</i>	59
Figura 4.2: <i>Macizo rocosos fracturado con bloques de roca sueltos.</i>	60
Figura 4.3: <i>Depósitos residuales.</i>	60
Figura 4.4: <i>Angulo de fricción de la arenisca.</i>	61
Figura 4.5: <i>Número de familias de discontinuidades del talud del asentamiento humano Inty Llacta.</i>	62
Figura 4.6: <i>Análisis cinemático de la rotura planar del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta.</i>	63
Figura 4.7: <i>Análisis cinemático de la rotura en cuña del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta.</i>	64
Figura 4.8: <i>Análisis cinemático de la rotura en vuelco del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta.</i>	65

Figura 4.9: <i>Estimación de la resistencia de la roca con la picota.</i>	67
Figura 4.10: <i>Numero de discontinuidades por metro lineal.</i>	67
Figura 4.11: <i>Valoración del índice de la calidad de la roca RQD.</i>	68
Figura 4.12: <i>Valoración del espaciamiento.</i>	69
Figura 4.13: <i>Qslope en rotura planar del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta.</i>	77
Figura 4.14: <i>Qslope rotura en cuña del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta.</i>	79
Figura 4.15: <i>Qslope rotura en vuelco del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta.</i>	81

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, se plantea como problema general: ¿Cómo la caracterización de las discontinuidades incide en el análisis de la estabilidad del talud en roca en el asentamiento humano Inty Llacta?, tiene como objetivo general: “Determinar cómo la caracterización de las discontinuidades incide en el análisis de la estabilidad del talud en roca en el asentamiento humano Inty Llacta” y como hipótesis general: “La caracterización de las discontinuidades incide en el análisis de la estabilidad del talud en roca en el asentamiento humano Inty Llacta”.

El método de investigación que se a empleado es el método científico, el tipo de investigación según la intervención del investigador es observacional, según su planificación es prospectivo y según el número de veces que se mide la variable es transversal.

El nivel de investigación es descriptivo, el diseño de la investigación es no experimental, la población está definida por el talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta y la muestra es el macizo rocoso del Jr. 06 de enero.

Al concluir el presente trabajo de investigación, se determinó que las características de las discontinuidades influyen en el análisis de la estabilidad del talud en roca. Los tipos de rotura, las medidas de reforzamiento y la estabilidad global del talud en roca en el asentamiento humano Inty Llacta fueron determinados mediante el análisis cinemático y las clasificaciones geomecánicas Slope Mass Rating y Q slope.

Palabras claves: Caracterización de las discontinuidades, análisis de la estabilidad del talud en roca, análisis cinemático de taludes, Slope Mass Rating, Q slope.

ABSTRAC

In the present thesis work, the general problem is posed: How does the characterization of the discontinuities affect the analysis of the stability of the rock slope in the human settlement Inty Llacta? Its general objective is: “To determine how the characterization of discontinuities affect the analysis of the stability of the rock slope in the Inty Llacta human settlement” and as a general hypothesis: “The characterization of the discontinuities affects the analysis of the rock slope stability in the Inty Llacta human settlement”.

The research method used is the scientific method, the type of research according to the intervention of the researcher is observational, according to its planning it is prospective and according to the number of times the variable is measured it is transversal.

The research level is descriptive, the research design is non-experimental, the population is defined by the rock slope of the Inty Llacta human settlement and the sample is the rock massif of Jr. 06 de January.

At the conclusion of this research work, it was determined that the characteristics of the discontinuities influence the stability analysis of the rock slope. The types of failure, the measures of reinforcement and the global stability of the rock slope in the human settlement Inty Llacta were determined through kinematic analysis and the geomechanical classifications Slope Mass Rating and Q slope.

Keywords: Characterization of discontinuities, analysis of rock slope stability, kinematic analysis of slopes, Slope Mass Rating, Q slope.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación: “Caracterización de las discontinuidades y análisis de la estabilidad del talud en roca en el asentamiento humano Inty Lacta”, busca establecer la incidencia de las características de las discontinuidades en la estabilidad del talud en estudio a través del análisis cinemático y las clasificaciones geomecánicas Slope Mass Rating y Qslope, mediante los cuales se determinó los posibles tipos de rotura, la estabilidad del talud y el tratamiento a los distintos tipos de rotura.

El presente trabajo de investigación está conformado por V capítulos, los cuales se describen a continuación.

Capítulo I: En el presente capítulo se desarrolla el problema de investigación, este contiene el planteamiento del problema, la formulación y sistematización del problema, la justificación, la delimitación, las limitaciones y los objetivos.

Capítulo II: En este capítulo desarrolla el marco teórico, este contiene los antecedentes de la investigación tanto nacionales como internacionales, el marco conceptual, la definición de términos, la hipótesis y las variables.

Capítulo III: Dentro de este capítulo se desarrollará la metodología, este contiene el método de investigación, tipo de investigación, nivel de investigación, diseño de la investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, procesamiento de la información, técnicas y análisis de datos.

Capítulo IV: En este capítulo se presenta los resultados de la investigación.

Capítulo V: Este capítulo contiene la discusión de la investigación.

Finalmente se presenta las conclusiones, recomendaciones, referencia bibliográfica y anexos de la investigación

CAPITULO I:

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

A partir del año 1940, la ciudad de Lima con una población aproximada de 800 mil habitantes, experimenta una migración masiva de los pobladores provenientes de todo el país, las causas que originaron esta migración fue la búsqueda del progreso y mejores condiciones de vida, también se originó una crisis por la falta de viviendas, ante la incapacidad del estado de no poder resolver esta crisis, surgen los asentamientos humanos, muchos de estos se ubicaron en las laderas de los cerros y en los arenales, en la actualidad la ciudad de lima tiene una población aproximadamente de 9.7 millones de habitantes.

Al encontrarse la ciudad de lima en una zona de alta sismicidad y en caso de producirse un sismo de gran magnitud, en los asentamientos humanos ubicados en los arenales se producirá la licuefacción de suelos y en los asentamientos humanos ubicados en las laderas de los cerros se producirá la caída de bloques de roca, trayendo como consecuencia pérdidas materiales y vidas humanas.

El asentamiento humano Inty Llacta se encuentra ubicado en el distrito de Chorrillos, departamento de Lima, en el año 2011, en el talud ubicado en el Jr. 06 de enero se produjo la caída de bloques de roca ocasionado daños materiales y pánico en los pobladores.

En la actualidad se observa cortes realizados al talud para la construcción de viviendas, un macizo rocoso fracturado con presencia de bloques suspendidos, sin ningún tipo de reforzamiento, en el caso de producirse un sismo de gran magnitud, la caída de los bloques de rocas suspendidos podría ocasionar la pérdida de vidas humanas, daños materiales, pánico e inseguridad en los pobladores.

Todo lo descrito anteriormente conlleva, a que el talud ubicado en el asentamiento humano Inty Llacta, es un peligro latente para los pobladores que viven en sus inmediaciones.

Según lo expuesto, el escenario a estudiar engloba las características de las discontinuidades y el análisis de la estabilidad del talud en roca.

1.2. Formulación y sistematización del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo la caracterización de las discontinuidades incide en el análisis de la estabilidad del talud en roca en el asentamiento humano Inty Llacta?

1.2.2. Problema específico

- a) ¿Cómo la caracterización de las discontinuidades incide en el análisis cinemático del talud en roca en el asentamiento humano Inty Llacta?
- b) ¿Cómo la caracterización de las discontinuidades incide en la clasificación geomecánica Slope Mass Rating del talud en roca en el asentamiento humano Inty Llacta?
- c) ¿Cómo la caracterización de las discontinuidades incide en la clasificación geomecánica Qslope del talud en roca en el asentamiento humano Inty Lacta?

1.3. Justificación

1.3.1. Practica o social

Con los resultados que se obtengan de la caracterización de las discontinuidades y del análisis de la estabilidad del talud en roca en el asentamiento humano Inty Llacta, se plantearán medidas de reforzamiento y previsión para evitar que se produzca el desprendimiento de bloques de roca del talud, de tal manera que, no causen daños materiales, pérdida de vidas, pánico e inseguridad en los pobladores.

1.3.2. Científica o teórica

Teniendo los conocimientos previos sobre las características de las discontinuidades, los métodos de análisis de estabilidad de taludes en roca, el uso del programa Dips versión 6.0, RocData versión 3.0 y el uso del programa Microsoft Excel. Se procedió a realizar el análisis de la estabilidad del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta.

1.3.3. Metodológica

En la presente investigación se hará uso de las tablas de forma sistemática, para la recolección de los datos de campo, estos datos serán procesados y analizados mediante el análisis cinemático y las clasificaciones geomecánicas específicas para taludes como el Slope Mass Rating y Qslope, también se hará uso del software Dips en su versión 6.0 para realizar el análisis de las proyecciones estereográficas, RocData versión 3.0 para determinar el ángulo de fricción de la

roca y el programa Microsoft Excel donde realizaremos el análisis de las clasificaciones geomecánicas, el resultado de la presente investigación servirá de apoyo para investigaciones posteriores.

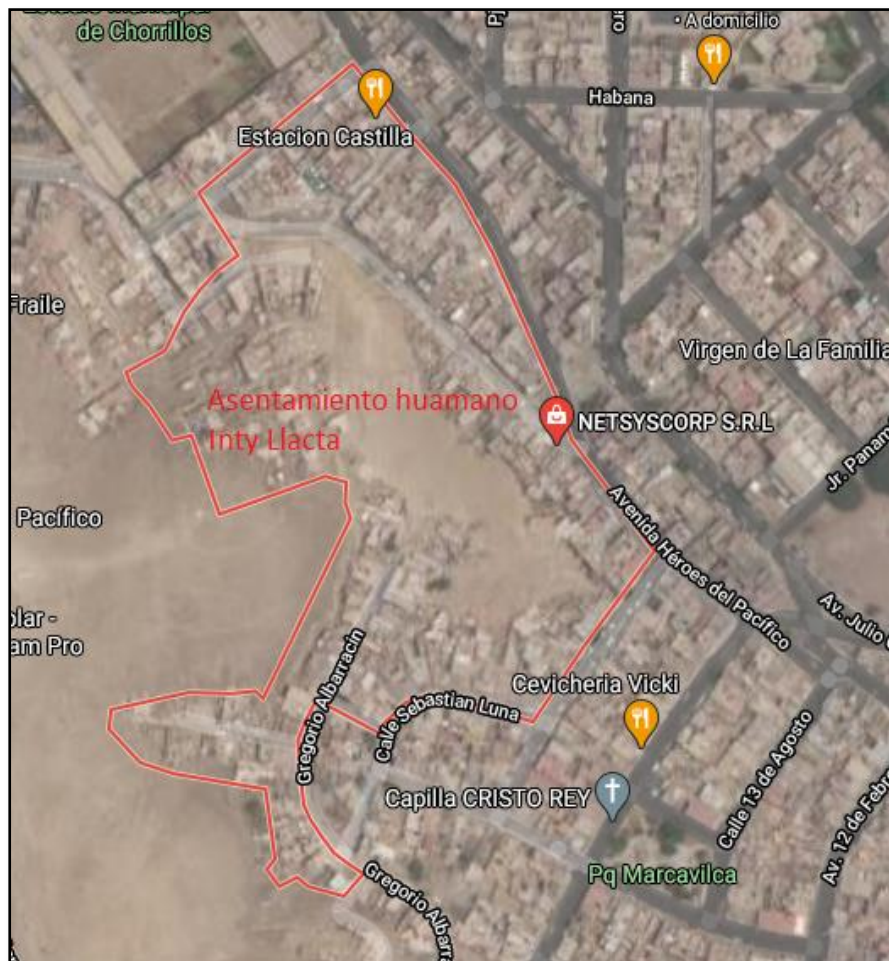
1.4. Delimitaciones

1.4.1. Espacial

Departamento : Lima.
Provincia : Lima.
Distrito : Chorrillos.
Centro poblado : Asentamiento humano Inty Llacta.

Figura 1.1:

Ubicación del Asentamiento humano Inty Llacta – Distrito de Chorrillos.



Fuente: Google Earth.

1.4.2. Temporal

La presente tesis se desarrollará en el transcurso del presente año 2020.

1.4.3. Económica

Los gastos que involucren el desarrollo de la presente tesis serán asumidos en su integridad por el sustentante.

1.4.4. Delimitación geográfica

El asentamiento humano Inty Llacta, se ubica al sur este de la ciudad de Lima, en el distrito de Chorrillos, provincia de Lima, departamento de Lima y tiene las siguientes coordenadas UTM.

Latitud : 279509.29

Longitud : 8653381.69

Zona : 18L

El área total del asentamiento humano Inty Llacta es 18443.44 m².

1.5. Limitaciones

1.5.1. Limitación económica

En la presente investigación, la limitante económica está referida al costo elevado de las pruebas de laboratorio para determinar la resistencia uniaxial de la roca y el ángulo de fricción, estos datos en el presente trabajo de investigación serán determinados de forma indirecta mediante la picota de geólogo y el programa RocData en su versión 3.0.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Determinar cómo la caracterización de las discontinuidades incide en el análisis de la estabilidad del talud en roca en el asentamiento humano Inty Llacta.

1.6.2. Objetivos específicos

- a) Determinar cómo la caracterización de las discontinuidades incide en el análisis cinemático del talud en roca en el asentamiento humano Inty Llacta.
- b) Determinar cómo la caracterización de las discontinuidades incide en la clasificación geomecánica Slope Mass Rating del talud en roca en el asentamiento humano Inty Llacta.
- c) Determinar cómo la caracterización de las discontinuidades incide en la clasificación geomecánica Qslope del talud en roca en el asentamiento humano Inty Llacta.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes nacionales

- MIJAIL ANTONIO CALDERON MENA (2018), “*Caracterización geomecánica para la determinación del tipo de sostenimiento en la galería Gavilán de oro de la UEA Ana María*”. Tesis presentada en la Universidad Nacional del Altiplano, Perú, para optar el título de Ingeniero Minas, el nivel de investigación es descriptivo, la recolección de datos se realizó mediante estaciones geomecánicas, siendo la muestra el macizo rocoso de la galería Gavilán de Oro, el investigador concluye que las clasificaciones geomecánicas están condicionadas por las características de las discontinuidades siendo las mas condicionantes el espaciado, la persistencia, la rugosidad de las discontinuidades, el mapeo geomecánico de la galería Gavilán de Oro se realizó mediante 06 estaciones geomecánicas, estas tiene un valor RMR de Bieniawski de 53 (regular), 61 (buena), 58 (regular), 69 (buena), 57 (regular) y 63 (buena), de igual forma un valor de índice Q de Barton es de 5.4 (regular), 21.1 (buena), 12.7 (buena), 82.0 (muy buena), 10.7 (buena) y 29.7 (buena) para cada estación geomecánica respectivamente, también se determinó que está conformado por 03 familias de discontinuidades, el tipo de sostenimiento de la galería de acuerdo a la clasificación de Q de Barton es la colocación de pernos de forma sistemática a un espaciamiento de 1.7, 2.4, 2.2, 3.6, 2.2, 2.6 metros para las estaciones geomecánicas.

El presente trabajo de investigación está enfocado en la caracterización geomecánica para la determinación del tipo de sostenimiento para la galería Gavilán de oro, llegando a la conclusión que las características de las discontinuidades condicionan las clasificaciones geomecánicas, la calidad del macizo rocoso de la galería se determinó de acuerdo al RMR de Bieniawski, esta se encuentra entre regular y buena y el tipo de sostenimiento para la galería de acuerdo a la clasificación Q de Barton son pernos espaciado sistemáticamente.

- ALAN ALEX SAENZ SERPA (2017). “*Análisis para estabilidad de taludes en roca utilizando mallas galvanizadas ancladas, ciudad nueva Fuerabamba - Apurímac*”. Tesis presentada en la Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú, para optar el título de Ingeniero Civil, el nivel de investigación es descriptivo, la recolección de datos se realizó mediante estaciones de mapeo geomecánico, siendo la muestra todo el talud rocoso desde la progresiva 0+000 hasta +340, el investigador concluye que las discontinuidades de la roca generan las posibles fallas y desprendimientos provocando inestabilidad constante en los taludes, el factor de seguridad puede variar por la calidad del material evaluado, del análisis de la estabilidad de taludes se determinó que el macizo rocosos puede presentar tres tipos de falla que son: falla planar, falla por cuña y falla por volteo, el uso de mallas galvanizadas en el diseño debe garantizar que el factor de seguridad sea mayor a 1.25 (con aceleración sísmica) y 1.5 (sin aceleración sísmica), el uso e implementación mallas galvanizadas mas pernos colocados sistemáticamente deben garantizar la estabilidad y sostenimiento del talud a largo plazo con un factor de seguridad mayor a 5.24 en fallas tipo cuñas (con sismo y refuerzo), considerando la aceleración de sismo de 0.15 g.

El presente trabajo de investigación está enfocado en el análisis para la estabilidad de taludes en roca utilizando mallas galvanizadas, llegando a la conclusión que el talud en estudio presenta los tres tipos de fallas Planar, cuña y volteo, cuando se emplea las mallas galvanizadas como elemento de sostenimiento el factor de seguridad debe ser mayor a 1.25 (con aceleración sísmica), en cambio sí empleamos mallas galvanizadas mas pernos colocados sistemáticamente el factor de seguridad debe ser mayor a 5.24 (con sismo y refuerzo) en fallas tipo cuña.

- FREDY ALONSO, VALERIANO NINA (2015). “*Caracterización Geotécnica y Modos de Falla Estructural en el Talud en Roca Del Cerro Espinal Juliaca*”. Tesis presentada en la Universidad Nacional del Altiplano, Perú, para optar el título de Ingeniero Minas, el nivel de investigación es descriptivo, la recolección de datos se realizó mediante el método de mapeo por ventanas en forma aleatoria en la base del talud, la muestra es el macizo rocoso conformado por las discontinuidades, roca intacta y litología, el

investigador concluye que las características geotécnicas presentes en el talud del Cerro Espinal están condicionadas a las características geológicas, estructurales del macizo rocoso. La litología, alteración, parámetros estructurales, resistencia a la compresión simple, ángulo de fricción básico, presencia de agua, etc. son características que fueron medidos e identificados en el campo, se identificaron tres familias de discontinuidades presentes en el talud, los modos de falla estructural están condicionados por la dirección de las discontinuidades, altura del talud, pendiente del talud, orientación del talud y el ángulo de fricción de las discontinuidades, mediante el análisis de las proyecciones estereográficas se determinó la falla tipo vuelco, posteriormente se realizó en análisis de estabilidad de taludes mediante el método de equilibrio límite con el uso del software RocTopple v.1.0 obteniéndose el factor de seguridad en condiciones estáticas de 1.199 y en condiciones pseudoestáticas 1.084, los valores obtenidos nos indican que el talud se encuentra estable, pero al encontrarse el factor de seguridad cerca de la unidad, este refleja una situación no tan estable, lo cual se corroboró por la presencia continua de la caída de bloques de roca.

El presente trabajo de investigación se enfocada en la caracterización geomecánica y la identificación de los modos de falla estructural del talud en roca del cerro Espinal de Juliaca, llegando a la conclusión, que las características geotécnicas están condicionadas por las características, geológicas, estructurales y de macizo rocoso, mediante el análisis de las proyecciones estereográficas se determinó la falla tipo vuelto, luego se realizó el análisis de estabilidad de taludes mediante el método del equilibrio límite, con el uso del software RocTopple, determinándose que el factor de seguridad es mayor a la unidad, al encontrarse el factor de seguridad cerca de la unidad el talud refleja una situación no tan estable, esto se corroboró por la caída continua de bloques de roca.

2.1.2. Antecedentes internacionales

- ANDRÉS EDUARDO SUÁREZ GUARTATANGA (2019). “*Análisis Geológico Estructural y Geomecánico de los Afloramientos de los Cerros del Carmen y Santa Ana, Guayaquil, Ecuador*”. Tesis presentada en la universidad de Guayaquil, Ecuador, para optar el título de Ingeniero Geólogo, el

levantamiento de datos se realizó mediante la toma de datos estructurales de las discontinuidades, siendo la muestra los afloramientos rocosos, el investigador concluye del análisis cinemático de las discontinuidades y la representación estereográfica en el software Dips V 6.0, que existen tres familias de discontinuidades. La calidad del macizo rocoso de acuerdo a la clasificación Rock Mass Rating (RMR) presenta los siguientes valores $RMR_{Pt-1} = 41$ a 54 calidad e la roca es “media”, $RMR_{Pt-2} = 37$ a 55 calidad de la roca es “mala a media”, $RMR_{Pt-3} = 41$ a 50 calidad de la roca es “media”, estos valores se emplearon para el cálculo del Slope Mass Rating SMR el cual presenta los siguientes valores $SMR_{Pt-1} = 38 - 51$, el talud es “inestable a parcialmente estable”, $SMR_{Pt-2} = 33 - 51$, el talud es “inestable a parcialmente estable”, $SMR_{Pt-3} = 22 - 41$, el talud es “Inestable”, $SMR_{Pt-4} = 41 - 55$, el talud es “parcialmente estable”, los valores del Qslope también nos indican la calidad del macizo rocoso diferenciándolo del Rock Mass Rating (RMR) por que considera parámetros ambientales y físicos presentes en la superficie del talud, a partir de este índice se puede calcular el ángulo de pendiente máxima del talud de manera simple y determinar la estabilidad del talud, teniendo como resultado los siguientes valores $Q_{Pt-1} = 0.11 - 2.45$, $Q_{Pt-2} = 0.42 - 2.43$, $Q_{Pt-3} = 1.04 - 1.63$ y $Q_{Pt-4} = 1.76 - 2.68$, con estos valores se obtuvo el ángulo máximo permisible dando valores menores, por lo que se concluye que los taludes en estudio son inestables y que el macizo rocoso tiene una calidad muy mala en las diferentes zonas de estudio, los resultados se plasmaron mapas donde se refleja la calidad geomecánica y las condiciones de estabilidad.

El presente trabajo de investigación está enfocado en el análisis geológico, estructural y geomecánico de los afloramientos de los cerros del Carmen y Ana, mediante el análisis cinemático de las discontinuidades y el uso del software Dips se determinaron que existe tres familias de discontinuidades, la calidad de la roca fue determinado mediante la clasificación geomecánica Rock Mass Rating (RMR), posteriormente se realizó las clasificaciones específica para taludes Slope Mass Rating (SMR) y Q Slope llegándose a determinar que el talud es inestable, los resultados se plasmaron mapas donde se refleja la calidad geomecánica y las condiciones de estabilidad.

- MANRIQUE MUÑOZ VANIA LORENA & TIGRERO RODRIGUES PAOLA DE LOS ÁNGELES (2019). “*Análisis de estabilidad de taludes a partir de la evaluación geomecánica del macizo rocoso en Anconcito, provincia de Santa Elena*”. Tesis presentada en la Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador, para optar el título de Ingenieros Civiles, el levantamiento de datos se realizó mediante el modelo geológico, siendo la muestra el macizo rocoso del sector 9 de octubre de la parroquia Anconcito del Cantón Salinas el investigador concluye que la calidad de la roca de acuerdo a la clasificación geomecánica Rock Mass Rating (RMR) es de calidad media, pertenece a la clase III, tiene una cohesión de 2 – 3 Kpa/cm³ y un ángulo de rozamiento interno está entre 25°- 35°, el resultado de la clasificación geomecánica Slope Mass Rating (SMR) es 51, por lo tanto, globalmente las familias de las discontinuidades son parcialmente inestables a causa de la falla tipo cuña, el cual fue determinado mediante el análisis de las proyección estereográfica, se plantea estabilizar el talud con la construcción de muros de gaviones para reducir la erosión al pie del talud y agregar una protección costera (escolleras) que permitan la disminución de la energía de las olas al romperse contra el macizo rocoso.

El presente trabajo de investigación está enfocado en el análisis de la estabilidad de taludes a partir de la evaluación geomecánica del macizo rocoso en Anconcito llegando a la conclusión de acuerdo a la clasificación geomecánica Rock Mass Rating (RMR), que la calidad de la roca es media y de acuerdo la clasificación geomecánica específica para taludes Slope Mass Rating es parcialmente inestable para fallas tipo cuña, este tipo de falla fue determinado mediante el análisis cinemático, se plantea para estabilizar el talud con la construcción de muros de gaviones y agregar una protección costera (escolleras) que permita la disminución de la energía de las olas al romperse contra el macizo rocoso.

- CHRISTIAN XAVIER FLORES VÁSQUEZ & CRISTHIAN ANDRÉS PINEDA PROCEL (2015). “*Caracterización del Macizo Rcoso – Análisis Retrospectivo y Aplicación al Diseño de Taludes mediante Análisis Cinemático y Clasificación Geomecánica – Slope Mass Rating – Cantera BORCONS en el Km 6 1/2 de la Av. del Bombero, Guayaquil, Guayas, Ecuador*”. Tesis

presentada en la Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador, para optar el título de Ingenieros de Minas, el levantamiento de datos se realizó mediante 05 estaciones geomecánicas, siendo la muestra el macizo rocoso de la cantera Borcons, el investigador concluye que en el macizo rocoso de Borcons existen cuatro familias de discontinuidades, mediante la clasificación Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawski se obtuvo un valor de 65, por lo tanto la calidad de macizo rocoso es buena, este valor fue usado para determinar el SMR (Slope Mass Rating) en el cual se obtuvo valor igual a 64, del cual se concluye que el talud es estable globalmente, este resultado obtenido es coherente con el obtenido mediante el análisis cinemático, pues en ambos casos es escasa la probabilidad de formación de cuerpos inestables por rotura plana, cuña o vuelco, sin embargo existe una posibilidad local de rotura en cuña, esta sería de escaso tamaño a causa de la poca continuidad de las discontinuidades. El presente trabajo de investigación está enfocado en la caracterización del macizo rocoso con énfasis en el análisis cinemático, clasificación Rock Mass Rating y Slope Mass Rating llegando a la conclusión de que el talud es estable tanto por el SMR (Slope Mass Rating) y el análisis cinemático, sin embargo, hay una escasa probabilidad local de rotura tipo cuña, esta sería de escaso tamaño.

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Taludes en roca

En los taludes en roca, el grado de fracturamiento de la roca, la orientación, la distribución de las discontinuidades respecto al talud, condicionan los diferentes tipos de rotura. En macizos rocosos duros o resistentes, los planos de rotura están determinados por las discontinuidades, mientras que, en macizos rocosos formados por rocas blandas o poco competentes, los planos de rotura están determinados por la matriz rocosa. Los tipos de rotura mas frecuentes en taludes en roca son: Rotura plana, en cuña y volteo.

