



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**RIESGO EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL MACIZO
ROCO SO POR LA EXPANSIÓN URBANA EN LA
CIRCUNVALACIÓN NORTE CUADRAS CUATRO AL OCHO –
PUNO**

TESIS

PRESENTADO POR:

Bach. CHRISTIAN YAVÉ MAMANI ANCCORI

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2024



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**RIESGO EN LA ESTABILIDAD DE TALUDE
S DEL MACIZO ROCOSO POR LA EXPASI
ÓN URBANA EN LA CIRCUNVALACIÓN**

AUTOR

CHRISTIAN YAVÉ MAMANI ANCCORI

RECuento DE PALABRAS

32579 Words

RECuento DE CARACTERES

173902 Characters

RECuento DE PÁGINAS

190 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

5.2MB

FECHA DE ENTREGA

Apr 17, 2024 1:08 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Apr 17, 2024 1:11 PM GMT-5

● 12% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 11% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

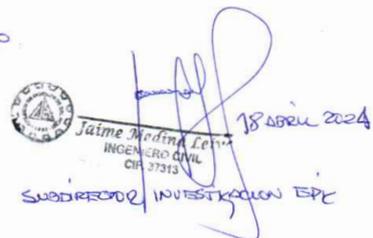
● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



Dr. Emilio Castillo Aroni
DOCENTE UNIVERSITARIO
CDD. UNA N° 920514

VOTO



Jaime Medina Lema
INGENIERO CIVIL
CIF. 37313
SUBDIRECCIÓN INVESTIGACION EPE
18 abril 2024

Resumen



DEDICATORIA

A mi padre Walter Mamani, por su apoyo incondicional, por enseñarme los principios, valores y respeto.

A mi madre Belinda Anccorí, por su amor puro, fortaleza que me ha brindado en todo en este proceso.

Que todos mis logros son gracias a ustedes.

A mis hermanas Ada y Dalía que son un gran motivo para seguir creciendo.

Christian Yave Mamani Anccorí



AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, y a mi Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por los años de formación académica.

A mi asesor el Dr. Mariano Roberto García Loayza por su apoyo incondicional y al M.Sc. Emilio Castillo Aroni por la ejecución y culminación de este proyecto.

A mis amigos Harold Calsina y Rigoberto Valeriano por su apoyo.

Christian Yave Mamani Ancorí



INDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
INDICE GENERAL	
INDICE DE FIGURAS	
INDICE DE TABLAS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN.....	18
ABSTRACT.....	19

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	21
1.2.1. Problema general.....	22
1.2.2 Problema específico	22
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
1.4.1 Objetivo general.....	23
1.4.2 Objetivo específico	23
1.5. HIPÓTESIS	24
1.5.1 Hipótesis general.....	24
1.5.2 Hipótesis específica.....	24

CAPITULO II

REVISION DE LITERATURA



2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	25
2.2. MARCO TEÓRICO	28
2.2.1. Mecánica de rocas	28
2.2.1.1. Características básicas de las rocas	29
2.2.1.2. Rotura frágil de las rocas.....	31
2.2.2. Talud	32
2.2.3. Consideraciones de taludes en roca	33
2.2.4. Factores que generan fallas	34
2.2.4.1. Aspectos geológicos.....	37
2.2.5. Propiedades físicas	40
2.2.6. Procedimientos para estudios	41
2.2.7. Mapeo superficial y descripción	42
2.2.7.1. Matriz rocosa.....	43
2.7.1.2. Discontinuidades	53
2.2.9. Proyección estereográfica	66
2.2.9.1. Tipo de proyecciones	67
2.2.9.2. Proyección estereográfica de un plano y su polo	69
2.2.9.3. Definición de términos geológicos.....	71
2.2.9.4. Gráfico de polos	73
2.2.9.5. Densidad de polos	74
2.2.9.5. Modos de rotura	75
2.2.11. Clasificación geomecánica del macizo rocoso.....	79
2.2.11.1. Índice de designación de la calidad de roca (RQD).....	80
2.2.11.2. Sistema de clasificación RMR	83
2.2.11.3. Método de índice GSI (Geological Strength Index)	84



2.2.12. Criterios de resistencia y deformación del macizo rocoso.....	86
2.2.12.1. Criterio de resistencia de Hoek-Brown.....	87
2.2.12.2. Criterio de resistencia de Mohr Coulomb.....	89
2.2.13. Análisis de la estabilidad de taludes.....	91
2.2.14. Métodos para el análisis de la estabilidad de taludes.....	91
2.2.14.1. Métodos empíricos.....	92
2.2.14.2. Método cinemático.....	94
2.2.14.3. Método de equilibrio limite.....	98
2.2.14.4. Método numérico.....	111
2.2.14.5. Método estadístico.....	112
2.2.2. La expansión urbana.....	112
2.2.2.1. Demografía.....	113
2.2.2.2. Vivienda.....	113
2.2.2.3. Cargas.....	113
2.3. MARCO CONCEPTUAL.....	114
2.3.1. Estabilidad de taludes.....	115
2.3.2. Clasificación geomecánica.....	115
2.3.3. Macizo rocoso.....	115
2.3.4. Talud.....	115
2.3.5. Buzamiento.....	115
2.3.6. Dirección de buzamiento.....	115
2.3.7. Factor de seguridad.....	116
2.3.8. Discontinuidad.....	116
2.3.9. Meteorización.....	116
2.3.10. Tipo de rotura.....	116