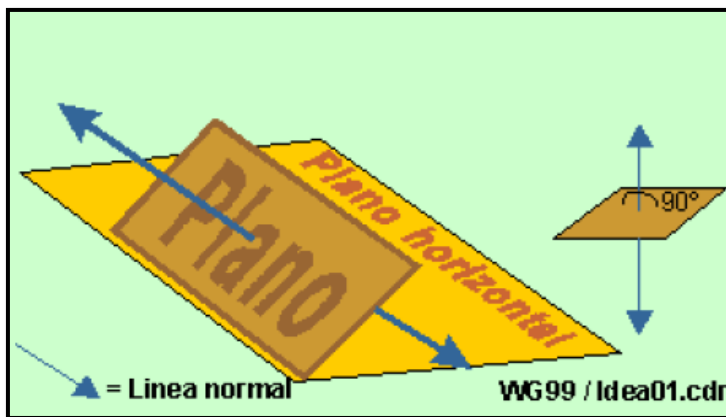
El análisis de la estabilidad de taludes en roca va ser determinado por el tipo de rotura que va presentar, si la rotura es por bloques producto de las discontinuidades o la rotura es por la masa rocosa.

2.2.2. Proyección estereográfica

Esta técnica nos permite proyectar un plano geológico de tres dimensiones a dos dimensiones (Papel) mediante la línea normal al plano, la línea normal al plano es una línea imaginaria, que es perpendicular al plano, por lo tanto, cada plano tiene su línea normal y para cada línea normal solamente existe un plano, al proyectar un plano geológico de tres dimensiones a dos dimensiones se pierde información, si el ángulo es verdadero la distancia se distorsiona, de igual modo, si las distancia es verdadera el ángulo se distorsiona.

Figura 2.1:

Línea normal de un plano.

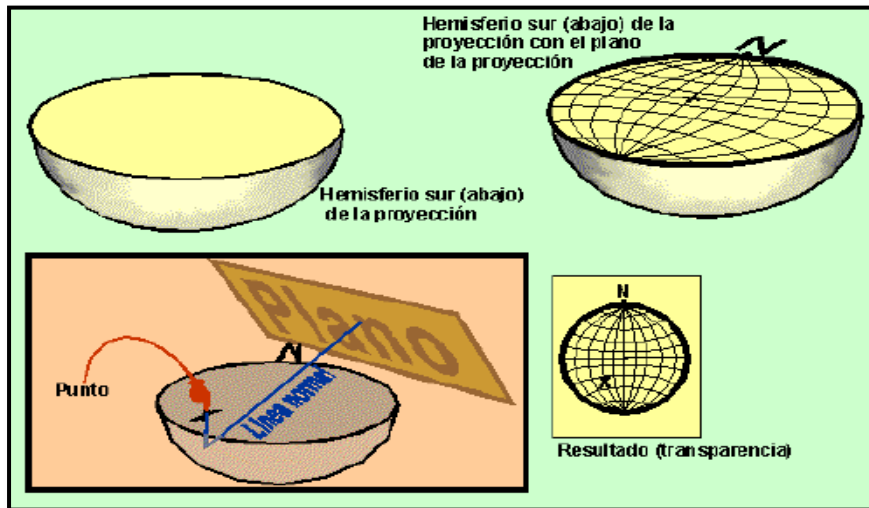


Fuente: Manejo del Software Dips Rocscience (Rodríguez, 2017).

La proyección estereográfica nos brinda información sobre la posición o el tamaño de lo que se representa, esta se basa en el uso de una esfera imaginaria de referencia, el cual tiene una orientación fija con su eje respecto al norte y su plano ecuatorial en el eje horizontal, en el plano ecuatorial los planos y las líneas se representan a través de la proyección, la intercepción del elemento a representar y el hemisferio interior de la esfera es imaginario.

Para realizar una proyección estereográfica cuando se usa el hemisferio sur hacia abajo, la línea normal del plano de interés pasa por el punto central hasta chochar con el hemisferio y proyectarse hacia arriba, a la superficie abierta del hemisferio, este punto se llama polo.

Figura 2.2:
Idea de una proyección estereográfica.

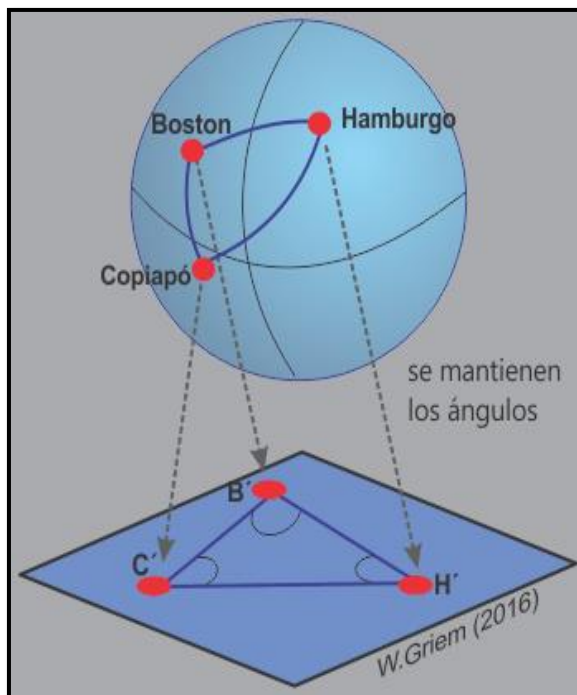


Fuente: Manejo del Software Dips Rocscience (Rodríguez, 2017).

Existen dos tipos de proyecciones estereográfica:

- Equiangular: Es usada en la cristalografía para poder definir los ángulos de un cristal, en esta proyección los ángulos son correctos y las distancias son falsas, también se le denomina falsilla o proyección de Wulff.

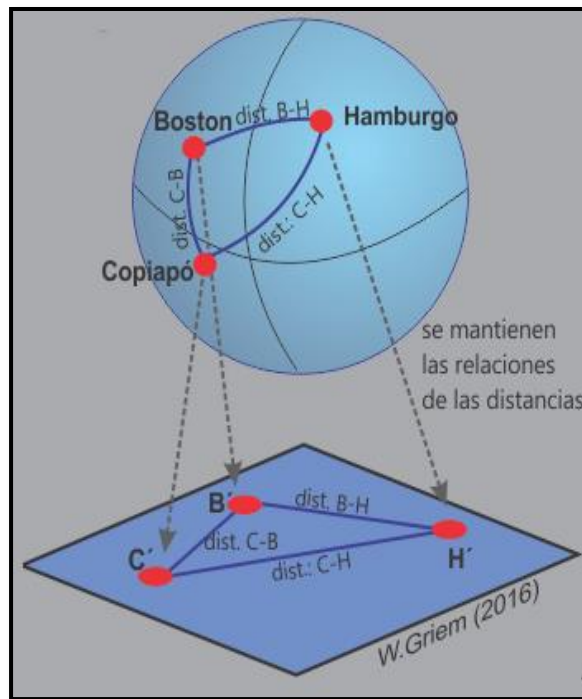
Figura 2.3:
Proyección Equiangular.



Fuente: Geología estructural virtual (Griem, 2020).

- **Equidistancial:** Es utilizada en la geología estructural debido a que se puede trabajar gran cantidad de datos, en este tipo de proyección las distancias son correctas y los ángulos son falsos, también se le denomina falsilla (o red) de Schmidt.

Figura 2.4:
Proyección Equidistancial.



Fuente: Geología estructural virtual (Griem, 2020).

2.2.3. Cono de fricción

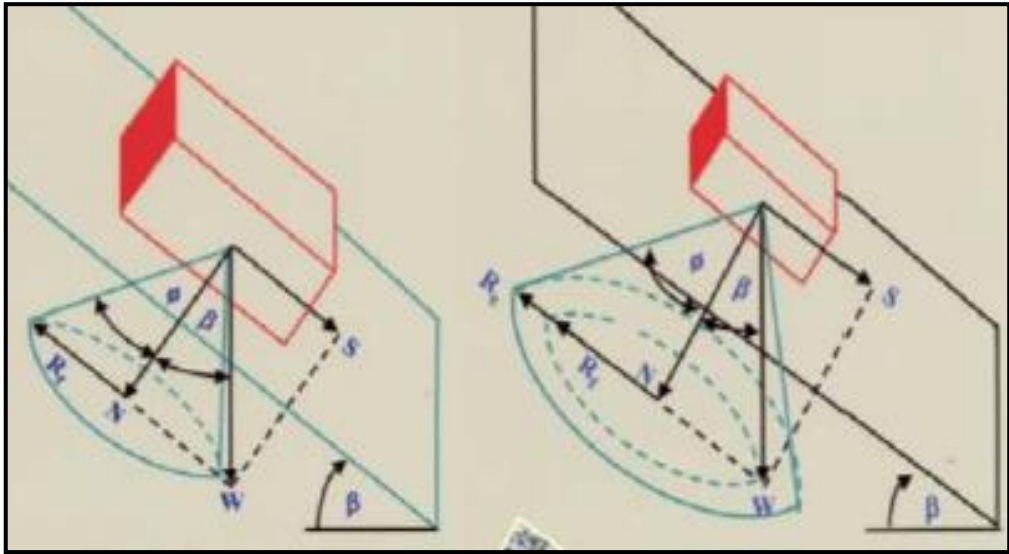
El concepto de cono de fricción fue dado por Talobre (1957), representa el ángulo que se forma entre la línea dada por la dirección de una fuerza y una línea normal al plano, si representamos el ángulo de fricción a través de un plano, podemos evaluar gráficamente la posibilidad de deslizamiento a la largo del plano bajo la acción de una carga activa en cualquier dirección.

En el análisis estereográfico de Markland en el año 1972, el cono de fricción en la proyección estereografía, se representa mediante un círculo, el ángulo se mide a partir de extremo de la esterofalsilla hacia el centro del talud.

El cono de fricción está dado por un bloque y un plano inclinado, en el momento de que las fuerzas inducen al deslizamiento se genera un ángulo máximo el cual

se le conoce como ángulo de fricción; el cono de fricción está dado por el ángulo de buzamiento y al ángulo de fricción.

Figura 2.5:
Cono de fricción.



Fuente: Manejo del Software Dips Rocscience (Rodríguez, 2017).

El bloque será estable, cuando el peso este dentro del cono.

$$\varphi = \psi \quad tg\varphi > tg\psi_p$$

$$C.S = \frac{tg\varphi}{tg\psi_p}$$

El bloque será inestable, cuando el peso este fuera del cono.

$$\varphi < \psi \quad tg\varphi < tg\psi_p$$

$$C.S = \frac{tg\varphi}{tg\psi_p} < 1$$

El ángulo de fricción interna phi, está determinado por el rozamiento de dos planos de la misma roca, este ángulo varía entre 25° a 45° en la mayoría de las rocas, el valor del ángulo de fricción puede ser determinado mediante la biblioteca del programa RocData o mediante el ensayo de campo llamado Tilt test.

2.2.4. Análisis cinemático de taludes

El análisis cinemático de taludes se realiza mediante el análisis de las proyecciones estereográficas cuando el talud rompe por bloques, teniendo en cuenta la direccionalidad de las discontinuidades del talud y el ángulo de fricción, podremos determinar el tipo de rotura (plana, cuña y vuelco).

En un macizo rocoso moderadamente fracturado, los tipos de rotura que se podrían producirse están gobernados directamente por las discontinuidades, estos actúan en los planos de debilidad de la masa rocosa.

La disposición de las discontinuidades dentro del macizo rocoso es aleatoria y obedece a procesos tectónicos, en las obras de ingeniería donde se realizan cortes en el terreno (carreteras, minas a tajo abierto y túneles), la dirección del corte está relacionado con los tipos de rotura que podría producirse (rotura plana, cuña y vuelco).

- Rotura plana: Este tipo de rotura depende de la orientación y buzamiento de las discontinuidades en relación con el talud, el deslizamiento tendrá lugar solamente cuando se supere la fuerza de rozamiento en el plano de la discontinuidad.

Para que se produzca la rotura plana debe cumplirse las siguientes condiciones.

a) $\beta_{disc} > \varphi$ donde:

β_{disc} : Buzamiento de la discontinuidad.

φ : Angulo de rozamiento o fricción.

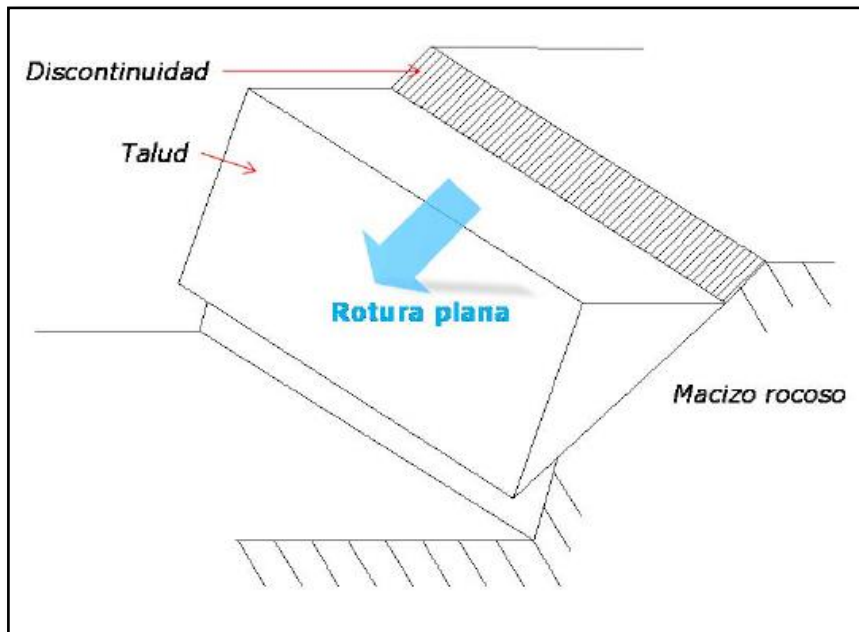
b) $\beta_{disc} < \beta_{talud}$ donde:

β_{disc} : Buzamiento de la discontinuidad

β_{talud} : Buzamiento del talud.

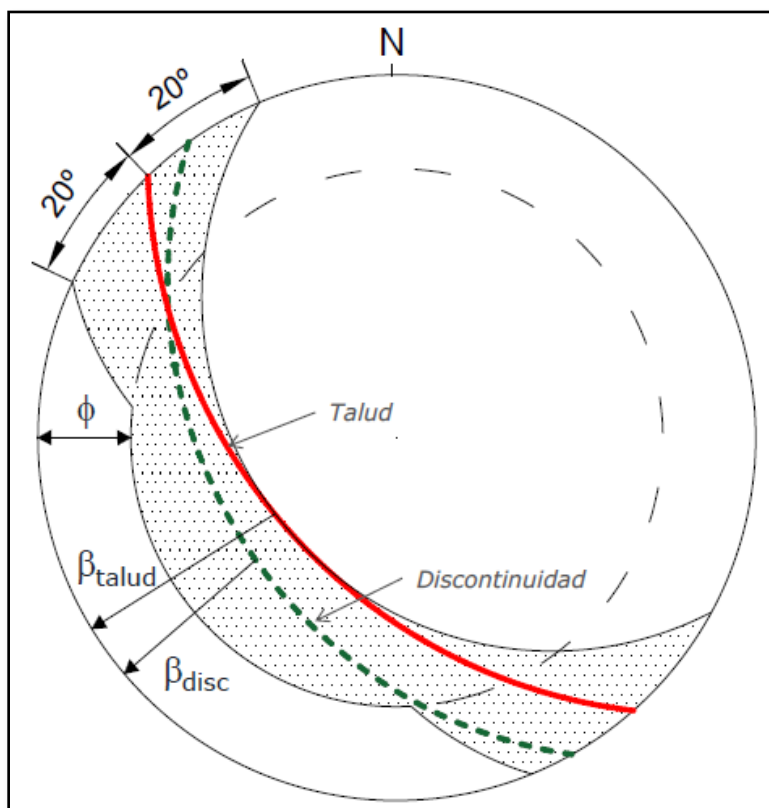
c) La dirección del buzamiento de la discontinuidad y la dirección de buzamiento del talud deben ser casi paralelas y la diferencia de ambos debe encontrarse en el rango de $\pm 20^\circ$.

Figura 2.6:
Rotura plana.



Fuente: Fuente: Análisis cinemático de la estabilidad de taludes en roca por rotura plana (Garzón y Torrijo, 2018).

Figura 2.7:
Análisis cinemático por rotura plana.



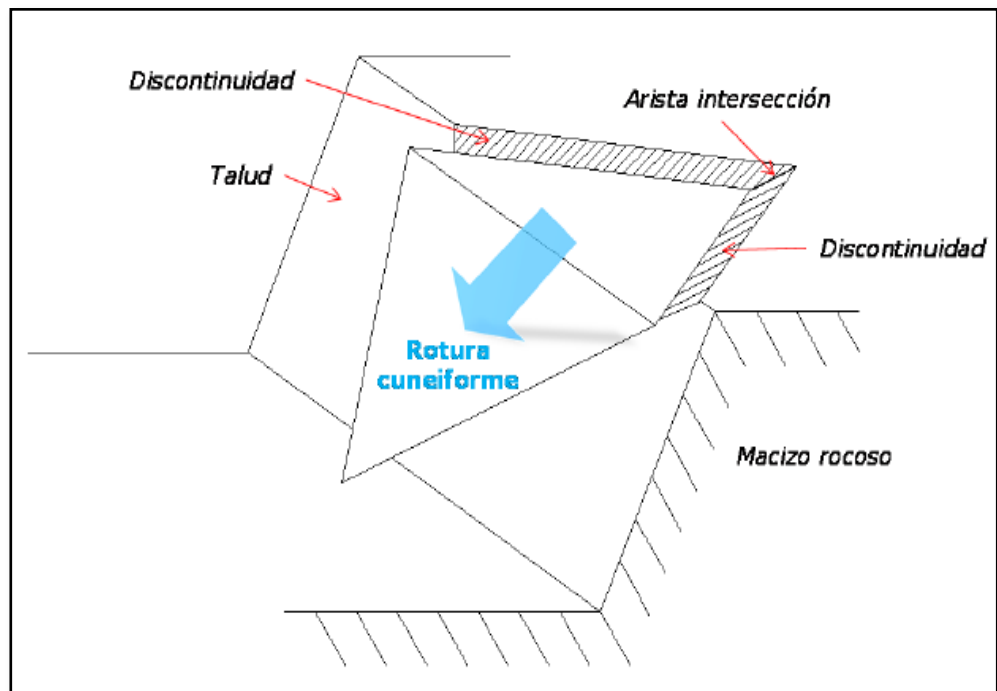
Fuente: Análisis Cinemático de la estabilidad de taludes en roca por rotura plana (Garzón y Torrijo, 2018).

- Rotura en cuña: Está formado por dos planos de discontinuidades que se interceptan formando una línea de intercepción, los dos planos de las discontinuidades deben aflorar en la superficie del talud, geoméricamente este tipo de rotura depende del buzamiento de la línea de intercepción de las discontinuidades en función del buzamiento del talud, el deslizamiento solo tendrá lugar si se supera la fuerza de rozamiento.

Por lo general este tipo de rotura se presenta en macizos rocosos con varias familias de discontinuidades, donde el espaciamiento, la continuidad y la orientación dan lugar a la forma y volumen de una cuña.

Figura 2.8:

Rotura en cuña.



Fuente: Análisis Cinemático de la estabilidad de taludes en roca por rotura cuneiforme (Garzón y Torrijo, 2018).

Se debe cumplir las siguientes condiciones para dar lugar a la rotura en cuña.

- a) La dirección del buzamiento de la intercepción de los planos de la discontinuidad y la dirección de buzamiento del talud deben ser casi paralelas y la diferencia de ambos debe encontrarse en el rango de $\pm 30^\circ$.

b) $\beta_{arista} > \varphi$ donde:

β_{arista} : Buzamiento de la intercepción de los planos de discontinuidad.

φ : Angulo de fricción.

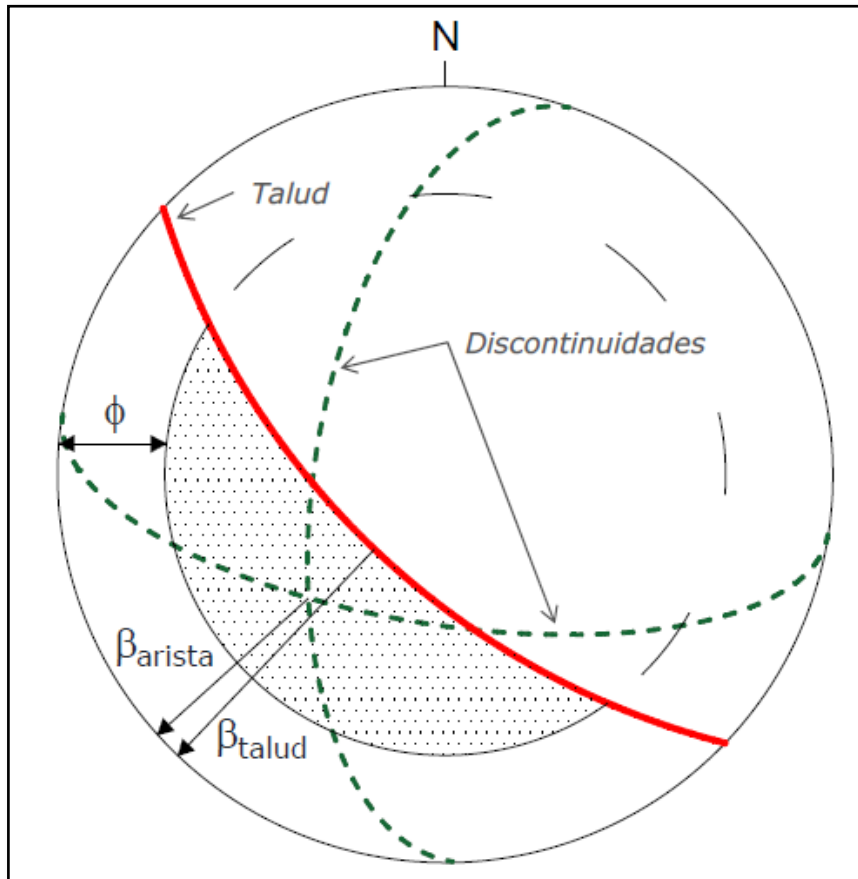
c) $\beta_{arista} < \beta_{talud}$ donde:

β_{arista} : Buzamiento de la intercepción de los planos de discontinuidad.

β_{talud} : Buzamiento del talud.

Figura 2.9:

Análisis cinemático por rotura en cuña.

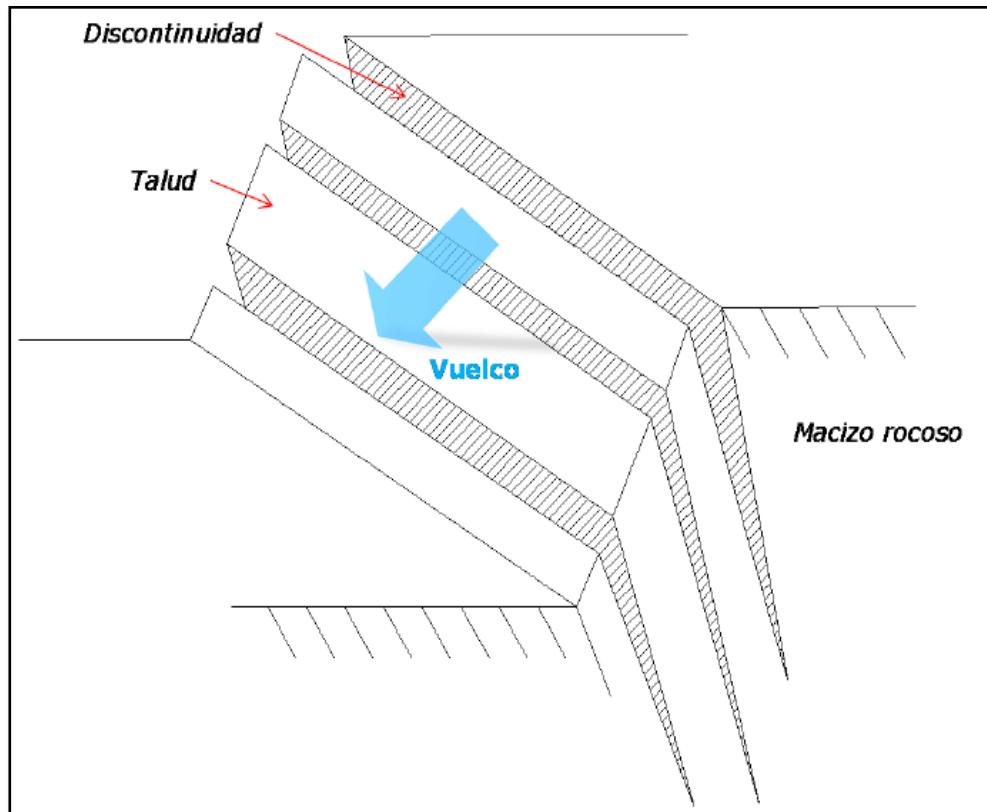


Fuente: Análisis Cinemático de la estabilidad de taludes en roca por rotura cuneiforme (Garzón y Torrijo, 2018).

- Rotura en vuelco: Se produce en macizos rocosos que presentan fracturas en forma de bloques o columnas aproximadamente verticales, de tal manera que estos giran alrededor de un punto fijo, el deslizamiento se produce entre los propios bloques de la roca.

Los planos de discontinuidad deben aflorar en superficie, deben ser sensiblemente paralelos y tener una gran inclinación, el centro de gravedad de las discontinuidades, debe estar ubicado fuera de la dimensión de su base. En la parte superior del talud se producen movimientos mas significativos, mientras que, en el pie del talud los movimientos son muy reducidos.

Figura 2.10:
Rotura en vuelco.



Fuente: Análisis Cinemático de la estabilidad de taludes en roca por rotura por vuelco (Garzón y Torrijo, 2018).

Se debe cumplir las siguientes condiciones estructurales para que se produzca la rotura en vuelco.

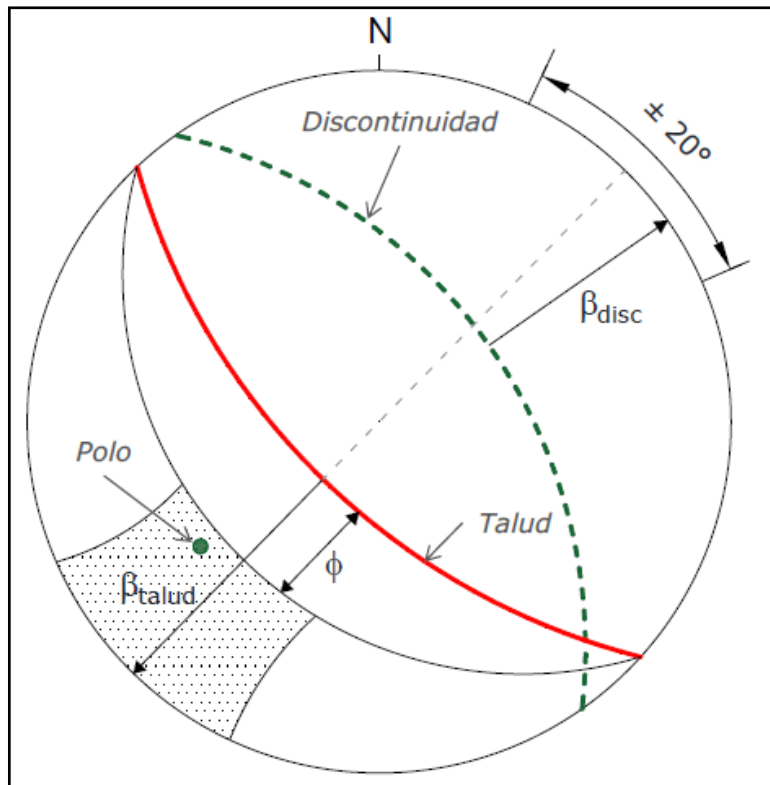
a) El buzamiento del talud debe ser mayor a 90 menos el buzamiento de la discontinuidad más el ángulo de fricción.

$$\beta_{\text{talud}} > (90 - \beta_{\text{Discontinuidad}}) + \varphi_{\text{Angulo de fricción}}$$

b) La dirección del buzamiento de la discontinuidad debe ser igual a la dirección de buzamiento del talud más o menos 180° y más o menos 30°, que es la tolerancia de la falla tipo vuelco.

$$\alpha_{\text{Direc. Buz.Discont.}} = (\alpha_{\text{Direc. Buz. Talud}} \pm 180) \pm 30$$

Figura 2.11:
Análisis cinemático por rotura en vuelco.



Fuente: Análisis Cinemático de la estabilidad de taludes en roca por rotura por vuelco (Garzón y Torrijo, 2018).

2.2.5. Clasificaciones geomecánicas

Las clasificaciones geomecánicas hace mas de cien años fueron desarrolladas, surgen ante la necesidad de definir observaciones de datos empíricos de forma integrada, para evaluar el tipo de sostenimiento en un túnel, una de las primeras clasificación geomecánicas del siglo XX, fue propuesto por Terzaghi (1946), a partir de los 70 estas se extienden mas con las clasificaciones desarrolladas por Bieniaswki (1973) y Barton, Lien y Lunde (1974), estas tuvieron una rápida aceptación y difusión, en la actualidad los criterios de clasificación geomecánica son ampliamente difundidos en el mundo.

Las clasificaciones geomecánicas a través de las observaciones de las características del macizo rocoso y ensayos simples nos permite determinar los índices de calidad de roca, estos están relacionados con los parámetros geomecánicos del macizo rocoso y sus características frente al sostenimiento de taludes y túneles. Oyanguren y Monge (2004) afirman:

Los sistemas de clasificación de los macizos rocosos tienen por objeto evaluar sus características para determinar de forma cuantitativa su calidad. El término “macizo rocoso” se refiere al conjunto de uno o varios tipos de rocas atravesados por un plano de discontinuidad en el que se inserta una obra de ingeniería o la mina. (P145)

(...). Cuya finalidad es la obtención de parámetros geomecánicos para su empleo en el diseño y proyecto de las obras de ingeniería. Los macizos rocosos, como medios discontinuos, presentan un comportamiento geomecánico complejo que, de una forma simplificada, puede ser estudiado y categorizado en función de su aptitud para distintas aplicaciones. (Gonzales, 2002 p.229).

2.2.6. Clasificación Rock Mass Rating (RMR)

La clasificación Rock Mass Rating (RMR), presentada por Bieniawski en el año 1973, fue actualizada en los años 1979 y 1978. Gonzales (2002) afirma: “(...). Constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo y de excavación y sostenimiento en túneles” (p.230). También establece propiedades tenso deformacionales, esta clasificación toma valores de 0 a 100 y considera los siguientes parámetros geotécnicos.

- Resistencia compresiva uniaxial de la roca intacta: Puede determinarse mediante un ensayo de carga puntual, golpes de picota de geólogo y esclerómetro (martillo de Schmidt).

Tabla 2.1

Valoración de la resistencia de la roca.

Resistencia del material de roca intacta	Índice de resistencia o de carga puntual	<10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	Para este rango bajo realizar ensayos de compresión uniaxial		
	Resistencia a la compresión uniaxial	>250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1 - 5	<1
Valoración		15	12	7	4	2	1	0

Fuente: Diseño de sostenimiento para túneles y excavaciones mineras (Rodríguez, 2019).

Tabla 2.2

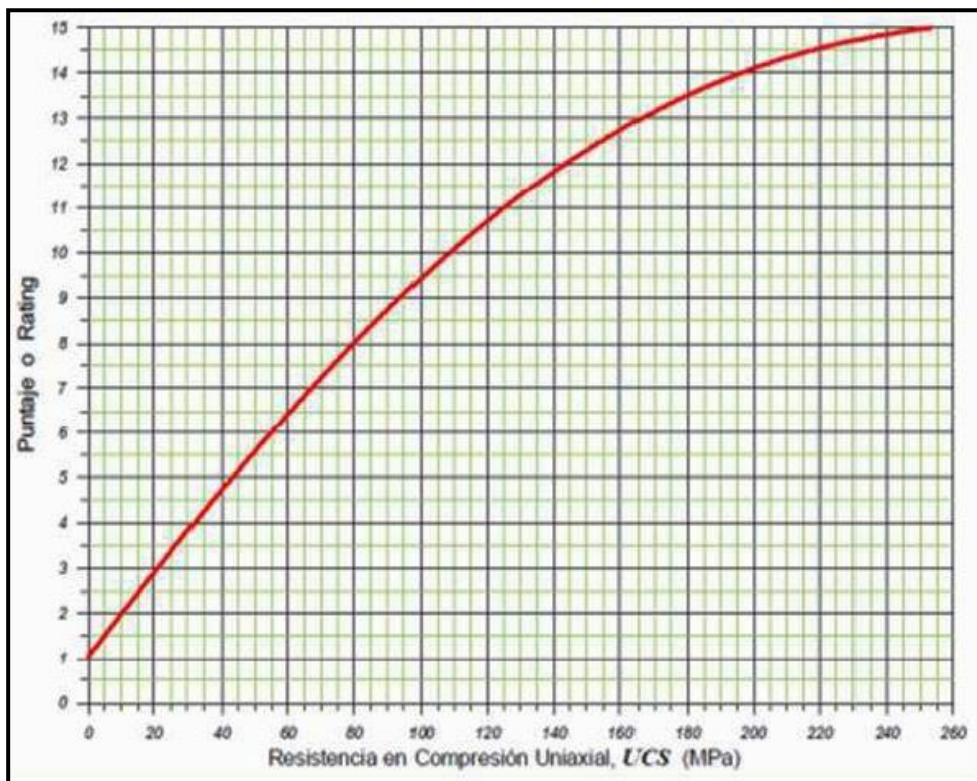
Estimación de la resistencia con picota de geólogo.

Clase	Estimación de la resistencia compresiva uniaxial	Resistencia Uniaxial (Mpa)
Buena (muy resistente, fresca)	Superficie de las discontinuidades muy rugosas e inalteradas, cerradas. (Se rompe con varios golpes de picota)	100 – 250
Regular (Resistente, levemente alterado)	Discontinuidades rugosas, levemente alterado, manchas de oxidación, ligeramente abiertas (Se rompe con uno o dos golpes de picota)	50 – 100
Pobre (Moderadamente resistente, leve a moderadamente alterada)	Discontinuidades lisas, moderadamente alterada, ligeramente abiertas. (Puede fracturarse con un golpe de picota, pero no es posible descostrar la roca)	25 – 50
Muy pobre (Blanda, muy alterada)	Superficie pulida con estribaciones, muy alterada relleno compacto o con fragmentos de roca (es posible descostrar la roca con una navaja)	5 – 25
Muy pobre	La roca se disgrega al ser golpeada	1 - 5

Fuente: Diseño de sostenimiento para túneles y excavaciones mineras (Rodríguez, 2019).

Figura 2.12:

Abaco para valorar la resistencia de la roca

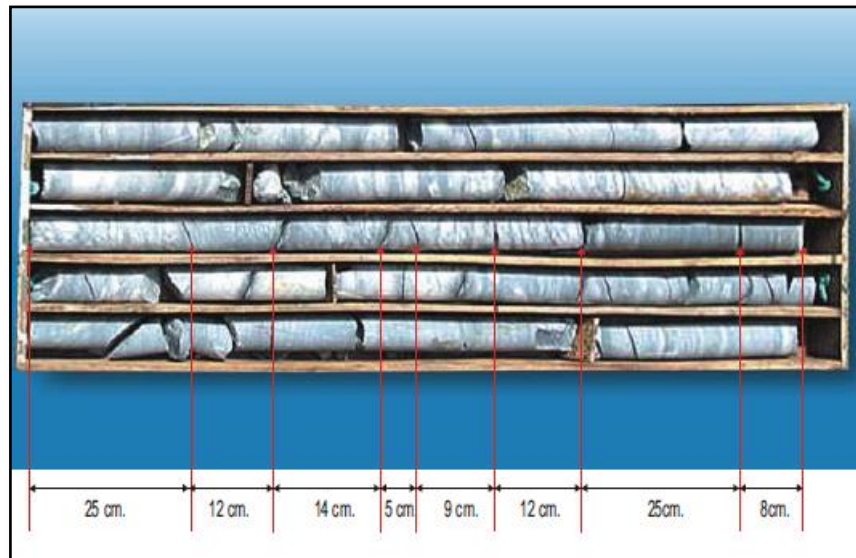


Fuente: Ingeopres (Celada, Tardáguila, Rodríguez, Varaona y Bieniawski, 2014)

- Índice de la calidad de la roca (RQD): Fue presentado por Deere en el año 1967, este índice no toma en cuenta la orientación, separación, relleno y demás condiciones de las discontinuidades, puede ser calculado de las siguientes formas.
 - Mediante el logeo diamantino, debe realizarse en cada maniobra de logeo diamantino o en cada cambio litológico, siendo recomendable que la longitud de maniobra no debe exceder el 1.5 m. Para su cálculo se suman todos los fragmentos mayores a diez centímetros y se divide entre la longitud total del testigo de perforación diamantina multiplicado por cien.

Figura 2.13:

Abaco para valorar la resistencia de la roca.



Fuente: Mecánica de rocas fundamentos de ingeniería (Ramírez y Alejandro, 2004).

$$RQD = \frac{\sum \text{Testigos} \geq 10\text{cm}}{\text{Longitud del taladro}}$$

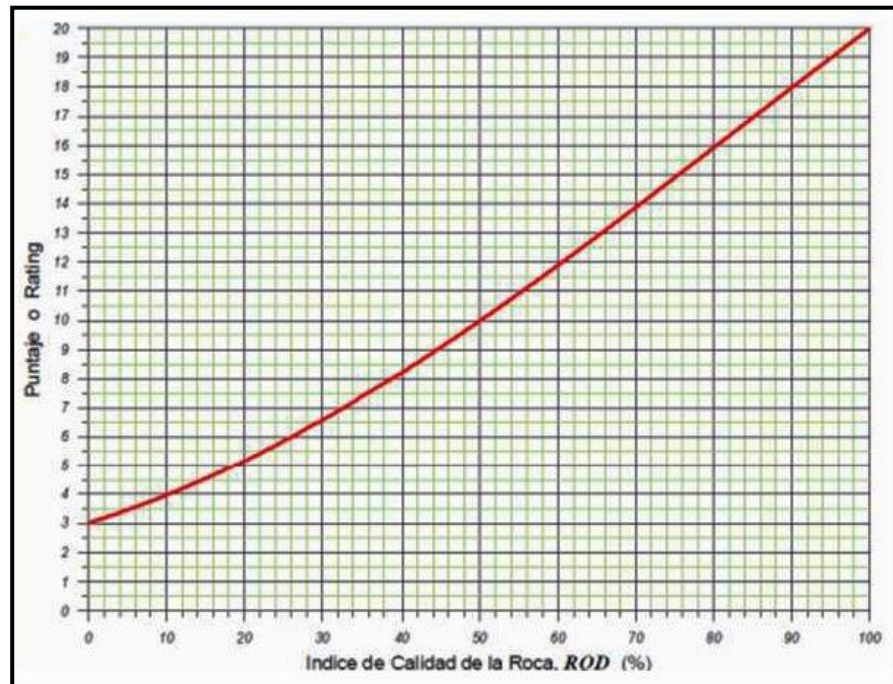
$$RQD = \frac{25 + 12 + 14 + 12 + 25}{110} = 80\%$$

Tabla 2.3
Valoración del RQD.

Calidad del testigo de perforación RQD	90 – 100	75 – 90	50 – 75	25 – 50	<25
Valoración	20	17	13	8	3

Fuente: Diseño de sostenimiento para túneles y excavaciones mineras (Rodríguez, 2019).

Figura 2.14:
Abaco de la valoración del índice de calidad de la roca (RQD).



Fuente: Diseño de sostenimiento para túneles y excavaciones mineras (Rodríguez, 2019).

- Palmstrom, en afloramientos rocosos, plantea de siguiente fórmula.

$$RQD = 115 - 3.3 * J_v$$

Donde:

J_v : Es el número de juntas que intercepta en un metro cubico de macizó rocoso.

- La fórmula de Hudson para el cálculo del RQD es.

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

Donde:

λ : Es el número de discontinuidades por metro lineal.

- Espaciamiento de las discontinuidades: Esta determinado por la distancia perpendicular entre dos fracturas de una misma familia de discontinuidades, cuanto mayor sea el espaciamiento de la discontinuidad la roca será mas competente.

Tabla 2.4

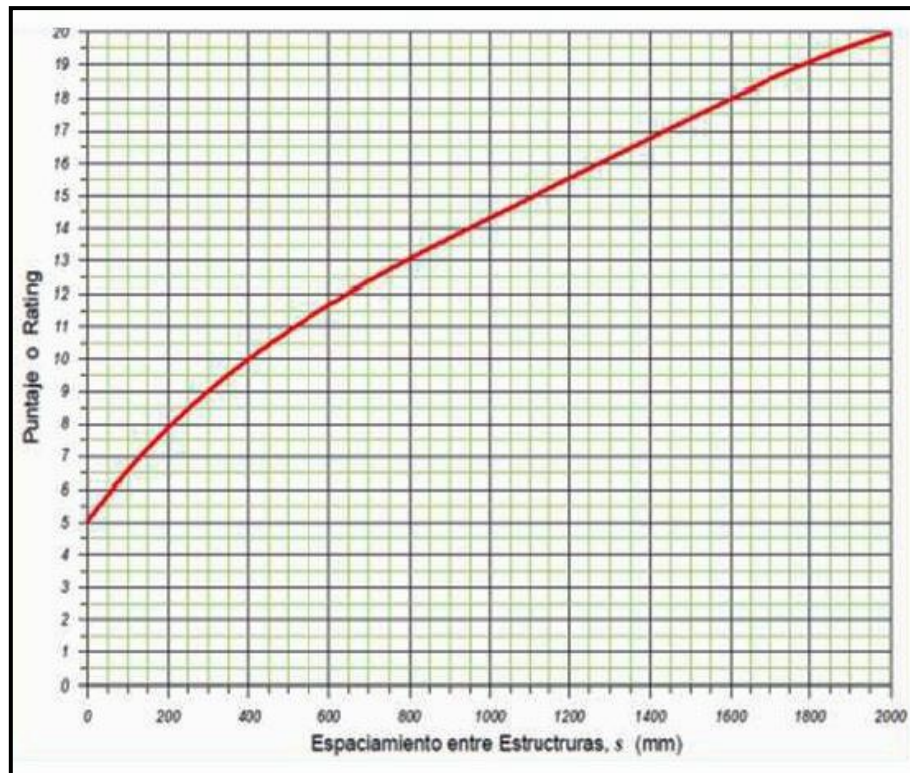
Valoración del espaciamiento de las discontinuidades.

Espaciamiento de discontinuidades	> 2 m	0.6 – 2 m	200 – 600 mm	60 – 200 mm	< 60 mm
Valoraciones	20	15	10	8	5

Fuente: Diseño de sostenimiento para túneles y excavaciones mineras (Rodríguez, 2019).

Figura 2.15:

Abaco de la valoración del espaciamiento.



Fuente: Diseño de sostenimiento para túneles y excavaciones mineras (Rodríguez, 2019).

- Condiciones de las discontinuidades: Esta determinado por la longitud de las discontinuidades, separación (apertura), rugosidad, relleno y meteorización.

Tabla 2.5

Valoración del espaciamiento de las discontinuidades.

Longitud de las discontinuidades	< 1 m	1 – 3 m.	3 – 10 m	10 – 20 m	> 20 m
Valoración	6	4	2	1	0
Separación (Apertura)	Ninguno	<0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	> 5 mm
Valoración	6	5	4	1	0
Rugosidad	Muy rugosos	Rugoso	Ligeramente rugoso	Liso	Espejo de falla
Valoración	6	5	3	1	0
Relleno de (panizo)	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	> 5 mm	Relleno blando < 5 mm	> 5 mm
Valoración	6	4	2	2	0
Meteorización	No meteorizado	Ligeramente meteorizado	Moderadamente meteorizado	Muy meteorizado	Descompuesto
Valoración	6	5	3	1	0

Fuente: Diseño de sostenimiento para túneles y excavaciones mineras (Rodríguez, 2019).

- Condiciones hidrológicas: La presencia de agua es un factor que genera inestabilidad debido a la presión hidrostática que puede ejercer, también puede generar alteraciones en las discontinuidades.

Tabla 2.6

Valoración de las condiciones hidrológicas.

Agua subterránea	Flujo de agua por 10 m de longitud de túnel (1 T/mina)	Ninguno	<10	10 - 25	25 – 125	>125
	Relación: Presión de agua en discontinuidades / Esfuerzo principal	0	<0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	>0.5
	Condiciones generales	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo
Valoración		15	10	7	4	0

Fuente: Diseño de sostenimiento para túneles y excavaciones mineras (Rodríguez, 2019).

- Orientación de las diaclasas: Esta determinado por el rumbo y buzamiento de las discontinuidades con respecto a la dirección del eje longitudinal del túnel o talud, este puede incrementar el riesgo de deslizamiento.

Tabla 2.7

Corrección por orientación de las diaclasas.

Rumbo perpendicular al eje del tunel		Rumbo paralelo al eje del túnel				Buzamiento 0 – 20 independien temente del rumbo.
Avance con el buzamiento	Avance contra el buzamiento					
Buz 45 – 90	Buz 20 – 45	Buz 45 – 90	Buz 20 – 45	Buz. 45 – 90	Buz. 20 – 45	
Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable	Regular	Regular
Orientacion del rumbo y buzamiento de las discontinuidades		Muy	Favorable	Regular	desfavorabl e	Muy desfavorabl
Tuneles y minas		0	-2	-10	-10	-12
Cimentaciones			-2	-7	-15	-25
Taludes			-5	-25	-50	-30

Fuente: Diseño de sostenimiento para túneles y excavaciones mineras (Rodríguez, 2019).

- La clasificación Rock Mass Rating (RMR), nos permite clasificar la calidad de la roca, el tiempo promedio de permanencia sin sostenimiento, cohesión del macizo rocoso y ángulo de fricción.

Tabla 2.8

Clasificación RMR.

Clasificación Clase	100 – 81 I	80 – 61 II	60 – 41 III	40 – 21 IV	<20 V
Descripción	Roca muy buena	Roca buena	Roca media	Roca mala	Roca muy mala

Fuente: Diseño de sostenimiento para túneles y excavaciones mineras (Rodríguez, 2019).

Tabla 2.9

Tiempo de sostenimiento, cohesión y ángulo de fricción del macizo rocoso.

Clase	I	II	III	IV	V
Tiempo promedio de permanencia sin sostenimiento	20 años para 15 m. de abertura	1 año para 10 m. de abertura	1 semana para 5 m. de abertura	10 horas para 2.5 m. de abertura	30 minutos para 1 m. de abertura
Cohesión del macizo rocoso	>400	300 – 40	200 – 300	100 – 200	<100
Angulo de fricción del macizo rocoso	>45	35 – 45	25 – 35	15 – 25	<15

Fuente: Diseño de sostenimiento para túneles y excavaciones mineras (Rodríguez, 2019).

2.2.7. Clasificación geomecánica Slope Mass Rating (SMR)

Esta clasificación geomecánica nos permite evaluar la estabilidad de taludes rocosos a partir del índice RMR_{Basico} (Rock Mass Rating), también propone medidas correctivas para el talud en función del índice SMR (Slope Mass Rating), fue desarrollada por Romana en el año 1985, y corregida en los años 1983 y 1985.

El índice SMR para la clasificación de taludes se obtiene del índice RMR básico sumando un "factor de ajuste", que es función de la orientación de las juntas (y producto de tres sub factores) y un "factor de excavación" que depende del método utilizado (Romana, Serón & Montalar, 2012, p394)

$$SMR = RMR_{b89} + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

F_1 : Este valor depende del paralelismo entre el rumbo o la dirección de buzamiento de las discontinuidades (α_j o α_j) y el plano del talud (α_s o α_s). Varía entre 1.0 cuando ambos rumbos son paralelos y 0.15 cuando el ángulo entre ambos rumbos es mayor de 30° y la probabilidad de rotura es muy baja.

$$F_1 = [1 - \text{sen}(\alpha_j - \alpha_s)]^2$$

F_2 : Este valor depende del buzamiento de la discontinuidad, cuando el mecanismo de falla es una rotura plana el buzamiento de la discontinuidad igual o superior a 45° , cuando al buzamiento de la discontinuidad es inferior a 20° se le asigna un valor entre 1 y 0.15. se puede calcular mediante la siguiente fórmula.

$$F_2 = \text{Tg}^2 * \beta_j$$

β_j : Buzamiento de la discontinuidad.

F_3 : Este valor está en función de la relación entre en buzamiento del talud (β_s) y buzamiento de las discontinuidades (β_j). los valores de este parámetro son negativos desde cero hasta menos sesenta, estos valores expresan la posibilidad de que la discontinuidad aflore a superficie para roturas planas, cuando se trata de roturas tipo vuelco no se consideran situaciones desfavorables, debido a que este tipo de falla no produce rupturas súbitas, los taludes algunas veces son estables a pesar de verse afectados por este tipo de ruptura.

F4: Este parámetro va reflejar la calidad de la excavación.

Tabla 2.10

Parámetro de corrección F4.

Método de excavación	F4
Talud natural	+15
Pre corte	+10
Voladura suave	+8
Voladura normal o excavación mecánica	0
Voladura deficiente	-8

Fuente: Clasificaciones geomecánicas SMR – Slope Mass Rating (Jorda,2020).

En resumen, los valores de F1, F2, F3 y F4 se muestran en el siguiente cuadro.

Tabla 2.11

Parámetros de corrección F1, F2 y F3.

Tipo de rotura		Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy desfavorable
Plana (P)	$ \alpha_j - \alpha_s $					
Vuelco (T)	$ \alpha_j - \alpha_s - 180 $	$>30^\circ$	$30^\circ - 20^\circ$	$20^\circ - 10^\circ$	$10^\circ - 5^\circ$	$<5^\circ$
Cuña (W)	$ \alpha_i - \alpha_s $					
P/W/T	F₁	0.15	0.40	0.70	0.85	1.0
Plana (P)	$ \beta_j $					
Cuña (W)	$ \beta_i $	$<20^\circ$	$20^\circ - 30^\circ$	$30^\circ - 35^\circ$	$35^\circ - 45^\circ$	$>45^\circ$
P/W/T	F₂	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Plana (P)	$\beta_j - \beta_s$					
Cuña (W)	$\beta_i - \beta_s$	$>10^\circ$	$10^\circ - 0^\circ$	0°	$0^\circ - (-10^\circ)$	$< (-10^\circ)$
Vuelco (T)	$\beta_j + \beta_s$	$<110^\circ$	$110^\circ - 120^\circ$	$>120^\circ$		
P/W/T	F₃	0	-6	-25	-50	-60

P: Rotura Plan; T: Rotura por vuelco; W: Rotura por cuña

α_s : Dirección de buzamiento del talud; α_j : Dirección de buzamiento de las juntas;

β_s : Buzamiento del talud; β_j : Buzamiento de las juntas

β_i : Buzamiento de la intercepción de planos

Fuente: Clasificaciones geomecánicas SMR – Slope Mass Rating (Jorda,2020).

Finalmente, en función de los valores obtenidos para el índice Slope Mass Rating (SMR), se definen cinco tipos o clases geomecánicas con sus respectivas

calidades y tipos de inestabilidad asociados, a los cuales Romana propuso una serie de medidas correctivas.

Tabla 2.12

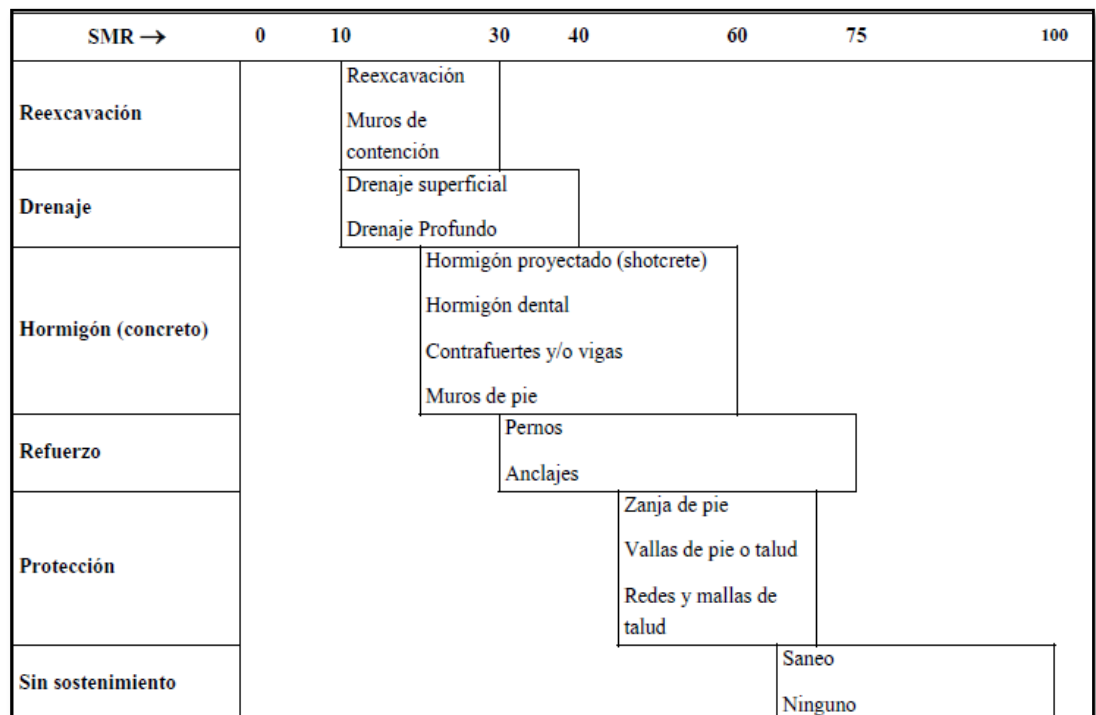
Clases de estabilidad y clasificación Slope Mass Rating (SMR).

Clase	V	IV	III	II	I
SMR	0 – 20	21 – 40	41 – 60	61 – 80	81 – 100
Descripción	Muy mala	Mala	Normal	Buena	Muy buena
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Estable	Totalmente estable
Probabilidad de rotura	0.9	0.6	0.4	0.2	0
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por masa.	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguna
Tratamiento	Re excavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno

Fuente: Clasificaciones geomecánicas SMR – Slope Mass Rating (Jorda,2020).

Figura 2.16:

Medidas de corrección de taludes en función del Slope Mass Rating.