2.3.11. Resistencia a la compresión simple	116
2.3.12. Tilt test	116
2.3.13. Expansión urbana	117

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	118
3.1.1. Enfoque de la investigación	118
3.1.2. Alcance de la investigación.....	118
3.1.3. Diseño de investigación	118
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	118
3.2.1. Población.....	118
3.2.2. Muestra.....	119
3.3. DEFINICIÓN DE VARIABLES	119
3.3.1. Variable dependiente.....	119
3.3.2. Variable independiente	119
3.3.3. Operacionabilidad de variables	119
3.4. RECOLECCIÓN DE DATOS	121
3.4.1. Etapa de campo	121
3.5. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	123
3.6. MATERIALES.....	124
3.7. DESCRIPCIÓN DEL TRAMO DE ESTUDIO	125
3.7.1. Ubicación	125
3.7.2. Acceso	125
3.7.3. Clima y meteorología.....	126
3.7.4. Geología	127



3.7.4.1. Geología local	127
3.7.4.2. Geología regional	129
3.7.5. Geodinámica	132
3.7.5.1. Geodinámica interna	133
3.7.5.2. Geodinámica externa.....	134

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EXPLORACIÓN DE LA ZONA.....	136
4.2. MAPEO GEOLÓGICO	137
4.3. CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA.....	137
4.3.1. Orientación de las discontinuidades.....	137
4.3.2. Resistencia de la compresión	137
4.3.3. RQD (Rock Quality Designation).....	138
4.3.4. Espaciamiento	140
4.3.5. Continuidad.....	141
4.3.6. Abertura	141
4.3.7. Rugosidad.....	142
4.3.8. Relleno	143
4.3.9. Meteorización.....	144
4.3.10. Condiciones hidrogeológicas	145
4.3.11. Coeficiente de rugosidad de las juntas	146
4.4. ENSAYOS DE LABORATORIO.....	147
4.4.1. Propiedades Físicas	147
4.4.2. Resistencia a la compresión simple	148
4.4.3. Tilt test	149



4.5. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO	150
4.5.1. Clasificación RMR (Rock Mass Rating)	150
4.5.2. Clasificación por el método GSI (Índice de Resistencia Geológica).....	151
4.6. VALORACIÓN GEOTÉCNICA DEL MACIZO ROCOSO	152
4.6.1. Criterio de resistencia generalizado de Hoek – Brown.....	152
4.6.2. Criterio de resistencia de Barton – Bandis y Mohr - Coulomb.....	154
4.7. EXPANSIÓN URBANA.....	156
4.5.1. Superficie urbanizada y metrado de carga	156
4.8. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES	159
4.8.1. Método cinemático.....	159
4.8.2. Método de equilibrio limite.....	166
4.9. VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS	172
4.10. PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN PARA EL TALUD	177
4.11. DISCUSIÓN	179
V. CONCLUSIONES.....	181
VI. RECOMENDACIONES	182
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	183
ANEXOS.....	188

Área: Geotecnia

Tema: Desplazamientos Suelos y Taludes

Línea de investigación: Geotecnia

Fecha de sustentación: 02 de mayo del 2024



INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Descripción del grado de meteorización.....	45
Tabla 2 Evaluación del grado de meteorización del macizo rocoso.....	46
Tabla 3 Reducciones del martillo	49
Tabla 4 Estimación de la resistencia.....	50
Tabla 5 Medidas del espaciado.....	59
Tabla 6 Medidas de la continuidad.....	60
Tabla 7 Medidas de la abertura.....	61
Tabla 8 Descripción de la granulometría del material de relleno	65
Tabla 9 Detalles de las filtraciones en las discontinuidades.....	66
Tabla 10 Índice de calidad del macizo rocoso.....	81
Tabla 11 Relación RQD y frecuencia lineal de discontinuidades.....	81
Tabla 12 Valoración del macizo rocoso.....	84
Tabla 13 Condición para determinar el parámetro "D" en taludes.....	88
Tabla 14 Operacionalidad de la variable independiente.....	120
Tabla 15 Operacionabilidad de la variable dependiente.....	120
Tabla 16 Operacionabilidad de la variable dependiente.....	121
Tabla 17 Acceso a la zona de investigación.....	125
Tabla 18 Coordenadas UTM del área de estudio.....	126
Tabla 19 Formaciones geológicas en la zona de estudio.....	128
Tabla 20 Valores promedio del ensayo UCS.....	138
Tabla 21 Datos recopilados del índice de calidad del macizo rocoso.....	139
Tabla 22 Datos recopilados del espaciamiento.....	140
Tabla 23 Datos recopilados de la continuidad	141
Tabla 24 Datos recopilados de la abertura	142
Tabla 25 Datos recopilados de la rugosidad.....	143
Tabla 26 Datos recopilados del relleno	144
Tabla 27 Datos recopilados de la meteorización del macizo.....	145
Tabla 28 Datos recopilados de las condiciones hidrológicas del macizo rocoso.....	146
Tabla 29 Coeficiente de rugosidad de junta en cada zona.....	147
Tabla 30 Resultado del ensayo de propiedades físicas.....	148