Fuente: Clasificaciones geomecánicas SMR – Slope Mass Rating (Jorda,2020).

2.2.8. Clasificación geomecánica Qslope

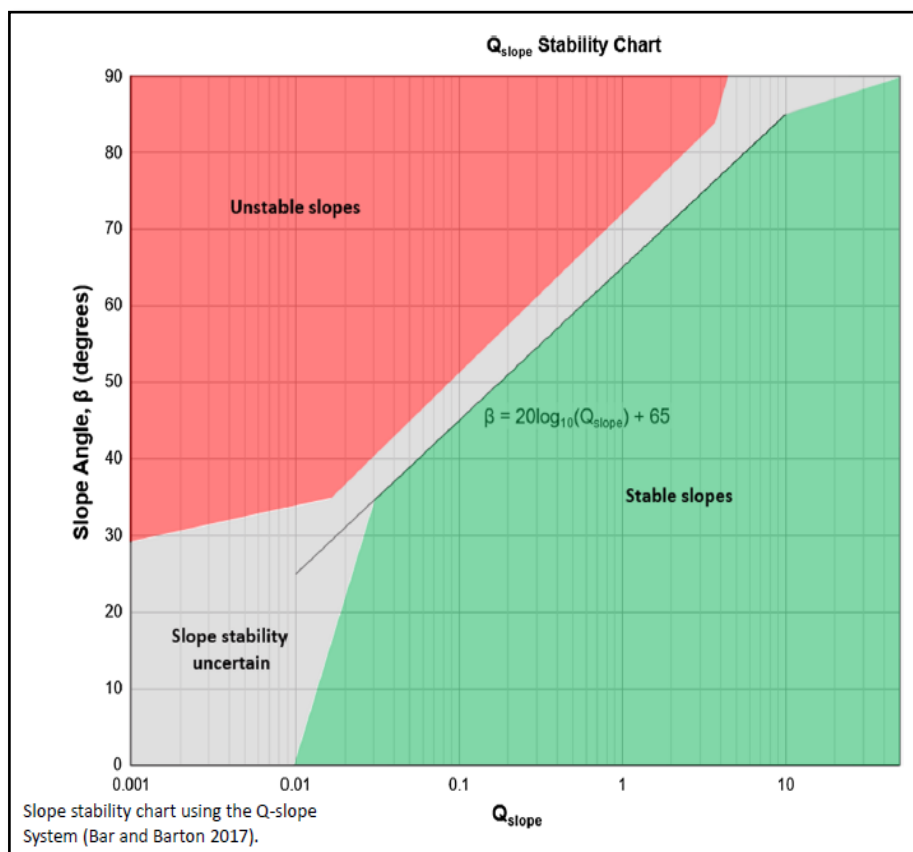
Fue desarrollada por Nick Barton y Neil Bar, fue publicada el 2015, para ser aplicada en taludes.

Por su parte, la metodología del QSlope mantiene la misma estructura y parámetros de la ecuación original, no obstante, considera ciertas variaciones principalmente en los términos relacionados con la fricción de las discontinuidades y su orientación, el efecto del agua y la influencia de los esfuerzos en el talud (Salazar y Arquín, 2015, p.3).

Si comparamos el Q Slope frente al SMR son diferentes, la clasificación Q Slope tiene una serie de nuevos factores, requiere de un gráfico auxiliar para su cálculo, en esta clasificación no existen factores de corrección precisos.

En el grafico empírico del Qslope, en el eje “Y” se considera el ángulo del talud y en el eje “X” considera el valor Q Slope, el grafico esta compartido en zonas estable, inestable y transición.

Figura 2.17:
Abaco Q Slope.



Fuente: Clasificación Geomecánica Q Slope (Jorda, 2020).

El índice Q Slope considera seis parámetros que son exactamente iguales al índice Q, la fórmula del Q Slope es la siguiente.

$$Q \text{ Slopes} = \frac{RQD}{J_n} \times \left(\frac{J_r}{J_a}\right)_o \times \frac{J_{wice}}{SRF \text{ Slope}}$$

Los tres parámetros del Q Slope representan:

- RQD / Jn: El tamaño del bloque
- Jr / Ja: Resistencia al corte
- Jwicw / SRF Dlope: Factores externos y estado tensional.

Para el cálculo de los factores del Q Slope, se emplearán las siguientes tablas:

Tabla 2.13

Factor de familias de juntas Jn.

Descripción del número de familias	Jn
A Masivo, sin juntas o pocas juntas	0.5 - 1
B Una familia de juntas	2
C Una familia de juntas y otras aleatorias	3
D Dos familias de juntas	4
E Dos familias de juntas y otras aleatorias	6
F Tres familias de juntas	9
G Tres familias de juntas y otras aleatorias	12
H Cuatro familias de juntas, aleatorias, fuertemente diaclasado	15
I Roca triturada	20

Fuente: Clasificación Geomecánica Q Slope (Jorda, 2020).

Tabla 2.14

Factor de rugosidad de juntas Jr.

Descripción del factor de rugosidad de juntas	Jr
a) Contacto entre las paredes de la junta	
b) Contacto después de desplazamiento cortante	
A Juntas discontinuas	4
B Rugosas o irregularidades, onduladas	3
C Suaves, onduladas	2
D Estriadas (cizalla) (slickensided) onduladas	1.5
E Rugosas o irregulares, planas	1.5
F Suaves, planas	1
G Estriadas, planas	0.5
c) No hay contacto entre las paredes con movimiento cortante	
H Relleno de minerales arcillosos espesor suficiente para evitar contacto entre paredes.	1.0
I Relleno de arena, grava o zona triturada espesor suficiente para evitar contacto entre paredes	1.0

Fuente: Clasificación Geomecánica Q Slope (Jorda, 2020).

Tabla 2.15*Factor de alteración de juntas Ja.*

Descripción del factor de alteración de juntas		Ja
a) Contacto entre las paredes de la junta (no hay rellenos arcillosos, solo recubrimientos)		
A	En contacto y sin alterar. Rellenos no reblandecibles impermeables, por ejemplo, cuarzo o epidota	0.75
B	Paredes de juntas inalteradas, superficies manchadas	1
C	Paredes ligeramente alteradas. Recubrimientos de minerales no reblandecibles, partículas arenosas, roca desintegrada libre de arcilla, etc.	2
D	Recubrimientos limosos o areno-arcillosos, fragmentos roca desintegrada arcillosa, etc.	3
E	Recubrimientos reblandecibles o arcillosos de baja fricción, como caolinita o mica. También clorita, talco, yeso, grafito, etc. Pequeñas cantidades de arcillas expansivas.	4
b) Contacto entre las paredes de la junta después de cierto desplazamiento cortante (rellenos finos arcillosos de espesor 1 a 5 mm)		
F	Partículas arenosas, roca desintegrada sin arcillas, etc.	4
G	Rellenos arcillosos fuertemente sobreconsolidados no reblandecibles	6
H	Rellenos arcillosos reblandecibles, de medio a bajo grado de sobreconsolidación	8
J	Rellenos de arcillas expansivas tales como montmorillonita. El valor de Ja dependerá del porcentaje de partículas de arcillas expansivas y el acceso al agua.	8 – 12
c) No hay contacto entre las paredes de la junta con un desplazamiento cortante (rellenos espesos de arcilla y fragmentos rocosos)		
M	Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y arcilla (ver letras GHJ para la descripción del tipo de arcilla, y la puntuación respectiva)	6,8 ó 8-12
N	Zonas o bandas de limo o arcillas arenosas, fracción pequeña de arcilla no reblandecible	5
OPR	Bandas o zonas continuas espesas de arcilla (ver G, H y J para la descripción del tipo de arcilla)	10,13 ó 13-20

Fuente: Clasificación Geomecánica Q Slope (Jorda, 2020).

Para el cálculo del factor de corrección por orientación de fracturas “O”, el cual multiplicara al cociente de J_r/J_a dependiendo del tipo de rotura que gobierne, si se tiene un deslizamiento por plano o por vuelco entonces se aplicara los valores de la familia de juntas A (principal) y si el deslizamiento se da por una rotura tipo cuña se aplicaran también los valores de la familia de juntas “B” (secundarias).

Tabla 2.16*Factor de corrección por orientación de fracturas O.*

Descripción de factor O	Familia de juntas A (Principal)	Familia de juntas B (Secundaria)
Orientación muy favorable	2	1.5
Bastante favorable	1	1
Desfavorable	0.75	0.9
Muy desfavorable	0.5	0.8
Causaría falla si no se sostiene	0.25	0.5

Fuente: Clasificación Geomecánica Q Slope (Jorda, 2020).

Tabla 2.17*Factor de corrección por presencia de agua en las juntas Jwise.*

Jwise	Ambiente desértico	Ambiente húmedo	Tormentas tropicales	Cuñas de hielo
Estructura estable, roca competente.	1	0.7	0.5	0.9
Estructura estable, roca incompetente.	0.7	0.6	0.3	0.5
Estructura inestable, roca competente.	0.8	0.5	0.1	0.3
Estructura inestable, roca incompetente.	0.5	0.3	0.05	0.2

Fuente: Clasificación Geomecánica Q Slope (Jorda, 2020).

Para el cálculo del factor de reducción de la resistencia del talud SRF_{Slope} , existen tres formas de calcularlo, se tomará el valor mas desfavorable de las tres formas calculadas.

Tabla 2.18*Factor de reducción de la resistencia del talud SFRa.*

SRFa Condición física		
Descripción		SRFa
A Ligero “aflojamiento” debido a la localización superficial, a alteración por voladura o excavación.		2.5
B Bloques sueltos, signos de grietas de tracción y movimiento de juntas, susceptibilidad a la meteorización. Alteración importante por voladura.		5
C Semejante a B pero con una susceptibilidad importante a la meteorización.		10
D El talud está en un avanzado estado de erosión y desprendimientos debido a la erosión periódica por agua y/o gelifración.		15
E Talud residual con importante transporte de material pendiente abajo.		20

Fuente: Clasificación Geomecánica Q Slope (Jorda, 2020).

El factor de tensión y resistencia SRF_b es el mas crítico para materiales de baja resistencia como las rocas meteorizadas y saprolíticas, este será calculado mediante el siguiente ratio σ_c/σ_1 .

Tabla 2.19*Factor SRFb tensión y resistencia.*

SRFb tensión y resistencia			
	Descripción	σ_c/σ_1	SRFb
F	Rango de tensiones-resistencia moderado	50 –200	2.5 - 1
G	Rango elevado de tensiones-resistencia	10 –50	5 – 2.5
H	Fallos de roca intacta localizados	5 –10	10 - 5
J	Plastificación o desmoronamiento	2.5 –5	15 – 10
K	Flujo plástico de material debilitado, post - rotura	1 – 2.5	20 – 15

Fuente: Clasificación Geomecánica Q Slope (Jorda, 2020).

El valor de σ_c es la resistencia a compresión simple sin confinar UCS o RCS σ_1 viene a ser la tensión principal.

El factor de la discontinuidad mayor SRFc trata de la evaluación de la discontinuidad mas relevante, este factor tiene relación con el factor “O”.

Tabla 2.20*Factor de discontinuidad mayor SRFc.*

	SRFc	favorable	desfavorable	Muy desfavorable	Se produce fallo si no se refuerza
L	Discontinuidad principal con muy poco o sin arcilla.	1	2	4	8
M	Discontinuidad principal con un RQD100= 0 debido a arcilla o roca triturada.	2	4	8	16
N	Discontinuidad mayor con RQD300= 0 debido a arcilla o roca triturada.	4	8	12	24

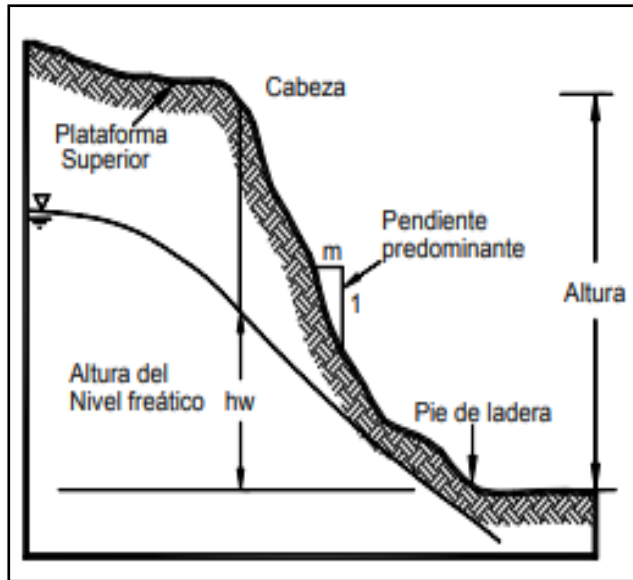
Fuente: Clasificación Geomecánica Q Slope (Jorda, 2020.)

2.3. Definición de términos

- **Talud:** Está definido como una masa de tierra o roca que presenta una pendiente, quiere decir, que presenta cambios significativos en altura. Cuando está pendiente tubo origen natural se le denomina ladera, pero cuando hay intervención del hombre se denomina talud.

Figura 2.18:

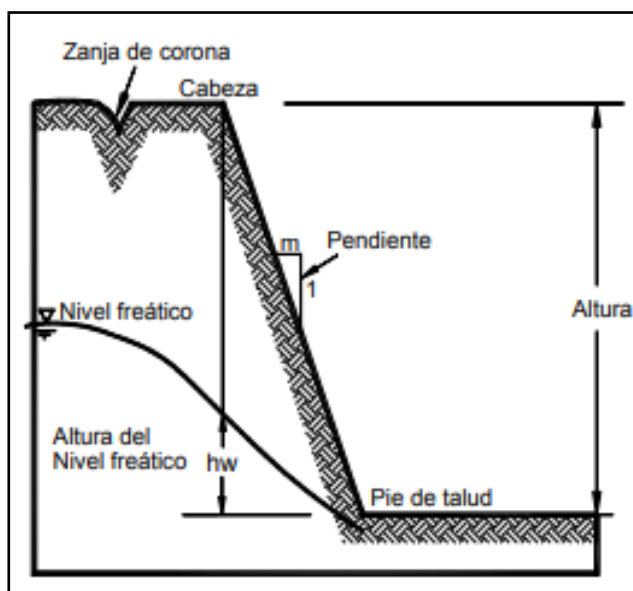
Ladera.



Fuente: Caracterización de los movimientos (Suarez, 1998).

Figura 2.19:

Talud.



Fuente: Caracterización de los movimientos (Suarez, 1998).

- **Roca intacta:** Se encuentra ubicada entre discontinuidades, no tiene fracturas y está representado por un corte diamantino o una muestra en mano.
- **Discontinuidades:** Son los planos o superficies de discontinuidad de los macizos rocosos, estos afectan la continuidad de la roca y sus propiedades (resistencia, deformabilidad y permeabilidad), los tipos de discontinuidades en el macizo rocoso son: los planos de estratificación, fallas, zonas de corte, diaclasas, etc.
- **Planos de estratificación:** Dividen a la roca sedimentaria en capas o estratos
- **Familia de discontinuidades:** Cuando un grupo de discontinuidades presentan similar orientación o aproximadamente son paralelas, se les denomina sistemas o familias de discontinuidades.
- **Número de familias:** Está determinado por el número de familias de discontinuidades presentes en un macizo rocoso.
- **Diaclasa:** Son fracturas que presentan las masas rocosas, estas no han sufrido ningún desplazamiento, también se les denomina juntas.
- **Macizo rocoso:** El macizo rocoso está compuesto por la roca intacta mas discontinuidades. Gonzales (2002) afirma “Las discontinuidades imprimen un carácter discontinuo y anisotrópico a los macizos rocosos haciéndolos mas deformables y débiles” (p.177). El macizo rocoso es discontinuo porque ya tiene fracturamiento, es anisotrópico porque en algunas direcciones tiene las mismas propiedades y es no elástico porque a una carga definida se deforma y luego falla.
- **Ángulo de fricción:** Está definido por el rozamiento entre dos planos de la misma roca, su valor puede variar entre 25° y 45°.
- **Fuerza de rozamiento:** Es la fuerza se opone al movimiento entre dos superficies ásperas, cuando las superficies se encuentran en reposo, sin movimiento la fuerza de rozamiento es estática y cuando se produce el movimiento la fuerza de rozamiento es cinética.
- **Buzamiento:** También denominado Dip, es el ángulo formado por la línea de máxima pendiente y una línea imaginaria horizontal, se mide con el clinómetro de la brújula Brunton, su valor se encuentra entre 0° y 90°.

- **Línea de máxima pendiente:** La línea de máxima pendiente contiene al buzamiento, presenta un valor angular máximo respecto a un plano horizontal imaginario, se determina soltando un objeto sobre el plano.
- **Rumbo:** Es el ángulo medido en un plano horizontal, entre la línea de máxima pendiente y la dirección norte o sur, se mide con la brújula, su valor varía entre 0° y 90° .
- **Azimut:** Es también denominado dirección de buzamiento o “Dip dirección”, es el ángulo medido en un plano horizontal, entre la línea de máxima pendiente y la dirección norte o sur, se mide con la brújula, su valor varía entre 0° y 360° .
- **Logeo diamantino:** Es la descripción detallada de los testigos de perforación obtenidos en campo, nos permite conocer las estructuras geológicas, mineralización a distintas profundidades, la información obtenida se guarda en un registro geológico.
- **Presión hidrostática:** Es la presión que experimenta un cuerpo el cual se encuentra sumergido en un fluido, debido a la columna del líquido, generalmente agua. Cuando la roca es impermeable, el fluido que se encuentra atrapado, debe soportar toda la columna de la roca que lo subyace, generándose presiones altas.
- **Orientación:** Es la ubicación de la discontinuidad en el espacio, está determinado por el rumbo, azimut y buzamiento.
- **Espaciamiento:** Está determinado por la distancia perpendicular entre dos discontinuidades próximas, el espaciamiento va a determinar el tamaño de los bloques de roca intacta, los bloques de roca serán más pequeños cuando el espaciamiento es menor y los bloques de roca serán más grandes cuando el espaciamiento es más grande.
- **Persistencia:** Está definido por la longitud de una discontinuidad, cuando la longitud de una discontinuidad es menor, la masa rocosa es más estable, en cambio, cuando la longitud de una discontinuidad es mayor, la masa rocosa es inestable.
- **Apertura:** Es la separación de la discontinuidad, es el grado de abierto entre las paredes de una masa rocosa. Las condiciones de la roca serán más estables a menor apertura y a mayor apertura serán menos estables.

- **Rugosidad:** Viene a ser la aspereza o irregularidad de la superficie de la discontinuidad, la masa rocosa es menos competente cuando la rugosidad menor y es mas competente cuando presenta mayor rugosidad.
- **Relleno:** Está determinado por los materiales que se encuentra dentro de la discontinuidad, si el material es suave la masa rocosa es menos competente y si el material es duro la masa rocosa es mas competente.
- **Filtraciones de agua:** Es la presencia de agua en las discontinuidades de la masa rocosa.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La caracterización de las discontinuidades incide en el análisis de la estabilidad del talud en roca en el asentamiento humano Inty Llacta.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a) La caracterización de las discontinuidades incide en el análisis cinemático del talud en roca en el asentamiento humano Inty Llacta.
- b) La caracterización de las discontinuidades incide en la clasificación geomecánica Slope Mass Rating del talud en roca en el asentamiento humano Inty Llacta.
- c) La caracterización de las discontinuidades incide en la clasificación geomecánica Q slope del talud en roca en el asentamiento humano Inty Llacta.

2.5. Variables

2.5.1. Definición conceptual de la variable

Variable independiente: Caracterización de las discontinuidades

Las características de las discontinuidades condicionan el comportamiento resistente, deformacional e hidráulico de los macizos rocosos. Las discontinuidades marcan un carácter discontinuo, anisotrópico y no elástico a los macizos rocoso, también los hace mas deformables y débiles, las características de las discontinuidades son

- Orientación de las discontinuidades con respecto a la aplicación de cargas generara inestabilidad y deformabilidad.

- La apertura influye en la estabilidad del macizo rocoso.
- El espaciamiento determina el tamaño de las rocas.
- El relleno, la rugosidad y la presencia de agua influyen en la dureza de la maza rocosa.

Variable dependiente: Análisis de la estabilidad del talud en roca

El análisis de la estabilidad del talud en roca está determinado por el tipo de rotura que se va producir en el talud en roca; si la rotura va estar definida por la masa rocosa o por la rotura de bloques de roca causado por los planos de debilidad y la orientación de las discontinuidades.

Si la rotura del talud está determinada por la masa rocosa, el análisis de la estabilidad del talud se realiza mediante equilibrio limite, si la rotura se produce por bloques de roca, el análisis de la estabilidad del talud se realiza mediante el análisis cinemático y las clasificaciones geomecánicas específicas para taludes.

2.5.2. Definición operacional de la variable

Variable independiente: Caracterización de las discontinuidades.

En obras de ingeniería como las cimentaciones, carreteras y excavaciones en roca, la estabilidad depende de la orientación y resistencia de las discontinuidades, su reconocimiento, descripción y características de las discontinuidades es fundamental en el estudio del comportamiento mecánico e hidro geológico del macizo rocoso.

Las características peculiares de las discontinuidades, se pueden agrupar de la siguiente manera.

- El tamaño, la forma y posición espacial de los bloques roca estará determinado por el espaciamiento y orientación de las discontinuidades.
- La resistencia del macizo rocosos, estará determinado por la rugosidad, la persistencia, la apertura de las discontinuidades y la presencia de agua.

Variable dependiente: Análisis de la estabilidad del talud en roca

El análisis de estabilidad del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta, se realizará mediante el análisis cinemático y las clasificaciones geomecánicas específicas para taludes: Slope Mass Rating (SMR) y Q slope.

2.5.3. Operacionalización de la variable

Tabla 2.21

Operacionalización de la variable independiente: Caracterización de las discontinuidades.

NOMBRE DE LA VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADOR	UNIDADES
Caracterización de las discontinuidades	Orientación	Azimut	Grados
		Buzamiento	Grados
		Rumbo	Grados
	Espaciamiento	Distancia entre discontinuidades	Mts.
	Persistencia	Longitud de la discontinuidad	Mts.
	Apertura	Separación de las discontinuidades	mm.
	Rugosidad	Aspereza	Valor alfa numérico
	Relleno	Material dentro de una discontinuidad	Valor alfa numérico
	Filtraciones de agua	Presencia de agua en la discontinuidad	Valor alfa numérico
	Número de familias	Cantidad de familias de discontinuidades en el macizo rocoso	Valor alfa numérico

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.22

Operacionalización de la variable dependiente: Análisis de la estabilidad de talud en roca.

NOMBRE DE LA VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADOR	Unidad
Análisis de la estabilidad de talud en roca	Análisis Cinemático De Taludes	Azimut o dirección de la discontinuidad y talud	Grados
		Buzamiento de la discontinuidad y talud	Grados
	Clasificación Geomecánica Slope Mass Rating (SMR)	Índice Slope Mass Rating	Valor alfa numérico
	Clasificación Geomecánica Qslope	Índice Q slope	Valor alfa numérico
		Angulo de inclinación del talud	Grados

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO III:

METODOLOGÍA

3.1. Método de investigación

En la presente investigación, se empleó el método científico. Patricio (2006) afirma: “Los métodos científicos cumplen una función fundamental en el desarrollo de la ciencia. Permiten obtener nuevos conocimientos sobre el fenómeno y desempeñan un papel importante en la construcción y desarrollo de la teoría científica” (p.25).

En la investigación científica, la aplicación del método científico está orientada a describir nuevos hechos, explicar nuevas relaciones, describir nuevas cualidades y características, así como encontrar y proporcionar nuevas y variadas informaciones sobre los hechos y fenómenos desconocidos total o parcialmente por la ciencia (Carrasco, 2005, p.35).

Mediante una serie de pasos estructurados obtuvimos información sobre las características de las discontinuidades, el análisis de la estabilidad del talud roca se realizó mediante el análisis cinemático y las clasificaciones geomecánicas específicas para taludes, permitiéndonos obtener nuevos conocimientos.

3.2. Tipo de investigación

Según la intervención del investigador, el tipo de investigación es observacional, porque no se manipulan las variables, según la planificación la toma de datos es prospectivo, los datos son recogidos para la elaboración de la presente tesis, según el número de ocasiones en que se mide la variable de estudio es transversal, la medición de las variables se realiza una sola vez.

3.3. Nivel de investigación

En base a las características de las discontinuidades se analizará la estabilidad del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta, por lo tanto, el nivel de investigación es descriptivo. Carrasco (2005) afirma:

responde a preguntas ¿Cómo son?, ¿Dónde están?, ¿Cuántos son?, ¿Quiénes son?, etc.; es decir, nos dice y refiere sobre las características, cualidades internas y externas, propiedades y rasgos esenciales de los hechos y fenómenos de la realidad, en un momento y tiempo histórico concreto y determinado. (p.42).

3.4. Diseño de investigación

En la presente tesis, los datos son obtenidos de la observación del talud en roca en el asentamiento Humano Inty llacta, por lo tanto, el diseño de la investigación es no experimental. Carrasco (2005) afirma: “Son aquellas cuyas variables independientes carecen de manipulación intencional, no poseen grupo de control, ni mucho menos experimental. Analizan y estudian los hechos y fenómenos de la realidad después de su ocurrencia”. (p71).

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

El talud en roca del Asentamiento humano Inty Llacta.

3.5.2. Muestra

El macizo rocoso del Jr. 06 de enero.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Según el anexo 03, la técnica utilizada en la presente investigación para la recolección de datos es la observación. Carrasco (2005) afirma: “la observación es un proceso intencional de captación de las características, cualidades y propiedades de los objetos y sujetos de la realidad, a través de nuestros sentidos o con la ayuda de poderosos instrumentos que amplían su limitada capacidad”. (p.282). dentro de esta es una observación participante. Fidias (2006) afirma: “En este caso el investigador pasa a formar parte de la comunidad o medio donde se desarrolla el estudio”. (p.69). también es una observación estructurada. Carrasco (2005) afirma: “Conocida también como observación sistemática. Es en la que se emplea instrumentos diseñados con previsión y anticipación. Esto es a partir del cuadro de operacionalización de variables”. (p.285). La aplicación de una técnica de recolección de datos. “(...). Conduce a la obtención de información, la cual debe ser guardada en un medio material de manera que los datos puedan ser recuperados, procesados, analizados e interpretados posteriormente. A dicho soporte se le denomina instrumento”. (Fidias, 2006, p.68). El instrumento utilizado para la recolección de datos en la presente investigación es el formado de mapeo geomecánico (en papel o digital).

Se necesitará el uso de las siguientes herramientas para el registro de los datos de nuestro instrumento.

- Martillos de geólogo (Picsa). Será empleado para determinar la dureza de la roca intacta

- Flexómetro: Se empleará para realizar la medición de las discontinuidades
- Brújula Brunton: Para determinar el la dirección y buzamiento de las discontinuidades
- Laptop.
- Libretas de campo.
- Cámara fotográfica.

3.7. Procesamiento de la información

Para el procesamiento de la información se emplearán los siguientes programas.

- Dips V.6.0.
- Microsoft Excel.
- Microsoft Word.