Tabla 31	Resultados del ensayo de resistencia a la compresión simple.	149
Tabla 32	Resultados del ensayo de Tilt test.....	150
Tabla 33	Resultados de valores RMR para cada zona.....	151
Tabla 34	Resultados de valores GSI para cada zona.	152
Tabla 35	Datos introducidos para el criterio de Hoek – Brown generalizado.....	152
Tabla 36	Datos obtenidos por el criterio de Hoek – Brown generalizado.....	153
Tabla 37	Datos obtenidos de parámetros del macizo rocoso.....	154
Tabla 38	Datos introducidos para criterio de Barton – Bandis y Morh – Coulomb...	155
Tabla 39	Datos obtenidos del criterio de Barton – Bandis y Morh – Coulomb.	155
Tabla 40	Área urbanizada y carga de la zona 5 manzana “A”.	156
Tabla 41	Área urbanizada y carga de la zona 4 manzana “B”.....	157
Tabla 42	Área urbanizada y carga de la zona 4 manzana “C”.....	158
Tabla 43	Área urbanizada y carga de la zona 04 manzana “D”.....	158
Tabla 44	Área urbanizada y carga de la zona 4 manzana “E”.....	159
Tabla 45	Área urbanizada y carga de la zona 4 manzana “F”.	159
Tabla 46	Datos introducidos para la estereografía de la zona – 01.	160
Tabla 47	Datos obtenidos para la estereografía de la zona – 01.....	161
Tabla 48	Datos introducidos para la estereografía de la zona – 02.	161
Tabla 49	Datos obtenidos para la estereografía de la zona – 02.....	162
Tabla 50	Datos introducidos para la estereografía de la zona – 03.	162
Tabla 51	Datos obtenidos para la estereografía de la zona – 03.....	163
Tabla 52	Datos introducidos para la estereografía de la zona – 04.	163
Tabla 53	Datos obtenidos para la estereografía de la zona – 04.....	163
Tabla 54	Datos introducidos para la estereografía de la zona – 05.	164
Tabla 55	Datos obtenidos para la estereografía de la zona – 05.....	165
Tabla 56	Factor de seguridad para cada talud de las 05 zonas.	165
Tabla 57	Datos introducidos para el equilibrio límite de la zona – 01.	166
Tabla 58	Datos obtenidos por el equilibrio límite de la zona – 01.	167
Tabla 59	Datos introducidos para el equilibrio límite de la zona – 02.	167
Tabla 60	Datos obtenidos por el equilibrio límite de la zona – 02.	168
Tabla 61	Datos introducidos para el equilibrio límite de la zona – 03.	168
Tabla 62	Datos obtenidos por el equilibrio límite de la zona – 03.	169
Tabla 63	Datos introducidos para el equilibrio límite de la zona – 04.	169
Tabla 64	Datos obtenidos por el equilibrio límite de la zona – 04.	170



Tabla 65	Datos introducidos para el equilibrio límite de la zona – 05.	170
Tabla 66	Datos obtenidos por el equilibrio límite de la zona – 05.	171
Tabla 67	Resumen del Factor de seguridad.	171
Tabla 68	Tabla t-Student h1.....	173
Tabla 69	Tabla t-Student h2.....	174
Tabla 70	Tabla t-Student h3.....	176
Tabla 71	Factor de seguridad afectado por las cargas de las viviendas.	177
Tabla 72	Factor de seguridad afectado con el muro de contención.	179



INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Tipos de roturas de las rocas sometidas a compresión.....	32
Figura 2 Talud o ladera natural.....	33
Figura 3 Talud artificial.....	33
Figura 4 Modificación del perfil del talud a causa de la erosión.....	35
Figura 5 Perfil de talud con el factor lluvia.....	36
Figura 6 Fuerzas verticales y horizontales por el sismo.....	36
Figura 7 Fallas geológicas que debilitan al talud.....	37
Figura 8 Carga aplicada en la cima del talud.....	38
Figura 9 Corte de terreno en el talud.....	39
Figura 10 Fuerzas filtrantes.....	40
Figura 11 Fuerzas por el cambio de nivel.....	40
Figura 12 Etapas para realizar el estudio.....	42
Figura 13 Ábaco para el martillo Schmidt tipo "L".....	48
Figura 14 Ábaco de corrección para el ensayo de PLT.....	52
Figura 15 Esquema del ensayo de compresión simple.....	53
Figura 16 Representación de las propiedades geométricas de las discontinuidades.....	54
Figura 17 Medida de la dirección de buzamiento.....	55
Figura 18 Medida del buzamiento.....	56
Figura 19 Medida de la orientación de discontinuidades.....	56
Figura 20 Medida del espaciado.....	58
Figura 21 Medida del espaciado en una cara expuesta al afloramiento.....	58
Figura 22 Apertura de una discontinuidad.....	61
Figura 23 Ondulación y rugosidad de una superficie de discontinuidad.....	62
Figura 24 Perfiles de rugosidad.....	63
Figura 25 Método alternativo para estimar el JRC.....	64
Figura 26 Ejemplo de la proyección equiangular.....	68
Figura 27 Proyección equidistancial.....	69
Figura 28 Proyección plano y polo.....	70
Figura 29 Proyecciones de un plano.....	71
Figura 30 Intersección de planos.....	71



Figura 31	Definición de terminología geológica.	72
Figura 32	Términos empleados en la relación de la estereografía.	73
Figura 33	Gráfico de polos.	74
Figura 34	Agrupación de polos.	75
Figura 35	Proyección estereográfica de rotura plana.	76
Figura 36	Proyección estereográfica de rotura cuña.	77
Figura 37	Proyección estereográfica de rotura circular.	78
Figura 38	Proyección estereográfica de rotura por vuelco.	79
Figura 39	Carta para determinar el GSI.	85
Figura 40.	Carta para determinar el GSI (heterogéneos).	86
Figura 41	Una envolvente lineal y envolvente de Hoek - Brown.	88
Figura 42	Factor de seguridad en taludes estables e inestables.	93
Figura 43	Éxito y fracaso de pendientes de roca designados por fuerza de la roca.	94
Figura 44	Proyección estereográfica para falla planar con límites laterales de 20°.	95
Figura 45	Proyección estereográfica para una falla planar sin límites laterales.	95
Figura 46	Proyección estereográfica para una falla en cuña.	96
Figura 47	Proyección estereográfica para una falla de volteo.	97
Figura 48	Proyección estereográfica para una falla circular.	98
Figura 49	Clasificación de los métodos de cálculo de estabilidad de taludes.	99
Figura 50	Análisis de estabilidad en rotura planar.	100
Figura 51	Caso a, grieta de tracción en la superficie superior del talud.	103
Figura 52	Caso b, grieta de tracción en el talud.	103
Figura 53	Definición geométrica de la cuña.	104
Figura 54	Discontinuidad de rotura.	105
Figura 55	Estabilidad de un bloque rectangular aislado.	106
Figura 56	División de la masa deslizante de una posible rotura.	108
Figura 57	Esquema de fuerzas y algunos aspectos geométricos.	109
Figura 58	Mapa sísmico del Perú	133
Figura 59	Curvas de nivel de la zona de estudio.	136
Figura 60	Histograma 3D del RQD de las 05 zonas.	139
Figura 61	Histograma 3D del espaciamiento de las 05 zonas.	140
Figura 62	Histograma 3D de la continuidad de las 05 zonas.	141
Figura 63	Histograma 3D de la abertura de las 05 zonas.	142
Figura 64	Histograma 3D de la rugosidad de las 05 zonas.	143



Figura 65 Histograma 3D del relleno en las discontinuidades de las 05 zonas.	144
Figura 66 Histograma 3D del relleno en las discontinuidades de las 05 zonas.	145
Figura 67 Histograma de las condiciones hidrológicas de las 05 zonas.	146
Figura 68 Región de aceptación h1.....	173
Figura 69 Región de aceptación h2.....	175
Figura 70 Región de aceptación h3.....	176
Figura 71 Dimensiones del muro de contención.	178
Figura 72 Aplicación del muro de contención en el perfil analizado.	178



ACRÓNIMOS

GSI:	Índice de Resistencia Geológica
RQD:	Rock Quality Designation
UCS:	Resistencia a la Compresión Uniaxial
JRC:	Coficiente de Rugosidad de discontinuidad
KPa:	Kilo pascales
kN/m ³ :	Kilo Newton por metro cubico
D:	Factor de disturbancia
Buz:	Buzamiento
Direc. buz:	Dirección de buzamiento
c:	Cohesión
FS:	Factor de seguridad
UTM:	Universal Transverse Mercator



RESUMEN

El presente estudio tiende a conocer el problema de la construcción de edificaciones en el macizo rocoso de la Circunvalación Norte de la ciudad de Puno, lo que viene generando inseguridad en los residentes de la zona de estudio, por el riesgo que representa una posible falla, debido a los diferentes factores que afectan al macizo rocoso; este hecho ha generado plantear como tema de investigación el riesgo en la estabilidad de taludes del macizo rocoso por la expansión urbana, habiéndose considerado como un tramo crítico entre la cuarta y octava cuadra de la circunvalación norte. Por lo que el objetivo de la investigación es determinar si la expansión urbana sobre el macizo rocoso de la Circunvalación Norte cuadras cuatro al ocho - Puno, genera riesgo en la estabilidad de taludes. Aplicando la metodología de investigación con enfoque cuantitativo, alcance descriptivo y diseño no experimental. La población estuvo constituida por 15.80 ha; la muestra fue no probabilística de 4.00 ha, dividiendo en 05 zonas; se aplicaron los métodos de análisis cinemático donde se determinó con modos de falla planar y cuña los valores del factor de seguridad de 1.52, 1.52, 2.01, 2.14, 10.62, 1.55, 3.39 y 3.14 y equilibrio límite considerando la falla no circular se tuvo factores de seguridad de 1.33, 1.33, 1.46, 1.28, 1.12, 1.40, 2.34, 2.64, 1.99 y 1.67. indicando en los resultados que las zonas 01, 02 y 03 son propensos a fallar. Finalmente se concluyó que, la expansión urbana genera riesgo en la estabilidad de taludes en las zonas 01, 02 y 03, ya que contienen el valor de factor de seguridad por debajo de 1.25 que, al construirse viviendas de 3 a 4 niveles a más, se tendrá un peligro de deslizamiento en el talud.

Palabras claves: Discontinuidad, Estabilidad, Expansión urbana, Geomecánica, Macizo.



ABSTRACT

The present study tends to know the problem of the construction of buildings in the rock mass of the Northern Beltway of the city of Puno, which has been generating insecurity in the residents of the study area, due to the risk that a possible failure represents. due to the different factors that affect the rock mass; This fact has led to the risk in the stability of slopes of the rock mass due to urban expansion being raised as a research topic, having been considered a critical section between the fourth and eighth blocks of the northern beltway. Therefore, the objective of the investigation is to determine if the urban expansion on the rock mass of the Northern Beltway blocks four to eight - Puno, generates risk in the stability of slopes. Applying research methodology with a quantitative approach, descriptive scope and non-experimental design. The population consisted of 15.8 ha; The sample was non-probabilistic of 4.0 ha, dividing into 05 zones; Kinematic analysis methods were applied where the values of the safety factor of 1.52, 1.52, 2.01, 2.14, 10.62, 1.55, 3.39 and 3.14 were determined with planar and wedge failure modes and limit equilibrium considering the non-circular failure. security of 1.33, 1.33, 1.46, 1.28, 1.12, 1.40, 2.34, 2.64, 1.99 and 1.67. indicating in the results that zones 01, 02 and 03 are prone to failure. Finally, it was concluded that urban expansion generates risk in the stability of slopes in zones 01, 02 and 03, since they contain a safety factor value below 1.25 which, when housing is built with 3 to 4 levels or more, there will be a danger of sliding on the slope.

Keywords: Discontinuity, Stability, Urban expansion, Geomechanics, Massif



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Según Gonzales (2004) los taludes tienen un impacto importante en la ingeniería, ya que está en la mayor parte de trabajos de construcción. El análisis de la estabilidad de taludes en obras de ingeniería se proyecta para corto y largo plazo, donde tienen que ser seguros ante cualquier tipo de falla a presentarse, sea el material suelo o roca. Como menciona Pérez (2005) que los agentes externos también son responsables de la inestabilidad aplicando cargas externas. A ello se puede sumar sobrecargas estáticas, fuerzas dinámicas, condiciones hidrológicas, propiedades del macizo rocoso. donde todo ello debe analizarse para una mayor determinación del factor de seguridad y definir su tipo de medida correctora o estabilizadora a aplicarse.

En la actualidad para realizar los análisis de taludes, se tiene diferentes tipos de métodos y técnicas para determinar el factor de seguridad tanto caracterizando al macizo rocoso y sus posibles fallas a presentarse. Se tiene el método cinemático, equilibrio limite siendo estos los más utilizados. Estos estudios a realizarse están orientados a alcanzar tanto la seguridad y lo económico.

La expansión urbana es el resultado que se tiene del cruce de la información del territorio con las necesidades de vivienda insatisfecha con proyección al futuro. Zonas a urbanizarse a largo tiempo, la cual esto presenta una fuerza externa que afecta al talud. Para la presente investigación se analiza la estabilidad de taludes del macizo rocoso que se encuentra en las cuadradas cuatro al ocho de la Av. Circunvalación norte a partir de la expansión urbana, dividiendo el trabajo en 04 capítulos, las cuales son capítulo 1: introducción, capítulo 2: revisión de la literatura, capítulo 3: materiales y métodos y capítulo 4: resultados y discusión.