3.8. Técnicas y análisis de datos

Una vez recolectados los datos de campo, se procederá a realizar el análisis cinemático con el software Dips V6.0, donde se realizará las proyecciones estereográficas, del análisis de las proyecciones estereográficas se determinará los tipos de rotura que se producirían en el talud.

Con el programa Microsoft Exel realizaremos el análisis de las clasificaciones geomecánica Rock Mass Rating, Slope Mass Rating y Q Slope, estas clasificaciones nos permitirán determinar la calidad de la roca, la estabilidad global del talud y las medidas de corrección en caso de requerirlo.

CAPITULO IV:

RESULTADOS

4.1. Descripción del talud en roca en el asentamiento humano Inty Llacta

En el talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta se identificaron los siguientes tipos de roca sedimentaria:

- Areniscas: Estas se encuentran afectadas por fracturas, presentan como material de relleno cristales de halita y roca triturada,
- Limolitas: Se presentan en capas delgadas y alcanzan potencias hasta de 1 m, se encuentran encima de las areniscas y están intercaladas con lutitas.

Figura 4.1:

Contacto entre areniscas con intercalación de limolitas y lutitas.



Fuente: Elaboración propia.

En el corte del talud se observa un macizo rocoso fracturado con presencia de bloques de rocas sueltos.

Figura 4.2:

Macizo rocoso fracturado con bloques de roca sueltos.



Fuente: Elaboración propia.

La ladera está cubierta por depósitos residuales producto de la meteorización de las rocas sedimentarias (areniscas, limolitas y lutitas).

Figura 4.3:

Depósitos residuales.



Fuente: Elaboración propia.

4.2. Análisis cinemático del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta

El ángulo de fricción para realizar el análisis cinemático es de 33, este valor se obtuvo de la biblioteca del programa RocData versión 3.0, corresponde al valor promedio del intervalo del ángulo de fricción de las areniscas secas.

Figura 4.4:

Angulo de fricción de la arenisca.

Rock	Moisture	SigN range (MPa)	Phib (degrees)
Limestone	wet	0.1 - 8.3	35
Porphyry	dry	0.0 - 1.0	31
Porphyry	dry	4.1 - 13.3	31
Sandstone	dry	0.0 - 0.5	26 - 35
Sandstone	wet	0.0 - 0.5	25 - 33
Sandstone	wet	0.0 - 0.3	29
Sandstone	dry	0.3 - 30.0	31 - 33
Sandstone	dry	0.1 - 7.0	32 - 34
Sandstone	wet	0.1 - 7.3	31 - 34
Shale	wet	0.0 - 0.3	27
Siltstone	wet	0.0 - 0.3	31
Siltstone	dry	0.1 - 7.5	31 - 33
Siltstone	wet	0.1 - 7.2	27 - 31
Slate	dry	0.0 - 1.1	25 - 30

Fuente: RocData.

Las orientaciones de las discontinuidades para realizar el análisis cinemático del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta, se encuentran anexo 4 y los parámetros del talud se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4.1

Parámetros del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta.

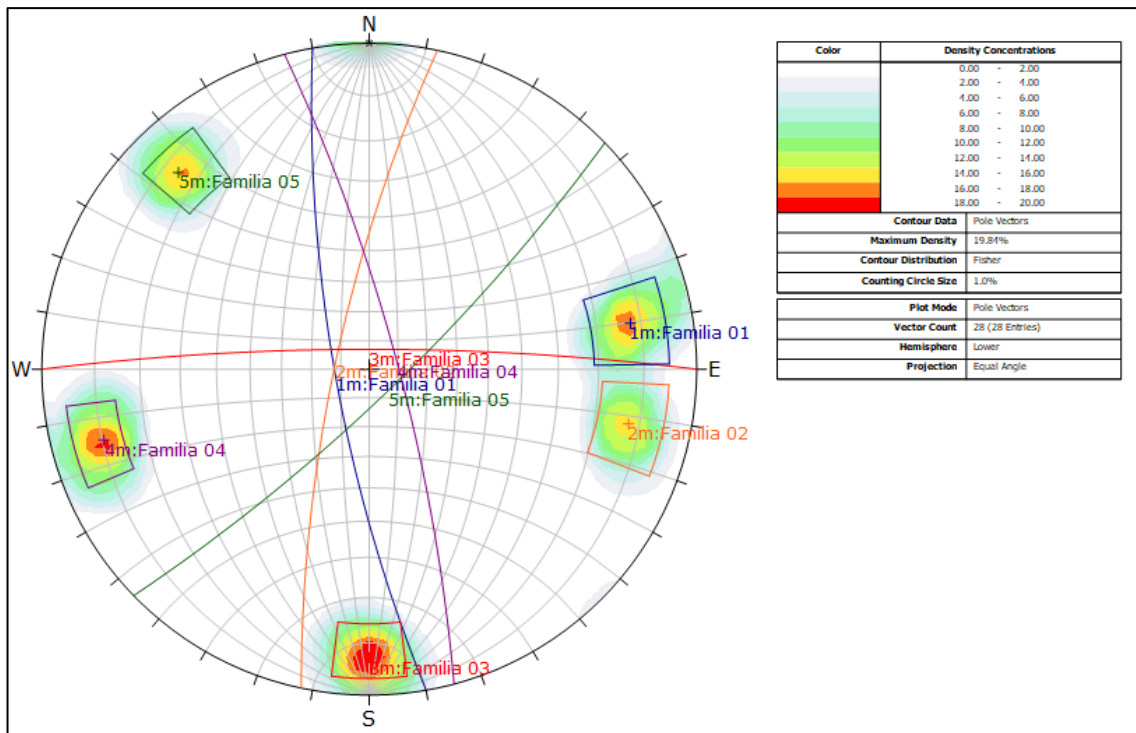
Parámetros del talud Inty Llacta	
Angulo de fricción (ϕ)	:33
Orientación del talud	
✓ Dip (bt)	:83
✓ Dip Direccion (at)	:78
Altura del talud	: 85

Fuente: Elaboración propia.

Del análisis cinemático de las 28 orientaciones de discontinuidades con el software Dips versión 6.0, se identificó que el talud del asentamiento humano Inty Llacta está conformado por 05 familias de discontinuidades y tiene una densidad 19.84%.

Figura 4.5:

Número de familias de discontinuidades del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta.



Fuente: Propia.

Tabla 4.2

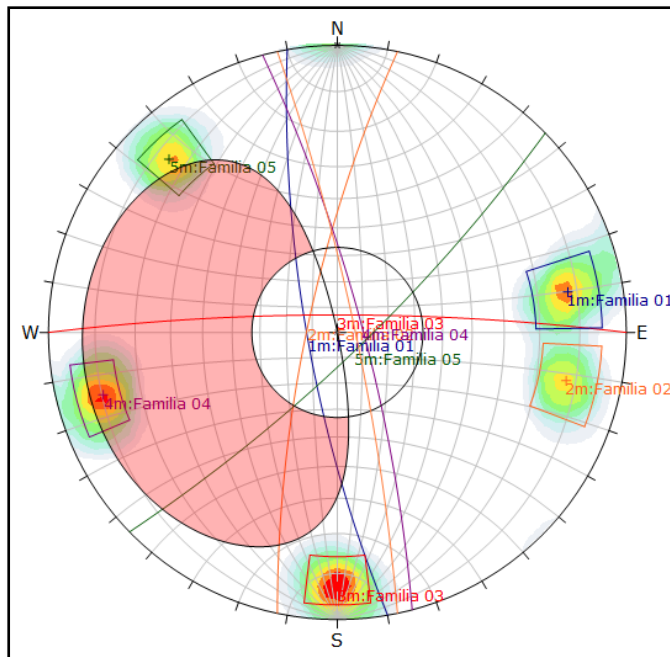
Orientación de las familias de las discontinuidades del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta

Plano N°	Dip	Dirección (ad)	Dip (bd)
F1	260	78	
F2	282	78	
F3	360	83	
F4	75	80	
F5	136	80	

Fuente: Propia.

Figura 4.6:

Análisis cinemático de la rotura planar del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta.



Fuente: Propia.

Del análisis de las proyecciones estereográficas de las familias de las discontinuidades con el software Dips Versión 6.0 para la rotura planar, en la figura 4.6, se observa que el polo de la familia 04 al encontrarse en la zona de perturbación existe una gran posibilidad de que se produzca la rotura planar, también se observa que la zona de perturbación no afecta el polo de la familia 05 por lo que no hay probabilidad de que se produzca este tipo de rotura.

Tabla 4.3

Parámetros de la rotura planar del talud.

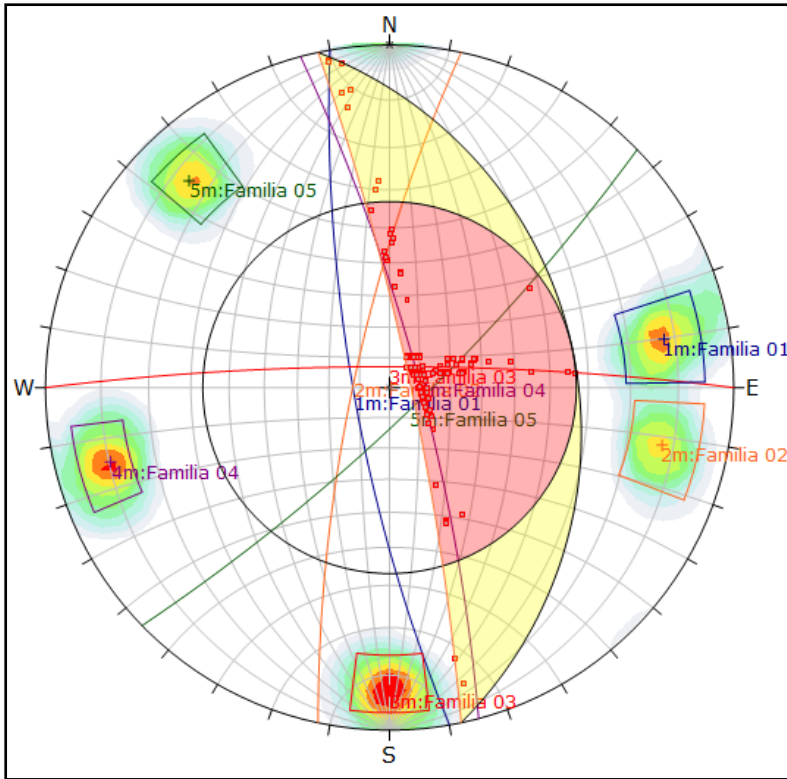
Datos de las familias de discontinuidades				Posibilidad cinemática			Posibilidad de Rotura planar
Plano N°	Dip (ad)	Direccion (bd)	Valor [at-ad]	[at-ad] <=20°	bd<bt	bd>f	
F1	260	78	182	No	Si	Si	No
F2	282	78	204	No	Si	Si	No
F3	360	83	282	No	No	Si	No
F4	75	80	3	Si	Si	Si	Si
F5	136	80	58	No	Si	Si	No

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.3, se observa que la familia de discontinuidades 04 cumple con todos los parámetros para que se produzca la rotura plana

Figura 4.7:

Análisis cinemático de la rotura en cuña del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta.



Fuente: Propia.

Del análisis de las proyecciones estereográficas de la intercepción de los planos de las familias de las discontinuidades con el software Dips Versión 6.0, en la figura 4.7, se observa que la intercepción de las familias de discontinuidades 03 con 04; 03 con 05 y 04 con 05 se encuentran en la zona de perturbación donde existe una gran probabilidad que se produzca la rotura en cuña.

La dirección de buzamiento y buzamiento de la intercepción de los planos de las familias de las discontinuidades obtenidas a través del análisis de las proyecciones estereográficas con el Software Dips versión 6.0, se encuentran en el anexo 06.

En la tabla 4.4 se observa que la intercepción de los planos de las familias de discontinuidades 03 con 04; 03 con 05 y 04 con 05 cumplen con los parámetros para que se produzca la rotura en cuña.

Tabla 4.4

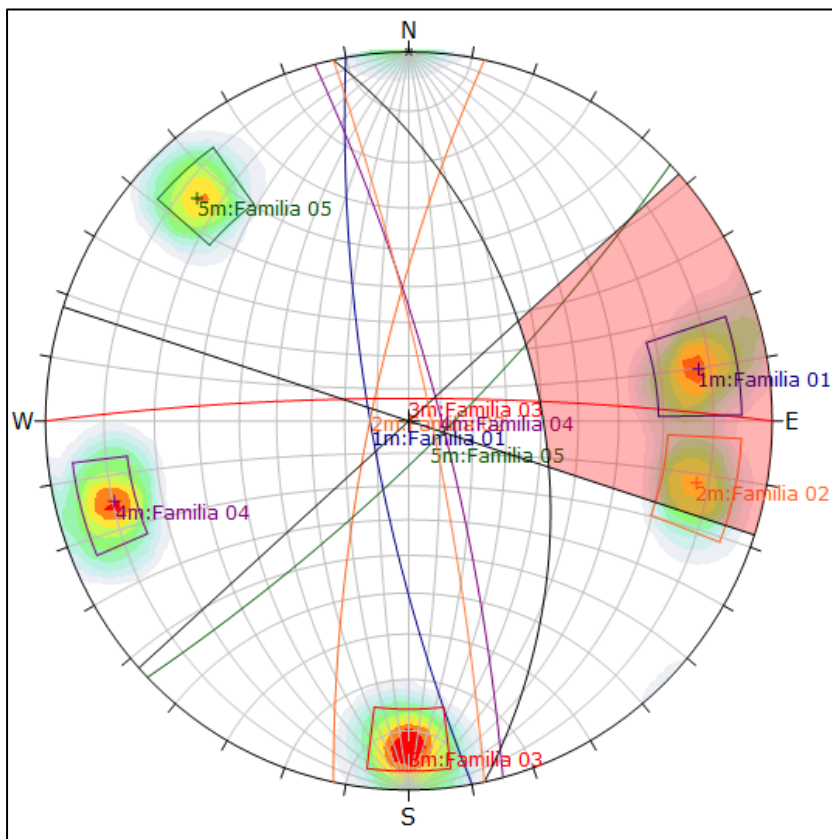
Parámetros de la rotura en cuña del talud.

Datos de la intersección de las familias de las discontinuidades			Posibilidad cinemática				Posibilidad de rotura en cuña
Plano N°	Dip Direccion (ad)	Dip (bd)	[at-ad]	[at-ad]<=30°	bd<bt	bd>f	
F1-F2	270	77	192	No	Si	Si	No
F1-F3	298	74	220	No	Si	Si	No
F1-F4	347	12	269	No	Si	No	No
F1-F5	201	67	123	No	Si	Si	No
F2-F3	303	77	225	No	Si	Si	No
F2-F4	357	50	279	No	Si	Si	No
F2-F5	210	56	132	No	Si	Si	No
F3-F4	51	78	27	Si	Si	Si	Si
F3-F5	72	67	6	Si	Si	Si	Si
F4-F5	106	78	28	Si	Si	Si	Si

Fuente: Propia.

Figura 4.8:

Análisis cinemático de la rotura en vuelco del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta.



Fuente: Propia.

Del análisis de las proyecciones estereográficas de las familias de las discontinuidades con el software Dips Versión 6.0 para rotura en vuelco en la figura 4.8, se observa que los polos de las familias de las discontinuidades 01 y 02 se encuentran en la zona de perturbación, por lo tanto, existe una gran probabilidad de que se produzca la rotura.

En la tabla 4.5 se observa que las familias de las discontinuidades 01 y 02 cumplen con todos los parámetros para que se produzca la rotura en vuelco.

Tabla 4.5

Parámetros de la rotura en vuelco del talud.

Datos de la familia de discontinuidad			Posibilidad cinemática					Posibilidad de falla por volteo	
Plano N°	Dip Direccion (ad)	Dip (bd)	ad > (at+150)	ad < (at+210)	bt > (90-bd+f)				
F1	260	78	260 > 228	Si	260 < 288	Si	83 > 45	Si	Si
F2	282	78	282 > 228	Si	282 < 288	Si	83 > 45	Si	Si
F3	360	83	360 > 228	Si	360 < 288	No	83 > 40	Si	No
F4	75	80	75 > 228	No	75 < 288	Si	83 > 43	Si	No
F5	136	80	136 > 228	No	136 < 288	Si	83 > 43	Si	No

Fuente: Propia.

4.3. Clasificación geomecánica Rock Mass Rating (RMR) del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta

Las características intrínsecas de las discontinuidades del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta para determinar la calidad de la roca mediante la clasificación Rock Mass Rating se encuentran en el anexo 05.

En el presente trabajo de investigación se determinó la clasificación geomecánica Rock Mass Rating del año 89 también conocido como el RMR_{básico}, en el cual no se realizan las correcciones por orientación.

Los parámetros para el cálculo del RMR y su valoración de acuerdo al mapeo geomecánico son:

➤ Resistencia a la compresión uniaxial

Se estimó la resistencia de la roca mediante la picota geólogo, la roca se rompió en dos golpes de picota, de acuerdo a la tabla 2.2 su resistencia es regular, encontrándose su resistencia uniaxial en el rango de 50 a 100 Mpa y su valor para el cálculo del RMR es de 7.

Figura 4.9:

Estimación de la resistencia de la roca con la picota.



Fuente: Elaboración propia.

➤ Índice de calidad de la roca (RQD)

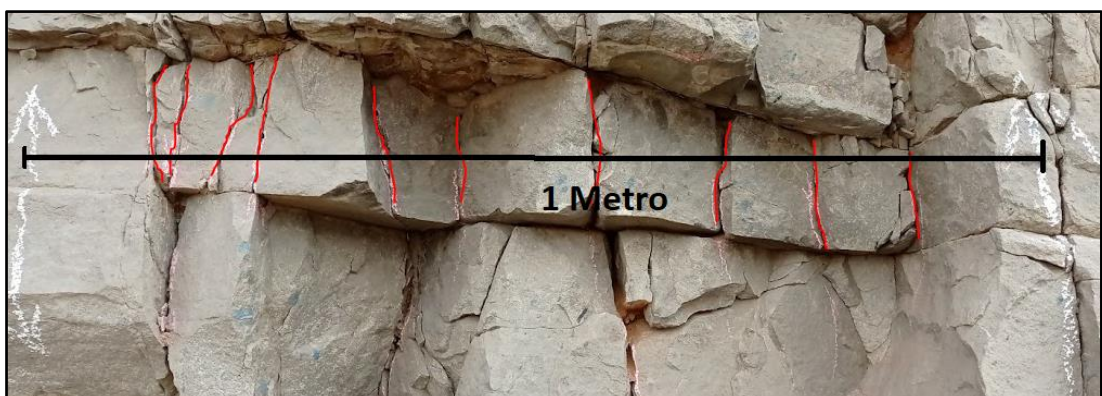
El valor del índice de calidad de roca RQD, se determinó mediante la fórmula de Hudson, para lo cual se determinó el número de discontinuidades por metro lineal.

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

λ : Es el número de discontinuidades por metro lineal

Figura 4.10:

Numero de discontinuidades por metro lineal.



Fuente: Elaboración propia.

$$\lambda: = 10$$

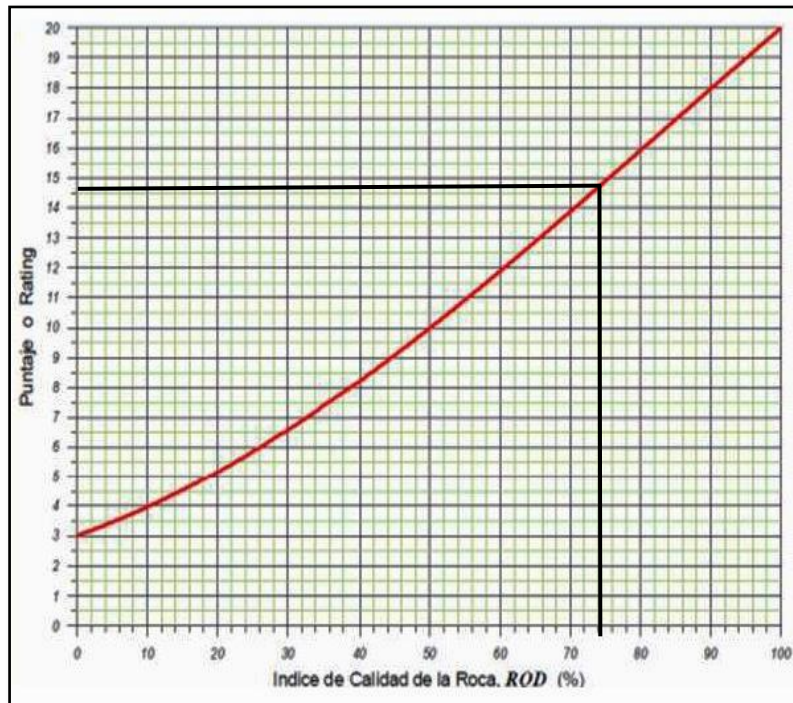
$$RQD = 100 * e^{-0.1*\lambda} * (0.1 * \lambda + 1)$$

$$RQD = 100 * e^{-0.1*10} * (0.1 * 10 + 1)$$

$$RQD = 74\%$$

Figura 4.11:

Valoración del índice de la calidad de la roca RQD.



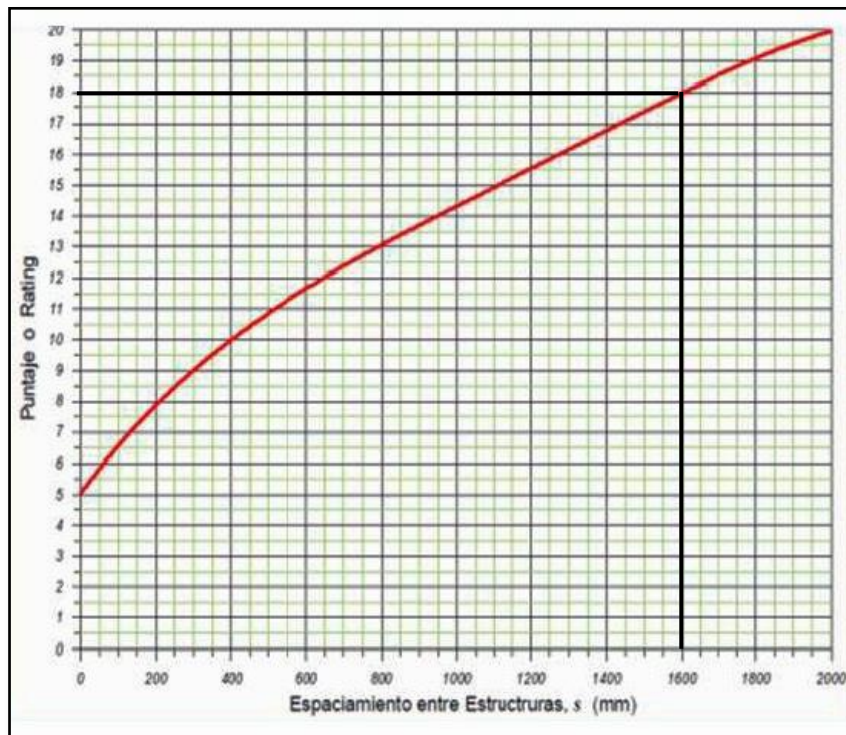
Fuente: Elaboración propia.

El valor del RQD para el cálculo del RMR de acuerdo al ábaco de la figura 4.11 es de 15.

➤ Espaciamiento entre discontinuidades.

El espaciamiento de las discontinuidades en promedio es de 1.60 mts. de acuerdo al ábaco de la figura 4.12 el valor para el cálculo del RMR será de 18.

Figura 4.12:
Valoración del espaciamiento.



Fuente: Elaboración propia.

Las condiciones de las discontinuidades para el cálculo del RMR, de acuerdo al mapeo geomecánico son:

- ✓ La persistencia: En promedio es de 13 mts.
- ✓ La abertura: En promedio se encuentra 1-5 mm.
- ✓ La rugosidad: Es ligeramente rugoso
- ✓ El relleno: Suave menor a 5 mm.
- ✓ Agua subterránea: seco.

En la tabla 4.6, se muestran los parámetros, condiciones de las discontinuidades y valores para la determinación de la calidad de la roca mediante la clasificación geomecánica Rock Mass Rating (RMR).

Tabla 4.6*Parámetros y condiciones de las discontinuidades.*

CONDICION DE DISCONTINUIDADES	RANGO	VALOR
Resistencia a la compresión uniaxial	50 – 100 Mpa	7
RQD	74 %	15
Espaciamiento de discontinuidades	1.60 mts	18
Condiciones de las discontinuidades		
Persistencia	10 – 20 m	1
Abertura	1 – 5 mm	1
Rugosidad	Lig. Rugoso	3
Relleno	Duro < 5 mm	4
Alteración	Lig. Alterado	5
Agua subterránea	Seco	15
Sumatoria		69

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla 4.6, el RMR_{89}^{Basico} es 69, de acuerdo a la tabla 2.8, pertenece a la clase 2 y su calidad de roca es buena.

4.4. Clasificación geomecánica Slope Mass Rating (SMR) del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta.

La clasificación geomecánica Slope Mass Rating (SMR) será calculado en función de la clasificación geomecánica Rock Mass Rating básico del talud en roca asentamiento Humano Inty Llacta y los factores de corrección de la tabla 2.11 para cada tipo de rotura determinado en el análisis cinemático.

Tabla 4.7*Factores de corrección de la familia de discontinuidades 04, para rotura planar.*

Tipo de rotura	Orientación del talud		Orientación de la junta		Factor de corrección	Valor	
	Dip Direccion (α_s)	Dip (β_s)	Dip Direccion α_j	Dip (β_j)			
Rotura planar F4	78	83	75	80	F1	$ \alpha_j - \alpha_s = 3$	1
					F2	$ \beta_j = 80$	1
					F3	$\beta_j - \beta_s = -3$	-50
					F4	Voladura normal o excavación mecánica	0

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.7, se muestran los factores de corrección para la familia de discontinuidades 04 con posibilidad de falla planar, el valor del Slope Mass Rating (SMR) está dado por:

$$\begin{aligned} \text{SMR} &= \text{RMR}_{b89} + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4 \\ \text{SMR} &= 69 + (1 * 1 * (-50)) + 0 \\ \text{SMR} &= 19 \end{aligned}$$

De acuerdo a la tabla 2.12, la familia de discontinuidades 04 pertenece a la clase V muy mala, la posibilidad de falla planar es de 0.9, con presencia de grandes roturas por planos continuos o por masa, el tratamiento para este tipo de rotura es la re excavación.

Tabla 4.8

Factores de corrección de la rotura en cuña formada por las familias de discontinuidades 03 y 04.

Tipo de rotura	Orientación del talud		Orientación de la Intercepción de los planos de las juntas		Factor de corrección	Valor	
	Dip (as)	Dip (βs)	Dip Direccion αi	Dip (βi)			
Rotura en cuña F3 - F4	78	83	51	78	F1	$ \alpha_i - \alpha_s = 27$	0.4
					F2	$ \beta_i = 78$	1
					F3	$\beta_i - \beta_s = -5$	-50
					F4	Voladura normal o excavación mecánica	0

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.8, se muestran los factores de corrección para la rotura en cuña formada por los planos de las familias de discontinuidades 03 y 04, el valor del Slope Mass Rating (SMR) está dado por:

$$\begin{aligned} \text{SMR} &= \text{RMR}_{b89} + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4 \\ \text{SMR} &= 69 + (0.4 * 1 * (-50)) + 0 \\ \text{SMR} &= 49 \end{aligned}$$

De acuerdo al valor del SMR calculado y la tabla 2.12, la cuña formada por las familias de discontinuidades 03 y 04, pertenece a la clase III normal, la probabilidad de la rotura en cuña es del 0.4, es parcialmente estable, con rotura de algunas juntas o muchas cuñas, el tratamiento de esta rotura es sistemático.

Tabla 4.9

Factores de corrección de la rotura en cuña formada por las familias de discontinuidades 03 y 05.

Tipo de rotura	Orientación del talud		Orientación de la Intercepción de los planos de las juntas		Factor de corrección	Valor
	Dip Direccion (α_s)	Dip (β_s)	Dip Direccion α_i	Dip (β_i)		
Rotura en cuña F3 - F5	78	83	72	67	F1 $ \alpha_i - \alpha_s = 6$	0.85
					F2 $ \beta_i = 67$	1
					F3 $\beta_i - \beta_s = -16$	-60
					F4 Voladura normal o excavación mecánica	0

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.9, se muestran los factores de corrección para la rotura en cuña formada por los planos de las familias de discontinuidades 03 y 05, el valor del Slope Mass Rating (SMR) está dado por:

$$SMR = RMR_{b89} + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

$$SMR = 69 + (0.85 * 1 * (-60)) + 0$$

$$SMR = 18$$

De acuerdo al valor del SMR calculado y la tabla 2.12, la cuña formada por los planos de las familias de las discontinuidades 03 y 05, pertenece a la clase V, Muy mala, la posibilidad de rotura en cuña es de 0.9, es totalmente inestable, con grandes roturas por planos continuos o por masas, el tratamiento para este tipo de rotura es la re excavación.

Tabla 4.10

Factores de corrección de la rotura en cuña formada por las familias de discontinuidades 04 y 05.

Tipo de rotura	Orientación del talud		Orientación de la Intercepción de los planos de las juntas		Factor de corrección	Valor	
	Dip (αs)	Dirección (βs)	Dip (βi)	Dirección (αi)			
Rotura en cuña F4 - F5	78	83	106	78	F1	$ \alpha_i - \alpha_s = 28$	0.4
					F2	$ \beta_i = 78$	1
					F3	$\beta_i - \beta_s = -5$	-50
					F4	Voladura normal o excavación mecánica	0

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.10, se muestran los factores de corrección para la rotura en cuña formada por los planos de las familias de discontinuidades 04 y 05, el valor del Slope Mass Rating (SMR) está dado por:

$$SMR = RMR_{b89} + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

$$SMR = 69 + (0.4 * 1 * (-50)) + 0$$

$$SMR = 49$$

De acuerdo al valor del SMR calculado y la tabla 2.12, la cuña formada por las familias de las discontinuidades 04 y 05, pertenece a la clase III normal, la probabilidad de la rotura en cuña es de 0.4, es parcialmente estable, con rotura de algunas juntas o muchas cuñas, el tratamiento de esta rotura es sistemático.

Tabla 4.11

Factores de corrección de la rotura en vuelco formado por la familia de discontinuidades 01.

Tipo de rotura	Orientación del talud		Orientación de las juntas		Factor de corrección	Valor	
	Dip Direccion (α_s)	Dip (β_s)	Dip Direccion α_j	Dip (β_j)			
Rotura en volteo F1	78	83	260	78	F1	$ \alpha_j - \alpha_s - 180 = 2$	1
					F2	$T = 1$	1
					F3	$\beta_j + \beta_s = 161$	-25
					F4	Voladura normal o excavación mecánica	0

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.11, se muestran los factores de corrección para la familia de discontinuidades 01 con posibilidad de falla en vuelco, el valor del Slope Mass Rating (SMR) está dado por:

$$SMR = RMR_{b89} + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

$$SMR = 69 + (1 * 1 * (-25)) + 0$$

$$SMR = 44$$

De acuerdo al valor del SMR calculado y la tabla 2.12, la familia de discontinuidades 01, pertenece a la clase III normal, la probabilidad de rotura en vuelco es de 0.4, es parcialmente estable, con rotura de algunas juntas o muchas cuñas, el tratamiento de esta rotura es sistemático.

Tabla 4.12

Factores de corrección de la rotura en vuelco formada por la familia de discontinuidades 02.

Tipo de rotura	Orientación del talud		Orientación de las juntas		Factor de corrección	Valor	
	Dip Direccion (α_s)	Dip (β_s)	Dip Direccion α_j	Dip (β_j)			
Rotura en volteo F2	78	83	282	78	F1	$ \alpha_j - \alpha_s - 180 = 24$	0.4
					F2	$T = 1$	1
					F3	$\beta_j + \beta_s = 156$	-25
					F4	Voladura normal o excavación mecánica	0

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.12, se muestran los factores de corrección para la familia de discontinuidades 02 con posibilidad de falla en vuelco, el valor del Slope Mass Rating (SMR) está dado por:

$$\begin{aligned}
 \text{SMR} &= \text{RMR}_{b89} + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4 \\
 \text{SMR} &= 69 + (0.4 * 1 * (-25)) + 0 \\
 \text{SMR} &= 59
 \end{aligned}$$

De acuerdo al valor del SMR calculado y la tabla 2.12, la familia de discontinuidades 02, pertenece a la clase III normal, la probabilidad de rotura en vuelco es de 0.4, es parcialmente estable, con rotura de algunas juntas o muchas cuñas, el tratamiento de esta rotura es sistemático

4.5. Clasificación geomecánica Qslope del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta.

Los parámetros para el cálculo de la clasificación geomecánica Qslope, para cada tipo de rotura identificado en el talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta se encuentran en los anexos 07; 08 y 09.

El valor del RQD es del 74%, el cual se determinó a partir del número de discontinuidades por metro lineal mediante la fórmula de Hudson, la resistencia a la compresión uniaxial de la roca es de 75 Mpa, este valor viene a ser el promedio del intervalo en el que se encuentra la resistencia uniaxial de la roca determinado mediante la picota de geólogo de acuerdo a la tabla 2.2.

Tabla 4.13

Parámetros de la roca del talud del asentamiento Inty Llacta.

Descripción	Valor
Altura del talud (m):	85 m.
Peso específico roca (MN/m ³):	0.025 MN/m ³
Inclinación (Dip):	83
Resistencia a la compresión simple (MPa):	75 Mpa

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.14

Parámetros para el cálculo del Qslope en rotura plana.

Parámetro	Descripción	Valoración
RQD (%):		74%
Jn (Índice de diaclasado):	Tres familias de juntas y otras aleatorias	12
Jr (Índice de rugosidad):	Rugosas o irregularidades, onduladas	3
Ja (Índice de alteración):	Rellenos arcillosos fuertemente sobreconsolidados no reblandecibles	6
O factor:	Muy desfavorable	0.5
Jwice (agua, hielo, ambiente):	Estructura estable, roca competente	0.7
SRFa	Bloques sueltos, signos de grietas de tracción y movimiento de juntas, susceptibilidad a la meteorización.	5
SRFb	Alteración importante por voladura.	
	$\frac{\sigma_c}{\sigma_v} = \frac{75 \text{ Mpa}}{(0.025 \text{ MN/m}^3) * 83} = 35$	5 – 2.5
SFRc	Discontinuidad principal con muy poco o sin arcilla.	8

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla 4.14, el índice Q_{slope} para la rotura planar esta dado por:

$$Q_{Slopes} = \frac{RQD}{J_n} \times \left(\frac{J_r}{J_a}\right)_o \times \frac{J_{wice}}{SRF_{Slope}}$$

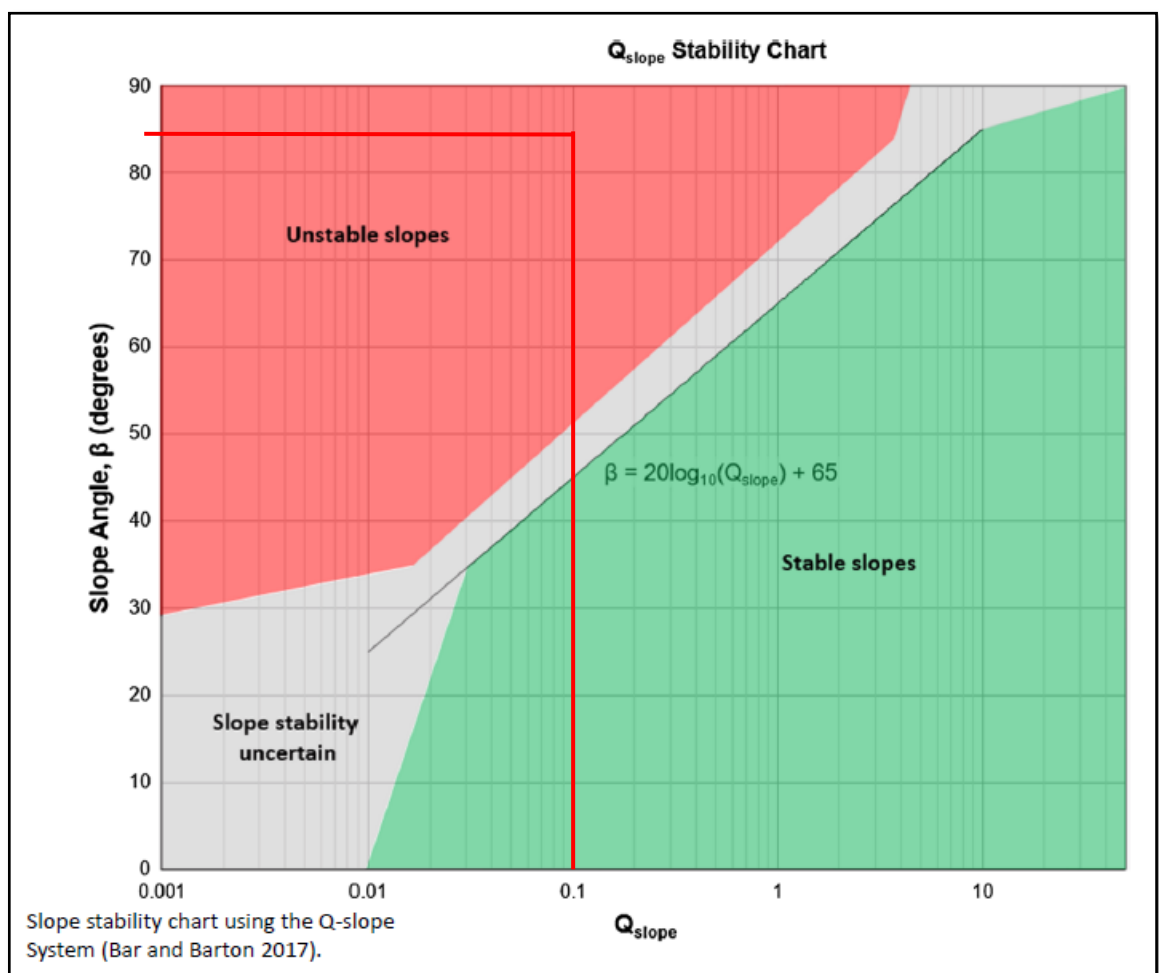
$$Q_{Slopes} = \frac{74}{12} \times \left(\frac{3}{6}\right)_{0.5} \times \frac{0.7}{8}$$

$$Q_{Slopes} = \frac{74}{12} \times \frac{3}{6} \times 0.5 \times \frac{0.7}{8}$$

$$Q_{Slopes} = 0.13$$

Figura 4.13:

Q_{slope} en rotura planar del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta.



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la figura 4.13, la estabilidad del talud para rotura plana es inestable.

Tabla 4.15*Parámetros para el cálculo del Qslope en rotura en cuña.*

Parámetro	Descripción	Valoración
RQD (%):		74%
Jn (Índice de diaclasado):	Tres familias de juntas y otras aleatorias Junta A (principal). Junta B (secundaria)	12
Jr (Índice de rugosidad):	Rugosas o irregularidades, onduladas 3	Juntas discontinuas 4
Ja (Índice de alteración):	Rellenos arcillosos fuertemente sobreconsolidados no reblandecibles 6	Rellenos arcillosos fuertemente sobreconsolidados no reblandecibles 6
O factor	Muy desfavorable 0.5	Desfavorable 0.9
Jwice (agua, hielo, ambiente):	Estructura estable, roca competente	0.7
SRFa	Bloques sueltos, signos de grietas de tracción y movimiento de juntas, susceptibilidad a la meteorización. Alteración importante por voladura	5
SRFb	$\frac{\sigma_c}{\sigma_v} = \frac{75 \text{ Mpa}}{(0.025 \text{ MN/m}^3) * 83} = 35$	5 – 2.5
SFRc	Discontinuidad principal con muy poco o sin arcilla	8

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla 4.15, el índice Qslope para la rotura en cuña esta dado por:

$$Q \text{ Slopes} = \frac{RQD}{J_n} \times \left(\frac{J_r}{J_a}\right)_o \times \frac{J_{wice}}{SRF \text{ Slope}}$$

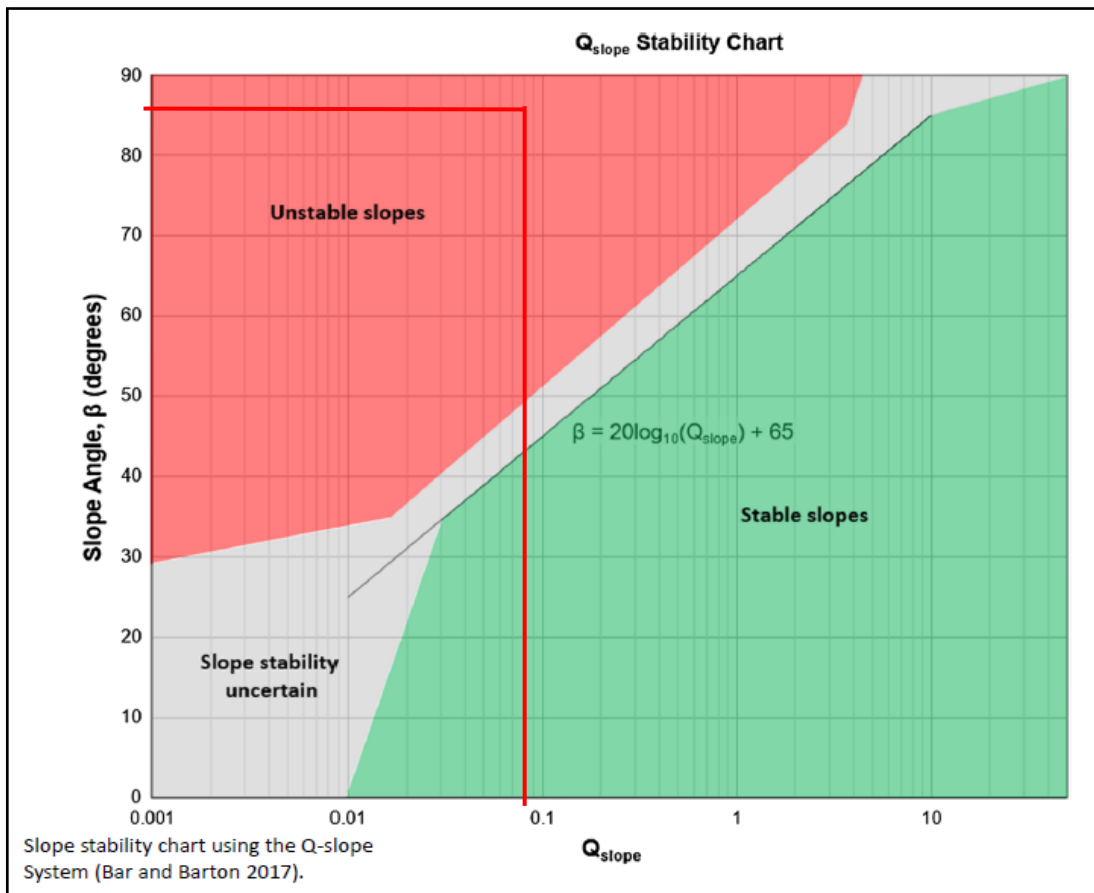
$$Q \text{ Slopes} = \frac{74}{12} \times \left(\frac{3}{6}\right)_{0.5} \times \left(\frac{4}{6}\right)_{0.9} \times \frac{0.7}{8}$$

$$Q \text{ Slopes} = \frac{74}{12} \times \left(\frac{3}{6}\right) \times 0.5 \times \left(\frac{4}{6}\right) \times 0.9 \times \frac{0.7}{8}$$

$$Q \text{ Slopes} = 0.08$$

Figura 4.14:

Qslope rotura en cuña del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta.



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la figura 3.14, la estabilidad del talud para rotura en cuña es inestable.

Tabla 4.16*Parámetros para el cálculo del Qslope en rotura en vuelco.*

Parámetro	Descripción	Valoración
RQD (%):		74%
Jn (Índice de diaclasado):	Tres familias de juntas y otras aleatorias	12
Jr (Índice de rugosidad):	Rugosas o irregularidades, onduladas	3
Ja (Índice de alteración):	Rellenos arcillosos fuertemente sobreconsolidados no reblandecibles	6
O factor:	Causaría falla si no se sostiene	0.25
Jwice (agua, hielo, ambiente):	Estructura estable, roca competente	0.7
SRFa	Bloques sueltos, signos de grietas de tracción y movimiento de juntas, susceptibilidad a la meteorización.	5
SRFb	Alteración importante por voladura. $\frac{\sigma_c}{\sigma_v} = \frac{75 \text{ Mpa}}{(0.025 \text{ MN/m}^3) * 83} = 35$	5 – 2.5
SFRc	Discontinuidad principal con muy poco o sin arcilla.	8

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla 4.16, el índice Qslope para la rotura en vuelco esta dado por:

$$Q \text{ Slopes} = \frac{RQD}{Jn} \times \left(\frac{Jr}{Ja}\right)_{0.25} \times \frac{Jwice}{SRF \text{ Slope}}$$

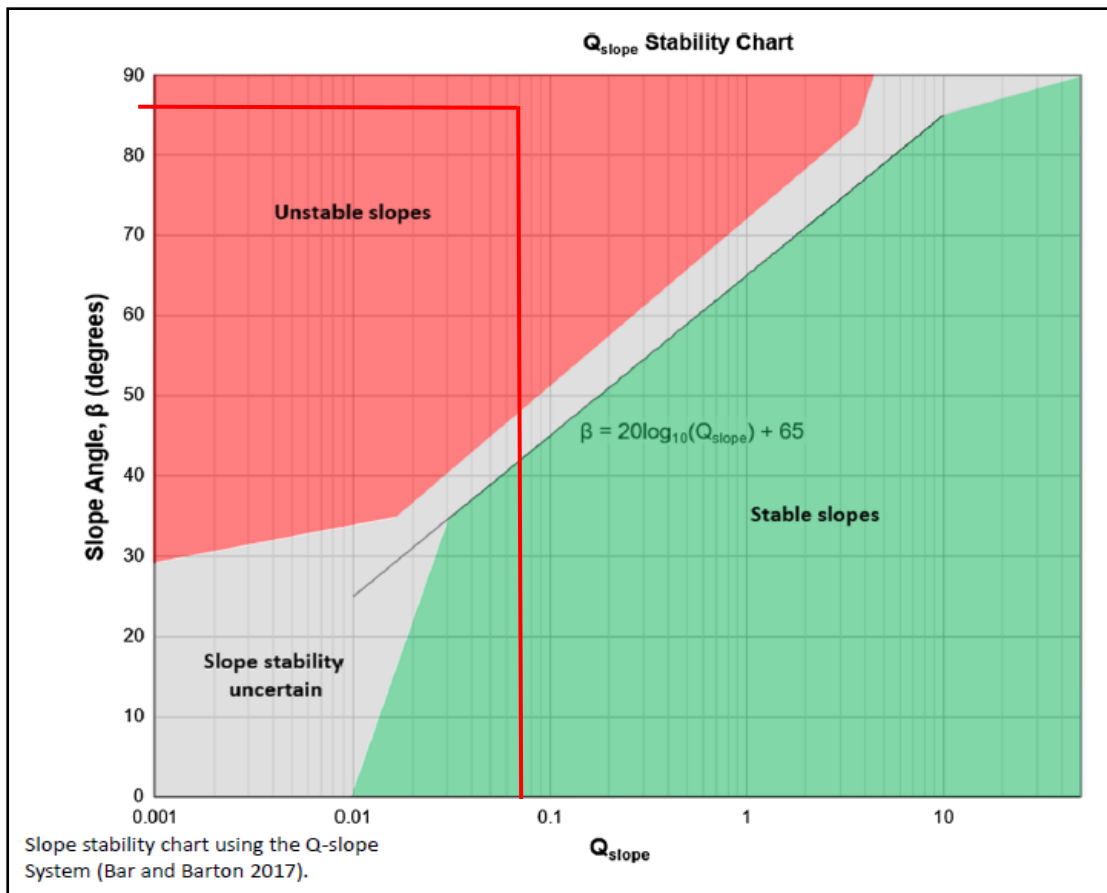
$$Q \text{ Slopes} = \frac{74}{12} \times \left(\frac{3}{6}\right)_{0.25} \times \frac{0.7}{8}$$

$$Q \text{ Slopes} = \frac{74}{12} \times \frac{3}{6} \times 0.25 \times \frac{0.7}{8}$$

$$Q \text{ Slopes} = 0.07$$

Figura 4.15:

Qslope rotura en vuelco del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta.



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la figura 3.15, la estabilidad del talud para rotura en cuña es inestable.

CAPÍTULO V:

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente trabajo de investigación tenía como objetivo determinar cómo las características de las discontinuidades inciden en el análisis de la estabilidad del talud en roca en el asentamiento humano Inty Llacta. El trabajo práctico consistió en aplicar los instrumentos diseñados para la recolección de las características intrínsecas del talud en la roca del asentamiento Inty Llacta mediante los formatos de mapeo geomecánico (Rock Mass Rating, orientación de las discontinuidades y el Qslope), que valide las hipótesis formuladas. De acuerdo a lo mencionado, en la realización del presente estudio se tuvo como unidad de análisis el macizo rocoso del Jr. 06 de enero del asentamiento humano Inty Llacta.

Referente a la investigación realizada sobre el talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta de la hipótesis general se determinó que las características de las discontinuidades como la orientación de las discontinuidades, la resistencia, el espaciamiento, la persistencia, la apertura, la rugosidad, el relleno, las filtraciones de agua y el número de familias de las discontinuidades inciden en la estabilidad del talud, mediante el análisis cinemático se determinó los tipos roturas presentes en el talud, las Clasificaciones geomecánicas Slope Mass Rating y Qslope nos permitieron determinar la probabilidad de rotura y su posible tratamiento

El presente trabajo de investigación fue corroborado con el estudio realizado por Mamani Larico, Roger Rene (2016). “Análisis de la estabilidad de taludes en macizo rocoso de la carretera Sina Yanahuaya tramo III – Sub tramo 02, a partir de la caracterización geológica y resistencia a la compresión simple”, determino que la caracterización global de los macizos en los afloramientos es muy importante para la descripción adecuada de las estructuras y/o discontinuidades presentes en el talud; para evaluar las fallas potenciales en los macizos rocosos mediante el análisis cinemático y demás métodos analíticos.

De acuerdo a los resultados obtenidos en ambas investigaciones podemos afirmar que las características globales de los macizos inciden en el análisis de la estabilidad del talud en roca.

Siguiendo con el análisis del resultado obtenido en la hipótesis específica 01, se determinó que las características que condiciona el análisis cinemático es la orientación de las discontinuidades y el ángulo de fricción, mediante el análisis de las proyecciones

estereográficas se determinó que el talud de asentamiento humano Inty Llacta está conformado por 05 familias como se muestra en el gráfico 4.5, también se determinó que presenta los siguientes tipos de roturas:

Tabla 5.1

Resumen de los tipos de rotura del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta.

Familia	Tipo de rotura
F4	Rotura Planar
F3 – F4	Rotura en Cuña
F3 – F5	Rotura en Cuña
F4 – F5	Rotura en Cuña
F1	Rotura en vuelco
F2	Rotura en vuelco

Fuente: Elaboración Propia

Según el estudio realizado por García Chávez, Yair Alberto (2015). “Análisis cinemático de la pared noreste y este – tajo Antamina – Provincia de Huarí – Región Ancash – 2014”, donde los resultados de su investigación determinaron que la información más relevante para el análisis cinemático es la orientación de las estructuras, su persistencia, espaciamiento y rugosidad, mediante el análisis cinemático de las 4 zonas de estudio determino que la Zona 01 presenta rupturas del tipo planar y cuña, la zona 02 presenta rupturas del tipo planar, cuña y toppling, la zona 03 presenta rupturas del tipo planar y cuña, la zona 4 presenta rupturas del tipo planar, cuña y toppling.

De acuerdo a los resultados obtenidos en ambas investigaciones podemos afirmar que las características mas importantes para el análisis cinemático es la orientación de las discontinuidades y el ángulo de fricción para poder determinar los posibles tipos de rotura como se observa en la tabla 5.1.

Siguiendo con el análisis del resultado obtenido en la hipótesis específica 02, se determinó que las características que mas incide en la clasificación geomecánica Slope Mass Rating es la orientación de las fracturas y los tipos de rotura plana, cuña y vuelco.

Los factores de corrección de la clasificación geomecánica Slope Mass Rating están en función de la orientación de las discontinuidades, el tipo excavación del talud y el tipo de rotura, mediante la clasificación geomecánica Slope Mass Rating en el talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta se determinó:

Tabla 5.2

Clasificación geomecánica Slope Mass Rating del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta.

Tipo de rotura	Clase	Estabilidad	Probabilidad de rotura	Rotura	Tratamiento
Planar F 04	V Muy mala	Totalmente Inestable	0.9	Grandes roturas por planos continuos o por masa.	Re excavación
Cuña F 03 - 04	III Normal	Parcialmente estable	0.4	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático
Cuña F 03 - 05	V Muy mala	Totalmente Inestable	0.9	Grandes roturas por planos continuos o por masa.	Re excavación
Cuña F 04 - 05	III Normal	Parcialmente estable	0.4	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático
Vuelco 01	F III Normal	Parcialmente estable	0.4	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático
Vuelco 02	F III Normal	Parcialmente estable	0.4	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático

Fuente: Elaboración Propia

Según el estudio realizado por Mario Bernardo Daetz Escalante (2017). “Análisis de macizos previo al diseño y construcción del proyecto hidroeléctrico el Pojom, Huehuetenago”, donde los resultados de su investigación determinaron que la clasificación geomecánica para taludes o Slope Mass Rating (SMR) se basa en la orientación de las fracturas y en los mecanismos de rotura planar, cuña y vuelco, también determino que los taludes están dentro de la clasificación normal o de clase III a muy mala o de clase IV, ubicándolos en términos de estabilidad de parcialmente estables a inestables, siendo la re excavación, colocación de drenajes superficial profundo, lanzado de concreto y reforzamiento con anclajes los métodos de estabilización sugeridos por Slope Mass Rating.