1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La expansión urbana tanto en la zona geográfica como en la población se muestran propensos al crecimiento. Así mismo es la variación de población de una zona durante un periodo de tiempo determinado Raffino (2020). La cual es un factor primario en la estabilidad de taludes ya que con ello afecta directamente; este problema se suscita en la ciudad de Puno.

La presente investigación se concentra en el macizo rocoso de la Circunvalación Norte cuadras cuatro al ocho de la ciudad de Puno; en dicho lugar a puesto inseguridad a los ciudadanos ya que a futuro podría ocurrir una serie de fallas causando pérdida de vidas humanas, económicas y sociales. Sin embargo, para analizar el problema se presentó la siguiente investigación denominada el riesgo de la estabilidad de taludes del macizo rocoso en la zona mencionada. Las zonas seleccionadas para el estudio tienen una posibilidad de presentar fallas en el talud por las cargas a presentarse. El objetivo es determinar si la expansión urbana sobre el macizo rocoso genera riesgo en la estabilidad de taludes.

El estudio de taludes en macizos rocosos es un tema fundamental en la geotecnia y de gran importancia en la ingeniería como por ejemplo en el transporte, presas, cimentaciones de una estructura, etc. Los estudios que se vienen aplicando, conceptos de cinemática, equilibrio limite y elementos finitos. Estos conceptos consideran factores como la resistencia del suelo, la geometría d talud y las cargas aplicadas. El factor de seguridad compara las fuerzas que actúan para causar inestabilidad con las fuerzas que actúan para resistirla.

En base a lo mencionado se realizó la siguiente formulación del problema.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA



1.2.1. Problema general

- ¿Será la expansión urbana sobre el macizo rocoso de la Circunvalación Norte cuadras cuatro al ocho - Puno, la que genere riesgo en la estabilidad de taludes?

1.2.2. Problema específico

- ¿Cómo varía la clasificación geomecánica del macizo rocoso en la Circunvalación Norte cuadras cuatro al ocho - Puno?
- ¿Cuánto es la sobrecarga generada por la expansión urbana en el macizo rocoso de la Circunvalación Norte cuadras cuatro al ocho - Puno?
- ¿Será el factor de seguridad del macizo rocoso que garantice la estabilidad de taludes en la Circunvalación Norte cuadras cuatro al ocho - Puno?

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El fin de esta investigación es determinar si la expansión urbana sobre el macizo rocoso de la Circunvalación Norte cuadra cuatro al ocho – Puno, es la que genera el riesgo en la estabilidad de taludes. Como Zabala & Rosado (2011) menciona que es fundamental contar con antecedentes geológicos que permitan caracterizar los posibles planos de deslizamiento y el grado de meteorización del macizo rocoso. Según Pérez (2005) que se debe realizar un análisis de estabilidad de talud frente a roturas planas o cuñas. El aumento de construcciones en edificaciones es dado por la necesidad de los ciudadanos para un mayor confort de vida la cual esto involucra al macizo rocoso directamente generando riesgo al talud. Estas edificaciones generan movimiento económico ya que serán destinados a supermercados, comercio minorista, comercio vivienda, servicios turísticos, hospedajes, entre otros y también la urbanización de la zona con la expansión, permitir centros educativos y hospitales.



En la ciudad de Puno se da la expansión urbana en los límites de la ciudad al transcurrir los años. En el barrio Las cruces, los ciudadanos construyen sus viviendas sobre los taludes de macizos rocosos, la cual tiende a producir inseguridad por parte de los ciudadanos ya que a futuro puede sufrir una serie de posibles fallas o deslizamiento de rocas, por la cual perjudicarían en tanto vidas humanas, económicas y social. No se tiene información de ningún trabajo de esta zona de investigación, para la cual se plantea el presente estudio para así conocer diferentes parámetros geotécnicos con ellos anticipar desastres.

Estos taludes en macizos rocosos se localizan en las laderas del cerro Azogini con una pendiente hacia el centro de la ciudad de Puno, debido a ello favorece a posibles deslizamientos, fallas en el talud de macizos rocosos. Según Mancera (2010) Realizó el análisis de estabilidad de taludes para determinar las fuerzas inestables y así proponer el diseño de soporte artificial para proveer seguridad al corte. En ese sentido la construcción de edificaciones que se da a causa de la expansión urbana son de distintos niveles la cual genera un riesgo constante que ocasionaría la inestabilidad de taludes en diferentes sectores de las cuadras cuatro a ocho en la Circunvalación Norte del barrio Las Cruces de la ciudad de Puno.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

- Determinar si la expansión urbana sobre el macizo rocoso de la Circunvalación Norte cuadras cuatro al ocho - Puno, genera riesgo en la estabilidad de taludes.