De acuerdo a los resultados obtenidos en ambas investigaciones podemos afirmar que las características mas importantes para la clasificación geomecánica Slope Mass Rating es la orientación de las fracturas y los tipos de rotura planar, cuña y vuelco.

Siguiendo con el análisis del resultado obtenido en la hipótesis especifica 03, se determinó que las características de las discontinuidades, los factores externos, el estado tensional y el ángulo del talud condicionan la clasificación geomecánica Qslope, mediante esta clasificación se determinó que en el talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta lo siguiente:

Tabla 5.3

Clasificación geomecánica Qslope del talud en roca del asentamiento Inty Llacta.

Tipo de rotura	Angulo de inclinación del talud	índice Qslope	Clasificación
Rotura planar	83	0.13	Inestable
Rotura en cuña	83	0.08	Inestable
Rotura en vuelco	83	0.07	Inestable

Fuente: Elaboración Propia

Según el estudio realizado por Andrés Eduardo Suárez Guartatanga (2019). “Análisis geológico – estructural y geomecánico de los afloramientos de los cerros del Carmen y Santa Ana, Guayaquil – Ecuador”, en los resultados de su investigación se determinó que los valores del Qslope también indican la calidad del macizo rocoso diferenciándolo del RMR por que considera parámetros ambientales y físico presentes en la superficie del talud. A partir del índice Qslope se puede calcular el ángulo de pendiente máxima del talud de manera simple y determinar la estabilidad del talud.

De acuerdo a los resultados obtenidos en ambas investigaciones podemos afirmar que las características de las discontinuidades, los factores externos, el estado tensional y el ángulo del talud condicionan la clasificación geomecánica Qslope.

CONCLUSIONES

1. La caracterización global del talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta incide en la estabilidad del talud y la descripción de las discontinuidades para evaluar los tipos de rotura potencial mediante el análisis cinemático y las clasificaciones geomecánicas Slope Mass Rating y Qslope.
2. Se determinó que la característica que condiciona el análisis cinemático es la orientación de las discontinuidades y el ángulo de fricción, del resultado del análisis las proyecciones estereográficas en el software Dips versión 6.0 en el área de estudio determino que está conformado por 05 familias y presenta los siguientes tipos de rotura:
 - Familia 04: Rotura planar
 - Familia 03 – 04: Rotura en cuña.
 - Familia 03 – 05: Rotura en cuña.
 - Familia 04 – 05: Rotura en cuña.
 - Familia 01: Rotura en vuelco.
 - Familia 02: Rotura en vuelco.
3. Las características que influyen en la clasificación geomecánica Slope Mass Rating (SMR) es la orientación de las discontinuidades y el tipo de rotura mediante esta clasificación geomecánica se determinó.
 - Familia 04 presenta una rotura planar, su estabilidad es totalmente inestable y su tratamiento es la re excavación.
 - Familia 03 – 04, presenta una rotura en cuña, su estabilidad es parcialmente estable y su tratamiento es sistemático (Pernos de anclaje, Shotcrete, mallas electrosoldadas).
 - Familia 03 – 05, presenta una rotura en cuña, su estabilidad es totalmente inestable y su tratamiento es la re excavación.
 - Familia 04 – 05, presenta una rotura en cuña, su estabilidad es parcialmente estable y su tratamiento es sistemático (Pernos de anclaje, Shotcrete, mallas electrosoldadas).
 - Familia 01 presenta una rotura en vuelco, su estabilidad parcialmente estable y su tratamiento es sistemático (Pernos de anclaje, Shotcrete, mallas electrosoldadas).
 - Familia 02 presenta una rotura en vuelco, su estabilidad parcialmente estable y su tratamiento es sistemático (Pernos de anclaje, Shotcrete, mallas electrosoldadas).

4. Las características de las discontinuidades, los factores externos y el estado tensional condicionan la clasificación geomecánica Q_{slope} , mediante esta clasificación se determinó de manera sencilla y a bajo costo la estabilidad del talud en estudio, mediante esta clasificación geomecánica se determinó:
 - Rotura plana, el índice Q_{slope} calculado es de 0.13 y su clasificación es inestable.
 - Rotura en cuña, el índice Q_{slope} calculado es de 0.08 y su clasificación es inestable.
 - Rotura en vuelco, el índice Q_{slope} calculado es de 0.07 y su clasificación es inestable.
5. La calidad del macizo rocoso del talud en estudio de acuerdo Rock Mass Rating de Bieniawski es 69, pertenece a la clase II y la calidad de la roca es buena

RECOMENDACIONES

1. Se continúe la investigación mediante el método de elementos finitos con el uso del software como Phase2 o Slide en donde se pueda simular los tipos de sostenimiento mas adecuados para el talud en estudio.
2. Se recomienda realizar en el talud en estudio el desquinche de los bloques de roca suelto, debido a que son un peligro para los pobladores que viven en sus inmediaciones.
3. Se recomienda la clasificación geomecánica Qslope para realizar una evaluación de forma rápida y sencilla de la estabilidad de taludes en roca.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alpizar Barquero, A. (2012). Metodología de Analisis de Estabilidad de Taludes para Proyectos Viales . *XI Congreso Nacional de Geotecnia, Congeo*, 1-18.
- Babín Vich, R. B., & Gómez Ortiz , D. (2010). Problemas de Geología Estructural . *Serie Geología Estructural* , 1-168.
- Calderon Mena, M. A. (2018). *Caracterización geotécnica para la determinación del tipo de sostenimiento en la galería Gavilán de oro de la UEA Ana Maria*. Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Carrasco Diaz, S. (2005). *Metodología de la Investigacion Cientifica*. Lima: San marcos.
- Celada, B., Tardáguila, I., Rodríguez , A., Varaona, P., & Bieniawski, Z. T. (2014). Actualización y mejora del RMR. *Ingeopres*, 18-22.
- Ernesto, G. G. (2013). *Evaluación geomecánica del macizo rocoso en la cantera de materiales de construccion Las Victorias*. Ecuador: Universidad de la Cuenca.
- Escalante, M. B. (2017). *Análisis de macizos rocosos previo al diseño y construccion del proyecto hidroelectrico el Pojon, Huehuetenago*. Cobán : Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Flores Vásquez , C. X., & Pineda Procel , C. A. (2015). *Caracterización del macizo rocoso - análisis retrospectivo y aplicacion al diseño de taludes mediante análisis cinemático y clasificación geomecanica - Slope Mass Rating - Cantera Borcons*. Ecuador: Escuela Politécnica del Litoral.
- García Chavez, Y. A. (2014). *Análisis cinemático de la pared noreste y este - tajo Antamina - provincia de Huari*. Ancash: Universidad Nacional "Santiago Antunez de Mayolo".
- Garzón Roca, J., & Torrijo Echarri , F. J. (08 de Junio de 2018). *Repositorio Institucional UPV*. Obtenido de Análisis cinemático de la estabilidad de taludes en roca por rotura cuneiforme: <https://riunet.upv.es/handle/10251/103669>
- Garzón Roca, J., & Torrijo Echarri, F. J. (05 de Junio de 2018). *Repositorio Institucional UPV*. Obtenido de Análisis cinemático de la estabilidad de taludes en roca por vuelco (toppling): <https://riunet.upv.es/handle/10251/103394>

- Gárzon Roca, J., & Torrijo Echarri, F. J. (05 de Junio de 2018). *Universitat Politècnica de València*. Obtenido de Repositorio Institucional UPV: <https://riunet.upv.es/handle/10251/103391>
- González de Vallejo, L. I. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Education.
- Griem, W. (28 de Agosto de 2015). *GeoVirtual2 y Museo Virtual*. Obtenido de Geología Estructural Virtual: <https://www.geovirtual2.cl/Geoestructural/prak02.htm>
- Guillermo Rodríguez, C. (14 de Abril de 2017). Manejo del Software Dips Rocscience. *Geomecánica Computacional Subterránea II*. Lima, Lima, Perú: Centro de Capacitación de Geomecánica y Geotecnia .
- Jorda Bordehore, I. (05 de Junio de 2020). Clasificación Geomecánica Q Slope. Lima, Lima, Perú.
- Jorda Bordehore, L. (28 de Mayo de 2020). Clasificación geomecánica SMR - Slope Mass Rating. Lima, Lima, Perú.
- Larico, R. R. (2016). *Análisis de la estabilidad de taludes en macizo rocoso de la carretera Sina Yanahuaya tramo iii - sub tramo 02, a partir de la caracterización geológica y resistencia a la compresión simple*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Patricio, D. N. (2006). *Metodología de la Investigación Científica y Bioestadística*. Santiago de Chile: RIL editores.
- Ramírez Oyanguren, P., & Alejano Monge, L. (2004). *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Rodríguez Cayllahua, G. (01 de Enero de 2020). Diseño de Sostenimiento para Tuneles y Escavaciones Mineras. Lima, Lima, Perú.
- Romana Ruiz , M., Serón Gañes, J. B., & Montalar Yago, E. (2001). La Clasificación Geomecánica SMR: Aplicación, Experiencias y Validación. *V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*, 393-404.
- Saenz Serpa, A. A. (2017). *Análisis para estabilidad de taludes en roca utilizando mallas galvanizadas ancladas, ciudad nueva Fuerabamba - Apurímac*. Peru: Universidad Nacional del Centro.

- Salazar Chacón, J. A., & Arquín Bolaños, F. A. (2015). Aplicación del método Q-slope para el diseño de taludes. *XII Congreso Nacional de Geotecnia*, 1-14.
- Suarez Diaz, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*. Colombia: Ingeniería de Suelos Ltda.
- Suárez Guartatanga, A. E. (2019). *Análisis geológico estructural y geomecánico de los afloramientos de los cerros Carmen y Santa Ana, Guayaquil, Ecuador*. Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- Valeriano Nina, F. A. (2015). *Caracterización geotécnica y modos de falla estructural en el talud en roca del cerro Espinal Juliaca*. Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Velasquez Andahua, J. S. (2016). *Aplicación del SMR al análisis de estabilidad de taludes en la mina Kadi II de la empresa Productos Calcáreos Kadi S.R.L.* Huaraz: Universidad Nacional "Santiago Antunez de Mayolo".

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de Consistencia

TÍTULO: “Caracterización de las discontinuidades y análisis de la estabilidad del talud en roca en el asentamiento humano Inty Llacta”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES Y DIMENSIONES	METODOLOGÍA
<p>Problema General ¿Cómo la caracterización de las discontinuidades incide en el análisis de la estabilidad del talud en roca en el asentamiento humano Inty Llacta?</p>	<p>Objetivo general Determinar cómo la caracterización de las discontinuidades incide en el análisis de la estabilidad del talud en roca en el asentamiento humano Inty Llacta.</p>	<p>Hipótesis General La caracterización de las discontinuidades incide en el análisis de la estabilidad del talud en roca en el asentamiento humano Inty Llacta.</p>	<p>Variable Independiente: Caracterización de las discontinuidades</p> <p>Dimensiones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Orientación • Espaciamiento • Persistencia • Apertura • Rugosidad • Relleno • Filtraciones de agua • Número de familias 	<p>Tipo de investigación: Según la intervención del investigador es:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tipo de investigación: Observacional • Según la Planificación: Prospectivo. • Según el número de veces: Transversal
<p>Problemas específicos</p> <p>a)¿Cómo la caracterización de las discontinuidades incide en el análisis cinemático del talud en roca en el asentamiento humano Inty Llacta?</p>	<p>Objetivos específicos</p> <p>a)Determinar cómo la caracterización de las discontinuidades incide en el análisis cinemático del talud en roca en el asentamiento humano Inty Llacta.</p>	<p>Hipótesis Específicas</p> <p>a)La caracterización de las discontinuidades incide en el análisis cinemático del talud en roca en el asentamiento humano Inty Llacta.</p>	<p>Variable dependiente: Análisis de la estabilidad del talud en roca</p> <p>Dimensiones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Análisis Cinemático De Taludes. • Clasificación Geomecánica Slope Mass Rating (Smr). • Clasificación Geomecánica Qslope. 	<p>Nivel de Investigación: Descriptivo</p> <p>Diseño de la Investigación No experimental</p> <p>Población y muestra:</p> <p>Población: Talud en roca del asentamiento humano Inty Llacta.</p> <p>Muestra: Macizo rocoso del Jr. 06 de enero</p>
<p>b)¿Cómo la caracterización de las discontinuidades incide en la clasificación geomecánica Slope Mass Rating del talud en roca en el asentamiento humano Inty Llacta?</p>	<p>b)Determinar cómo la caracterización de las discontinuidades incide en la clasificación geomecánica Slope Mass Rating del talud en roca en el asentamiento humano Inty Llacta.</p>	<p>b)La caracterización de las discontinuidades incide en la clasificación geomecánica Slope Mass Rating del talud en roca en el asentamiento humano Inty Llacta.</p>		
<p>c)¿Cómo la caracterización de las discontinuidades incide en la clasificación geomecánica Qslope del talud en roca en el asentamiento humano Inty Llacta?</p>	<p>c) Determinar cómo la caracterización de las discontinuidades incide en la clasificación geomecánica Qslope del talud en roca en el asentamiento humano Inty Llacta.</p>	<p>c)La caracterización de las discontinuidades incide en la clasificación geomecánica Qslope del talud en roca en el asentamiento humano Inty Llacta.</p>		

Anexo 02: Matriz de operacionalización de variables

VARIABLES DE INTERÉS	DIMENSIONES	INDICADOR	UNIDAD (S)	INSTRUMENTO (S)	
Caracterización de las discontinuidades	Orientación	Azimut	Grados	Brújula	
		Buzamiento	Grados	Brújula	
	Espaciamiento	Rumbo	Grados	Brújula	
		Distancia entre discontinuidades	Mts.	Flexómetro	
	Persistencia	Longitud de la discontinuidad	Mts.	Flexómetro	
	Apertura	Separación de as discontinuidades	mm.	Flexómetro	
	Rugosidad	Aspereza	Valor alfa numérico	Peine de Barton	
	Relleno	Material dentro de una discontinuidad	Valor alfa numérico	Escala descriptiva	
	Filtraciones de agua	Presencia de agua en la discontinuidad	Valor alfa numérico	Escala descriptiva	
	Número de familias	Cantidad de familias de discontinuidades en el macizo rocoso	Valor alfa numérico	Escala descriptiva	
Análisis de la estabilidad del talud en roca	Análisis Cinemático De Taludes	Azimut o dirección de la discontinuidad	Grados	Brújula	
	Clasificación Geomecánica Slope Mass Rating (S _{mr})	Buzamiento de la discontinuidad	Grados	Brújula	
	Clasificación Geomecánica Qslope	Índice Slope Mass Rating		Valor alfa numérico	Escala descriptiva
		Índice Qslope		Valor alfa numérico	Formula del índice Qslope
		Angulo de inclinación del talud		Grados	Brújula

Anexo 03: Técnicas e instrumentos de investigación.

Diseño	Técnicas	Instrumentos		
Diseño de investigación documental	Análisis documental	Fichas		
	Análisis de contenido	Computadora y sus unidades de almacenaje	Cuadro de registros y clasificación de las categorías	
Diseño de investigación de campo	Observación	Estructurada	Lista de cotejo	
		No estructurada	Escala de estimación	
	Encuesta	Oral	Diario de campo	Cámaras: Fotografía y video.
			Escrita	Guía de encuesta (tarjeta)
Entrevista	No estructurada		Grabador	
			Cámara de video	
			Cuestionario	
		Estructurada	Guía de entrevista	
			Grabador	
			Cámara de video	
			Libreta de notas	
			Grabador	
			Cámara de video	

Fuente: El proyecto de investigación (Fidias, 2006).

Anexo 04: Orientación de las discontinuidades del talud del asentamiento humano Inty Llacta.

UBICACIÓN : Jr. 06 de enero
OBSERVADOR : José Luis Arones Apestegui
ORIENTACIÓN DEL TALUD:
Dip : 83
Dip Dirección : 78
ALTURA DEL TALUD : 85 m.

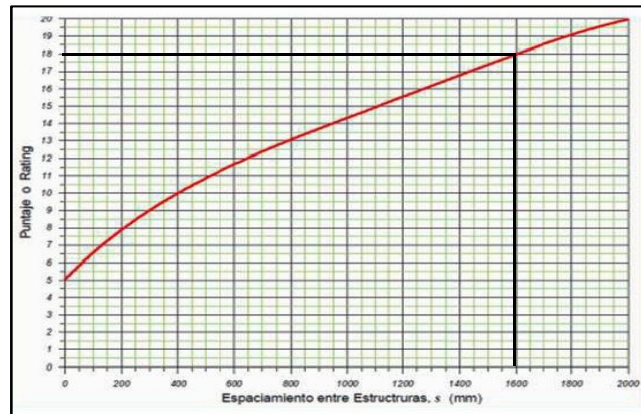
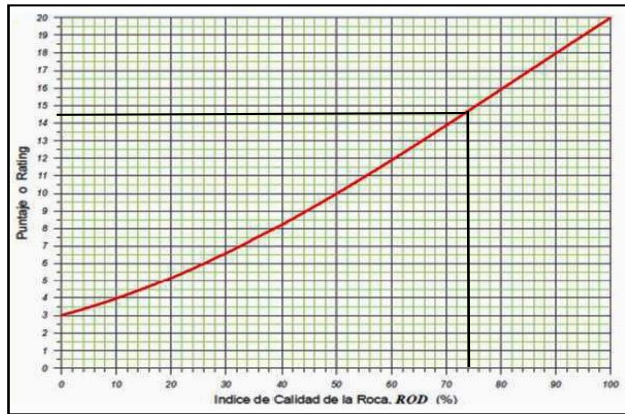
FECHA: 30/12/2020

ORIENTACIÓN DE DISCONTINUIDADES

Localización	Dip	Dirección	Dip	Observaciones
1	260		72	
2	70		80	
3	282		79	
4	72		85	
5	359		85	
6	69		81	
7	365		83	
8	135		83	
9	363		79	
10	81		79	
11	258		82	
12	281		78	
13	355		84	
14	255		83	
15	358		86	
16	265		72	
17	275		75	
18	142		79	
19	285		76	
20	289		80	
21	360		80	
22	77		80	
23	133		75	
24	262		81	
25	137		80	
26	260		76	
27	79		78	
28	134		81	

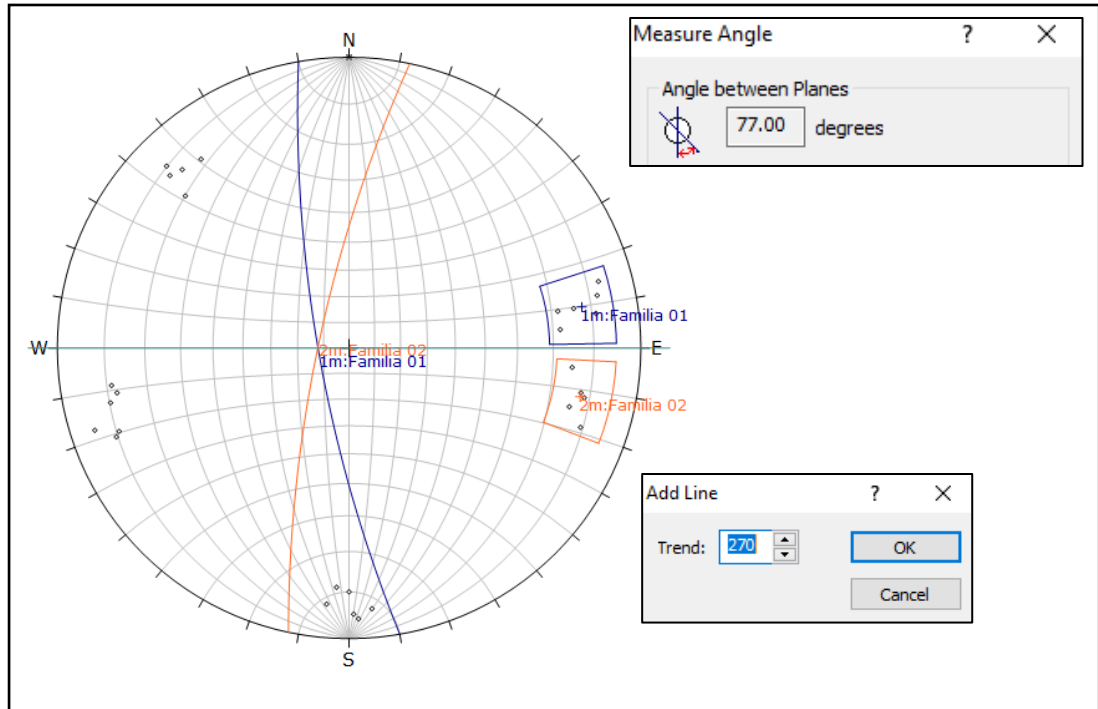
Anexo 05: Formato de mapeo geomecánico Rock Mass Rating (RMR).

FORMATO DE MAPEO GEOMECÁNICO ROCK MASS RATING (RMR)																		
UBICACIÓN : Asentamiento humano Inty Lacta						ESTACIÓN : Jr. 06 de enero												
OBSERVADOR : José Luis Aronés Apestegui																		
FECHA : 31/12/2020																		
SISTEMA ROCK MASS RATING (RMR)											# Fract/ml	RQD (%)						
PARÁMETROS											1	100						
Estimación de la resistencia de la roca con picota de geologo:											2	98						
Clase	Estimación de la resistencia uniaxial de la roca					Resistencia uniaxial (Mpa)					3	96						
Buena (Muy resistente, fresca)	Superficie de las discontinuidades muy rugosas e inalteradas, cerradas. (Se rompe con varios golpes de picota)					100 – 250					4	94						
Regular (Resistente, levemente alterado)	Discontinuidades rugosas, levemente alterado, manchas de oxidación; ligeramente abiertas (Se rompe con uno o dos golpes de picota)					50 – 100					X	5	91					
Pobre (Moderadamente resistente, leve a moderadamente alterada)	Discontinuidades lisas, moderadamente alteradas, ligeramente abiertas. (Puede fracturarse con un golpe de picota, pero no es posible descostrar la roca)					25 – 50						6	88					
Muy Pobre (Blanda, Muy Alterada)	Superficie pulida con estribaciones, muy alterada relleno compacto o con fragmentos de roca (Es posible descostrar la roca con una navaja)					5 – 25						7	84					
Muy pobre	La roca se disgrega al ser golpeada					1 – 5						8	81					
											VALOR	9	77					
Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)											>250 (15)	100-250 (12)	X 50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	7	10	74
Índice de la calidad de la roca (RQD)											15	11	70					
Espaciamiento de discontinuidades (cm)											18	12	66					
CONDICION DE DISCONTINUIDADES											13	63						
Persistencia	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	X 10-20 m (1)	> 20 m (0)	1	14	59										
Abertura	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	X 1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	1	15	56										
Rugosidad	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	X Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	3	16	53										
Relleno	Limpia (6)	X Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	4	17	49										
Alteración	Sana (6)	X Lig. Intempe. (5)	Mod.Intempe. (3)	Muy Intempe. (2)	Descompuesta (0)	5	18	46										
Agua subterránea	X Seco (15)	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	15	19	43										
RMR89 (Basico) = 69											20	41						
											21	38						
											22	35						
											23	33						
											24	31						
											25	29						
											26	27						
											27	25						
											28	23						

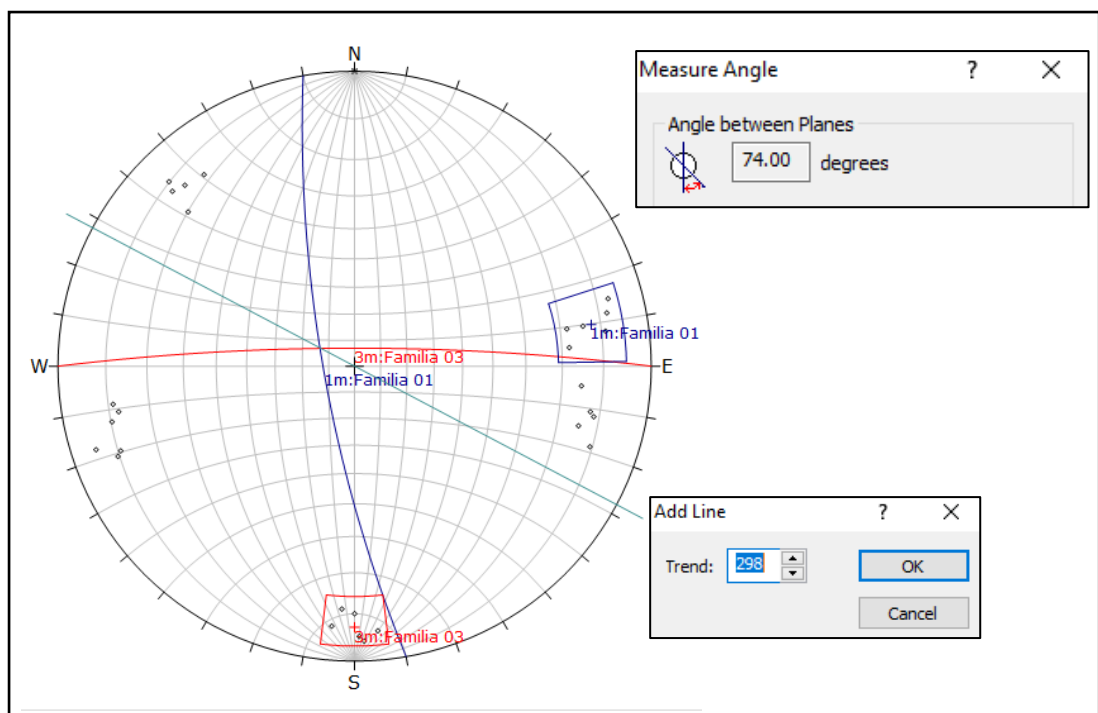


Anexo 06: Direccion de buzamiento y buzamiento de la intercepción de los planos de las familias de discontinuidades.