1.4.2. Objetivo específico



- Determinar la variación de la clasificación geomecánica del macizo rocoso en la Circunvalación Norte cuadras cuatro al ocho – Puno.
- Calcular la sobrecarga generada por la expansión urbana en el macizo rocoso de la Circunvalación Norte cuadras cuatro al ocho – Puno.
- Evaluar si el factor de seguridad del macizo rocoso garantiza la estabilidad de taludes en la Circunvalación Norte cuadras cuatro al ocho – Puno.

1.5. HIPÓTESIS

1.5.1. Hipótesis general

- La expansión urbana sobre el macizo rocoso de la Circunvalación norte cuadras cuatro al ocho - Puno, genera riesgo en la estabilidad de taludes.

1.5.2. Hipótesis específica

- La clasificación geomecánica del macizo rocoso varía ente regular y mala en la circunvalación norte cuadras cuatro al ocho – Puno.
- La sobrecarga generada por la expansión urbana en el macizo rocoso de la Circunvalación Norte cuadras cuatro al ocho - Puno, es mayor a 20 tn/m².
- El factor de seguridad del macizo rocoso no garantiza la estabilidad de taludes en la Circunvalación Norte cuadras cuatro al ocho – Puno.



CAPITULO II

REVISION DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Espinoza (2019) en su trabajo de grado cuyo objetivo fue determinar los factores de seguridad de los diferentes taludes analizados en la carretera de Huánuco, la metodología fue nivel aplicado, enfoque mixto, tipo de investigación descriptiva y la muestra 15 kilómetros, determinando zonas específicas de posibles fallas. En sus resultados determino que 08 taludes de su zona de estudio eran inestables ya que determino según su análisis factores de seguridad menores a 1.0

Puma & Molle (2022) en su trabajo de grado que tuvieron como objetivo determinar los factores de seguridad que presenta los taludes analizados en el camino vecinal – San Gaban. En conclusiones determina que los factores de seguridad halladas por el método equilibrio limite las cuales determino por cinco métodos obteniendo 03 taludes estables con 1.67, 2.07, 2.30 y 07 taludes inestables con valores menores a 1.46

Herrera & Montañez (2022) en su trabajo de grado plantearon el objetivo de determinar el factor de seguridad del talud en el sector de Mullaca, Tarica, Huaraz, Ancash. Teniendo como tipo de investigación aplicado, diseño descriptivo, enfoque cuantitativo. Con una muestra de km 00+210 al km 00+590. Teniendo como conclusión utilizada el análisis de estabilidad por el método de equilibrio límite mediante las ecuaciones de Bishop Simplificado y el método Spencer hallando sus factores de seguridad de 0.579 y 0.574 determinando inestable el talud.

Moreno (2021) en su trabajo de grado se planteó realizar el estudio geológico y la caracterización de los parámetros de los macizos rocosos ubicados en la carretera HU-



6400, en El Granado – Huelva. Describió y caracterizo al macizo a través de las clasificaciones geomecánicas de Bieniawski RMR de 1989 como también determino los tipos de rotura presentadas en los taludes que estudio. por la cuales concluyo que el macizo rocoso según el RMR era de clase II de calidad buena reconociendo 05 familias de discontinuidades y que los taludes presentan rotura en cuña.

Puma (2022) en su trabajo de grado donde como objetivo general planteo realizar una evaluación geomecánica de los taludes de roca entre los kilómetros 00+229 al 00+231 de la carretera Sandía a Quiquira. Para la cual establece determinar sus propiedades a partir del mapeo geológico, determinar su análisis cinemático mediante 03 estaciones y calcular los factores de seguridad tanto estático como pseudoestático para cada una de las estaciones geomecánicas. Teniendo como metodología empleada en su investigación no experimental de tipo descriptivo y cualitativo. Determinando que los taludes con clase media con RMR de 56, 55, 52. Y el factor de seguridad calculando mediante el software Swedge teniendo como valores determinados 1.4, 1.3, 1.4 y en análisis pseudoestático 1.0, 1.1, 1 determinando inestable al talud.

Valeriano (2019) en su trabajo de grado donde como objetivo analizo los métodos de estabilidad de taludes en rocas, como también realizar la caracterización geológica como también clasificar geotécnicamente al macizo rocoso y la interacción de los diferentes métodos que realizo para sus análisis de estabilidad de taludes. Concluyo que el RMR 48.80 y con GSI de 43 a 72. Con el método cinemático determino fallas de mayor probabilidad el tipo flexural con 15.74% y oblicuo con 31.19%, por debajo de ello la falla planar con el 28.57% en una de sus familias. El factor de seguridad por el método de equilibrio limite teniendo 0.95 para el sector con probabilidad de falla planar, y de factor de seguridad mayores a 1.30 para condiciones estáticas y 1.20 para condiciones pseudoestático en los tramos de posible falla por vuelco.