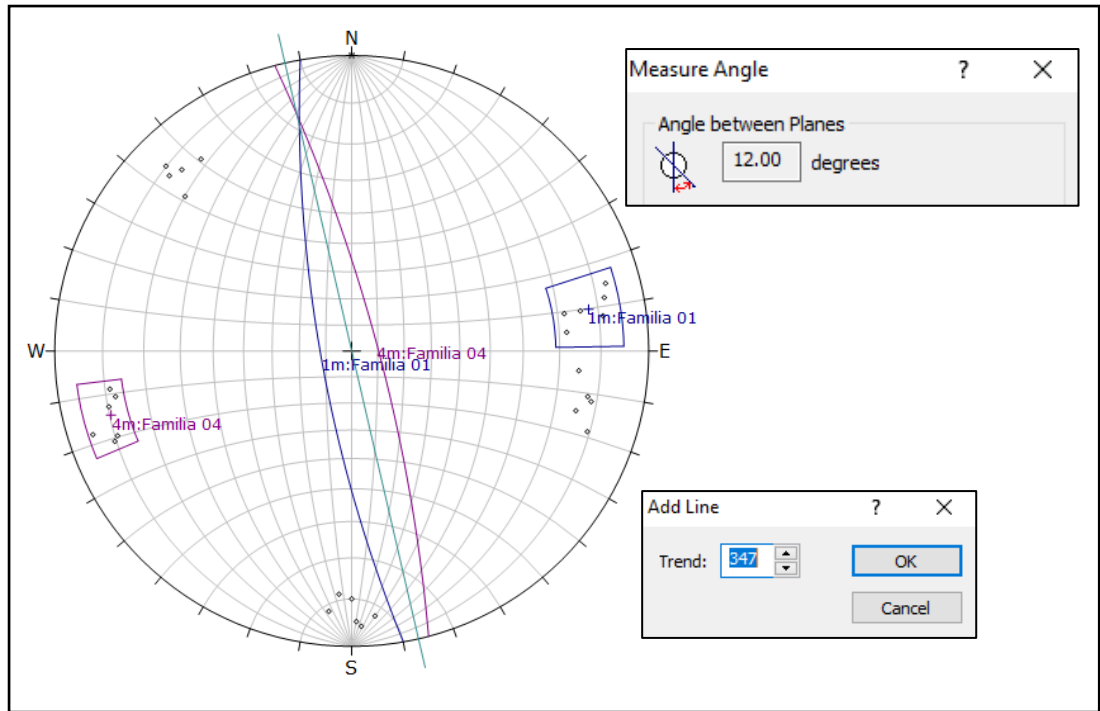
- Direccion de buzamiento y buzamiento de la intercepción de los planos de la familia 01 y 02



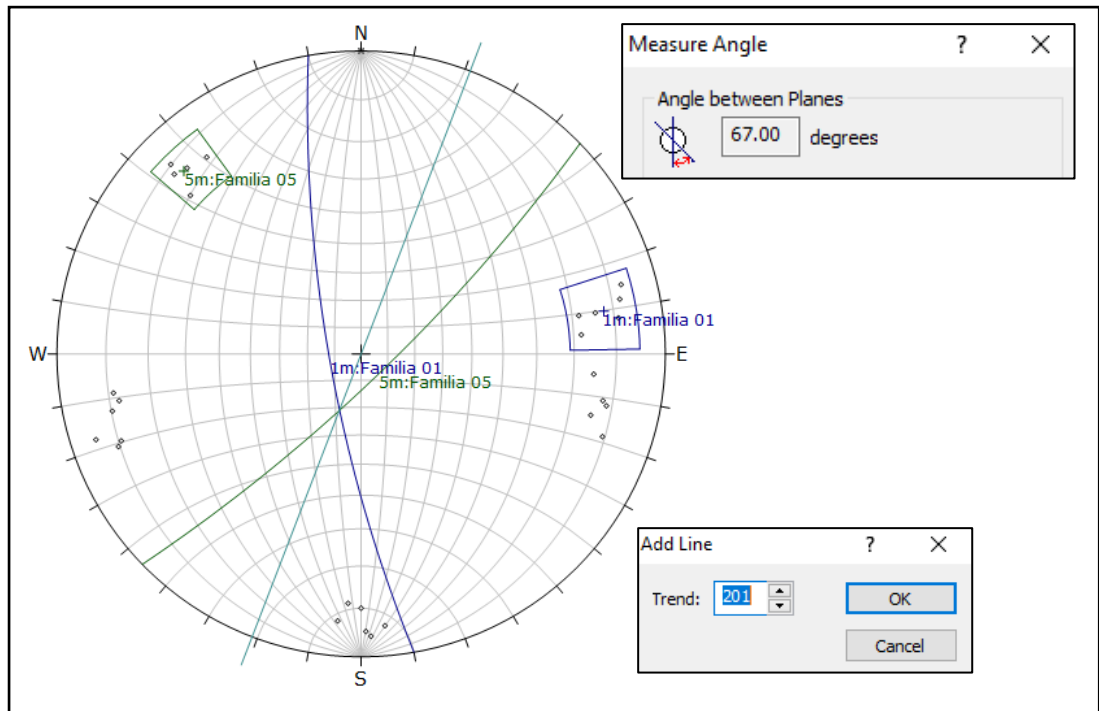
- Direccion de buzamiento y buzamiento de la intercepción de los planos de la familia 01 y 03.



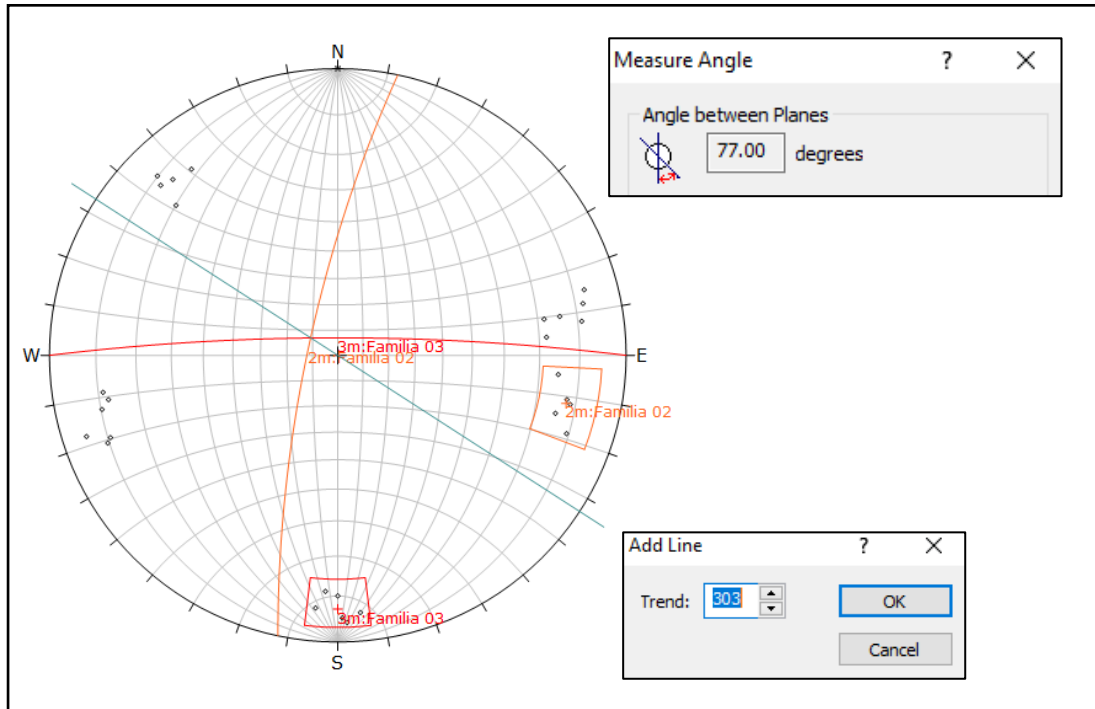
- Direccion de buzamiento y buzamiento de la intercepción de los planos de la familia 01 y 04.



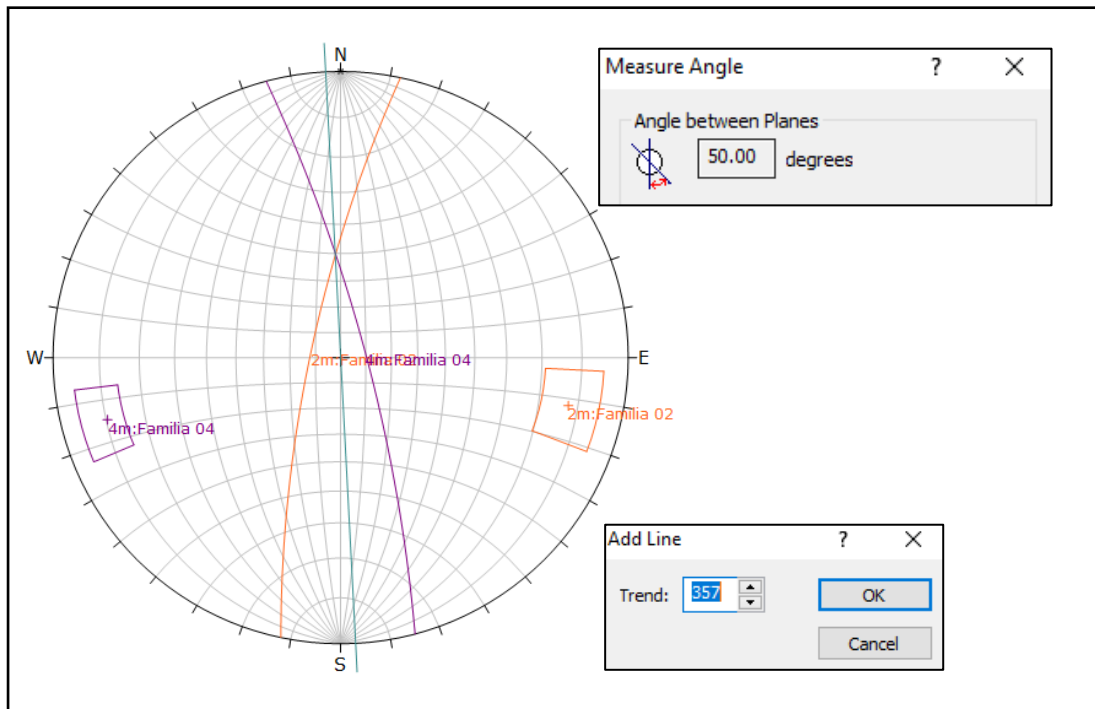
- Direccion de buzamiento y buzamiento de la intercepción de los planos de la familia 01 y 05.



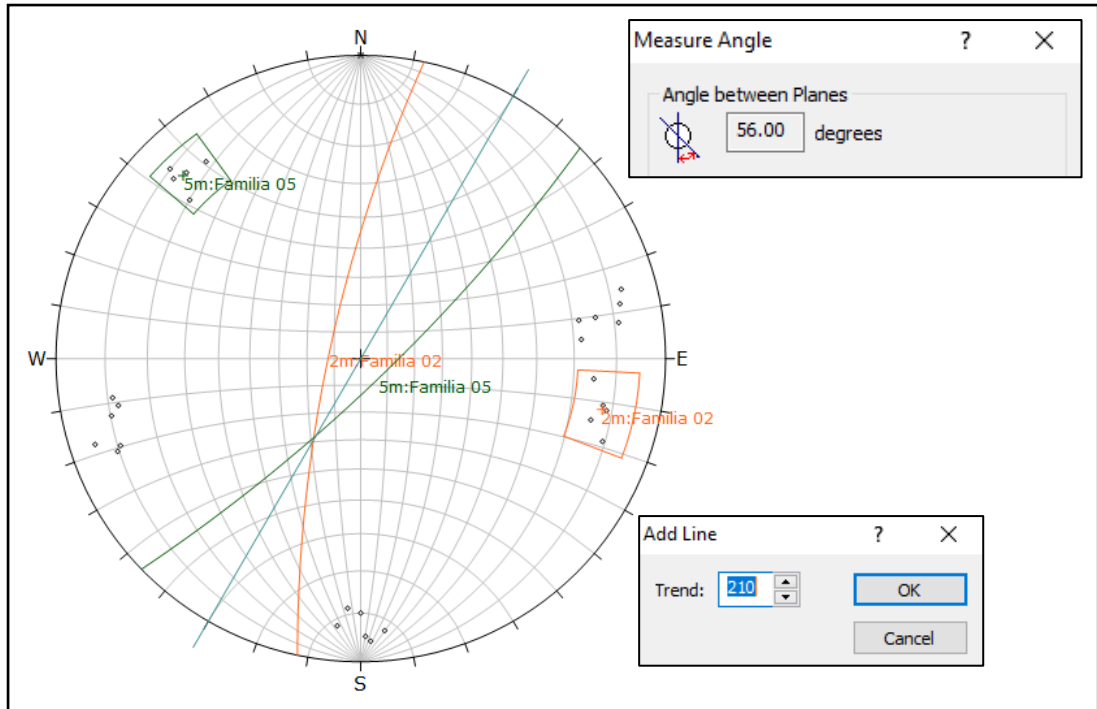
- Direccion de buzamiento y buzamiento de la intercepción de los planos de la familia 02 y 03.



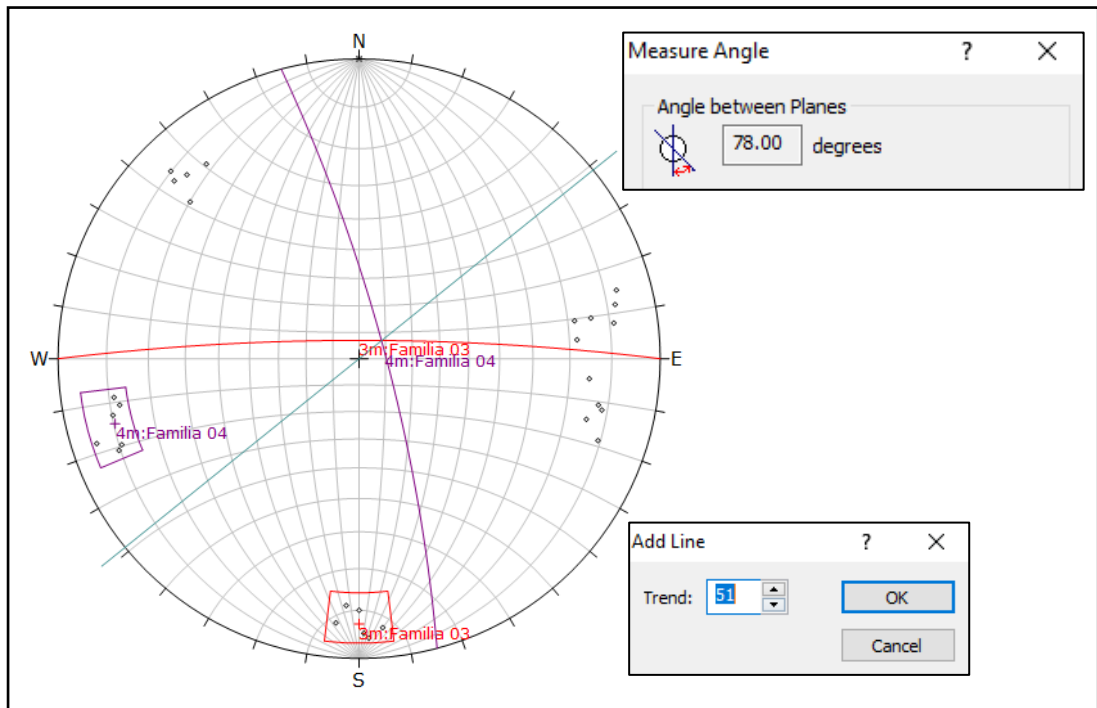
- Direccion de buzamiento y buzamiento de la intercepción de los planos de la familia 02 y 04.



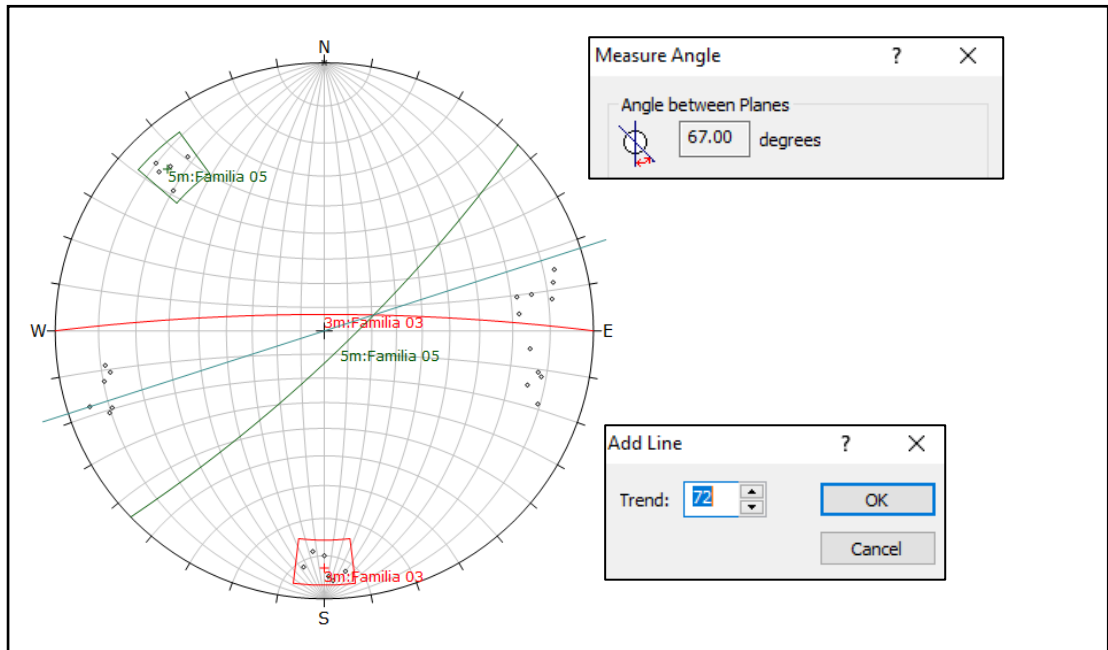
- Direccion de buzamiento y buzamiento de la intercepción de los planos de la familia 02 y 05.



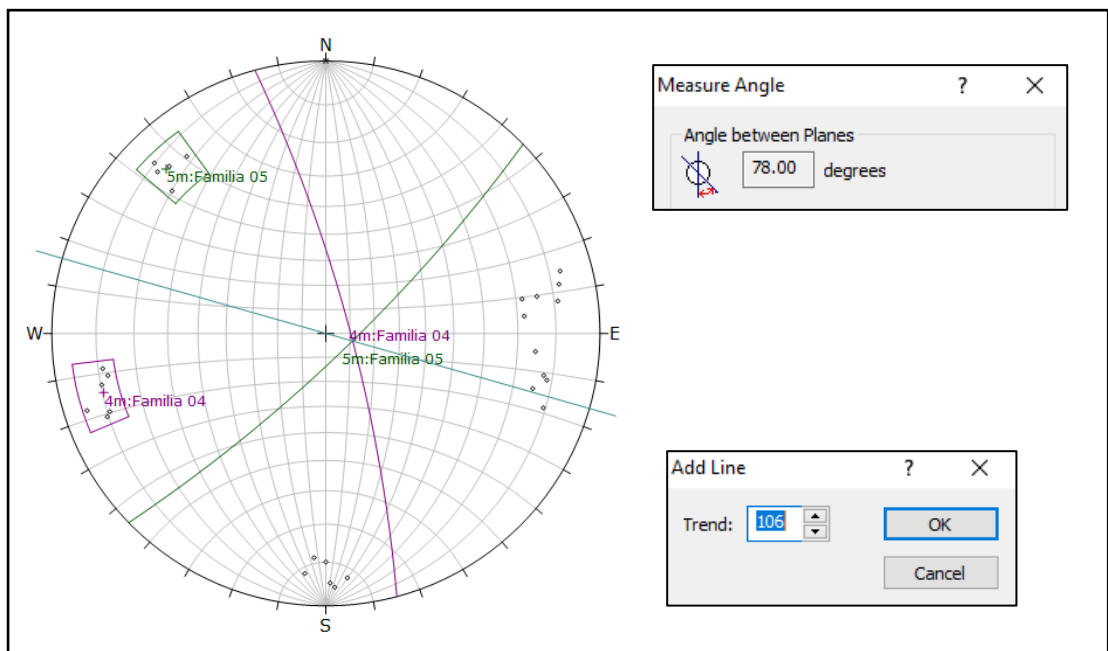
- Direccion de buzamiento y buzamiento de la intercepción de los planos de la familia 03 y 04.



- Direccion de buzamiento y buzamiento de la intercepción de los planos de la familia 03 y 05.



- Direccion de buzamiento y buzamiento de la intercepción de los planos de la familia 04 y 05.



Anexo 07: Formato del Qslope para rotura planar.

Qslope - Rotura Planar

UBICACIÓN : Jr. 06 de enero
OBSERVADOR : José Luis Arones Apestegui
FECHA: 30/12/2020



Datos generales

Altura del talud (m)	85	Inclinación (°):	83
Peso específico roca (MN/m ³)	0.025	Resistencia a compresión simple (MPa)	75

Parámetro		Valoración (puntuación)
RQD (%)	74%	74
Jn (Índice de diaclasado):	Tres familias de juntas y otras aleatorias	12
Jr (Índice de rugosidad):	Rugosas o irregularidades, onduladas	3
Ja (Índice de alteración):	Rellenos arcillosos fuertemente sobreconsolidados no reblandecibles	6
O factor	Muy desfavorable	0.5
Jwice (agua, hielo, ambiente):	Estructura estable, roca competente	0.7
SRF slope (efectos tensionales):	Bloques sueltos, signos de grietas de tracción y movimiento de juntas, susceptibilidad a la meteorización. Alteración importante por voladura.	5 - 2.5
	SRFa	
	SRFb	$\frac{\sigma_c}{\sigma_v} = \frac{75 \text{ Mpa}}{(0.025 \text{ MN/m}^3) * 83} = 35$
	SFRc	Discontinuidad principal con muy poco o sin arcilla
		8

Anexo 08: Formato del Qslope para rotura cuña.

Qslope - Rotura en Cuña

UBICACIÓN : Jr. 06 de enero
 OBSERVADOR : José Luis Arones Apestegui
 FECHA: 30/12/2020



Altura del talud (m)			Inclinación (°):	83
85			Resistencia a compresión simple (MPa)	75
Peso específico roca (MN/m ³)				
0.025				
Parámetro			Valoración (puntuación)	
RQD (%)	74%			15
Jn (Índice de diaclasado):	Tres familias de juntas y otras aleatorias			12
	Junta A (principal).	Junta B (secundaria)		
Jr (Índice de rugosidad):	Rugosas o irregularidades, onduladas 3	Juntas discontinuas 4		
Ja (Índice de alteración):	Rellenos arcillosos fuertemente sobreconsolidados no reblandecibles 6	Rellenos arcillosos fuertemente sobreconsolidados no reblandecibles 6		
O factor	Muy desfavorable 0.5	Desfavorable 0.9		
Jwice (agua, hielo, ambiente):	Estructura estable, roca competente			0.7
SRF slope (efectos tensionales):	SRFa	Bloques sueltos, signos de grietas de tracción y movimiento de juntas, susceptibilidad a la meteorización. Alteración importante por voladura		5
	SRFb	$\frac{\sigma_c}{\sigma_v} = \frac{75 \text{ Mpa}}{(0.025 \text{ MN/m}^3) * 83} = 35$		5 - 2.5
	SFRc	Discontinuidad principal con muy poco o sin arcilla		8

Anexo 09: Formato del Qslope para rotura cuña.

Qslope - Rotura en vuelco

UBICACIÓN : Jr. 06 de enero
 OBSERVADOR : José Luis Arones Apestegui
 FECHA: 30/12/2020



Altura del talud (m)

85

Inclinación (°):

83

Peso específico roca (MN/m³)

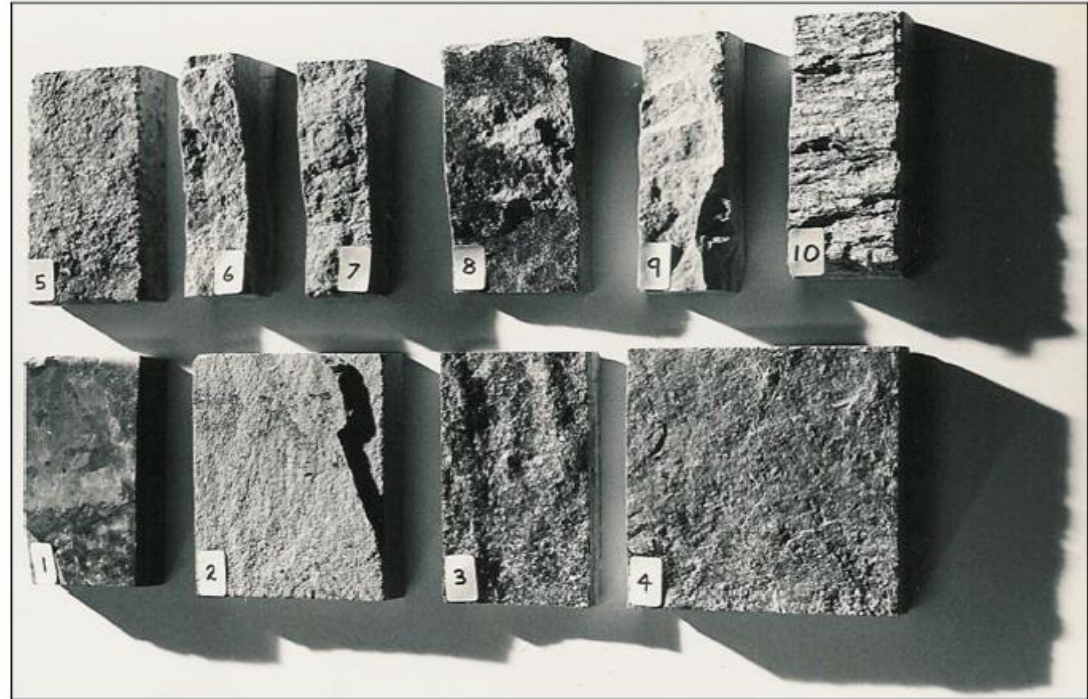
Resistencia a compresión simple (MPa)

75

Parámetro	Valoración (puntuación)	
RQD (%)	74%	74
Jn (Índice de diaclasado):	Tres familias de juntas y otras aleatorias	12
Jr (Índice de rugosidad):	Rugosas o irregularidades, onduladas	3
Ja (Índice de alteración):	Rellenos arcillosos fuertemente sobreconsolidados no reblandecible	6
O factor	Causaría falla si no se sostiene	0.25
Jwice (agua, hielo, ambiente):	Estructura estable, roca competente	0.7
SRF slope (efectos tensionales):	SRFa	Bloques sueltos, signos de grietas de tracción y movimiento de juntas, susceptibilidad a la meteorización. Alteración importante por
	SRFb	$\frac{\sigma_c}{\sigma_v} = \frac{75 \text{ Mpa}}{(0.025 \text{ MN/m}^3) * 83} = 35$
	SRFc	Discontinuidad principal con muy poco o sin arcilla
		5 - 2.5
		8

Anexo 10: Grafico de la rugosidad de la roca.

	JRC	Rugosidad RMR
1	0 - 2	Espejo de falla
2	2 - 4	Lisa
3	4 - 6	
4	6 - 8	
5	8 - 10	Ligeramente Rugosa
6	10 - 12	
7	12 - 14	Rugosa
8	14 - 16	
9	16 - 18	Muy Rugosa
10	18 - 20	
0 5 10 cm		ESCALE



Anexo 11: Orientación de las discontinuidades.

- Determinando la línea de máxima pendiente en un plano de discontinuidad.



- Dirección de buzamiento de la discontinuidad (Dip Dirección).



- Buzamiento de la discontinuidad (Dip).



Anexo 12: Estimación de la resistencia de la roca con la picota de geólogo

- Golpeando la roca con la picota de geólogo.



- La roca es fracturada con dos golpes de la picota de geólogo.



Anexo 13: Numero de discontinuidades por metro lineal.

- Medición de un metro en el macizo rocoso.