Salazar (2019) en su trabajo de grado plantea evaluar el comportamiento geotécnico de los macizos rocoso y definir la inestabilidad de taludes que presenta. Teniendo como metodología de investigación descriptiva, comparativas y explicativas. Con una muestra de km 142+00 a km 150+00. Concluyendo que el comportamiento geomecánico del macizo rocoso con valores de GSI: 53, 72 y 55 en sus tramos de análisis. con factor de seguridad pseudoestatico de 0.809, 0.480 y 0.727. Presentando una rotura planar y cuña con una probabilidad del 100%.

Rodrigo (2017) en su trabajo de grado denominado Análisis de estabilidad de taludes en la carretera Lajas – Ajipampa. Teniendo de objetivo caracterizar y determinar el factor de seguridad en su talud de estudio. Con una metodología descriptiva y explicativa no experimental. Con una muestra de 03+250 km de la carretera Lajas – Ajipampa. Por la cual concluyó que el factor de seguridad determinado es de 1.086, 1.570 y 0.716 por la cual son inestables y propuso canales de coronación, corte en el talud y gaviones para los diferentes sectores.

Albino (2016) en su trabajo de grado, denominado Propuesta de un sistema de estabilización en el KM 1+670 al 1+720 de la carretera Huaraz – Paria, realizó un análisis del talud natural donde calculo el factor de seguridad de los 2 perfiles del talud, obteniéndose un factor de seguridad que se encuentra por debajo de la unidad; con lo cual concluimos que el talud es inestable y es vulnerable a fallar en estado natural y más aún en un evento sísmico.

Carnero (2011) en su trabajo de grado denominado Estudio geotécnico para la estabilidad de taludes en la carretera: Patahuasi – Yauri – Sicuani tramo: el Descanso – Langui”. Deduce del estudio que realizó un factor de seguridad teniendo el valor de 1.30 para un sistema estático y el valor de 1.00 para el cálculo de sistemas pseudoestatico realizado



con el software “Slide”, aplicando los métodos de Jambu Simplificado y de Bishop Simplificado, a ello comprobando con el método de Hoek – Brown.

Carrillo et al. (2002) en su artículo científico denominado Clasificación geomecánica y análisis estabilidad de taludes del macizo rocoso Coris, Cartago, Costa Rica. Concluyó que el macizo rocoso tiene valores de $RMR < 20$, $RQD = 23$ y $Q = 0.50$. donde se tiene como factor desfavorable para el macizo rocoso la orientación de discontinuidades, refiere también que la zona más crítica a presentar una falla seria cuando el talud sea paralelo al sistema de diaclasas, la cual presentara una mayor posibilidad de deslizamiento.

Azuarte (2004) en su trabajo de grado denominado Caracterización geológica y geomecánica de los macizos rocosos de la sección – Caucagua de la autopista Rómulo Betancourt, estado Miranda. Utilizó el método cinemático donde lectura las discontinuidades del macizo rocoso plasmando sus proyecciones estereográficas determinando fallas planares y cuña. Como también concluyo que tiene un macizo de calidad media a mala con clase III-IV, con ángulos de fricción de $25^\circ - 35^\circ$. Con un valor de GSI de 40. Recomienda en uso de ensayos de campo y laboratorio, así como el tilt test, compresión simple, corte directo.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Mecánica de rocas

Ciencia que estudia a las variedades de macizos rocosos, tanto sus propiedades físicas como fuerzas internas y externas que se aplican, determinar calidad del macizo y anticipar, controlar su comportamiento a lo largo de los años (Gonzales, 2004).



En varios lugares de aplicación de esta ciencia de mecánica de rocas, se observa cómo tiene su importancia en las obras civiles como túneles de vías, cimentaciones de grandes rasca cielos, muros de contención en presas y subterráneas como en minería y minería a tajo abierto. Con un propósito de estabilizar la zona de estudio y anticiparse desastres futuros ante diferentes escenarios de fuerzas aplicadas sobre ella.

2.2.1.1. Características básicas de las rocas

Como menciona Ramírez & Alejano (2004) que “las rocas se encuentran en un estado sólido, a las cuales las diferenciamos por las distintas composiciones que presentan como alteraciones que han presentado al transcurrir el tiempo por la cuales tenemos propiedades como la resistencia, densidad, humedad y permeabilidad” (p. 30). Algunas propiedades fundamentales de las rocas tenemos:

Densidad: la roca se puede diferenciar de la densidad natural, seca y húmeda. Ello también variará con respecto a su ubicación sea en el manto o corteza terrestre, la cual será una propiedad principal a diferenciar de las demás. Esta relación de masa sobre volumen es un dato fundamental para su respectivo estudio en la ingeniería geotécnica.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

Donde,

ρ = densidad.

m = masa analizada.

v = volumen.

Cuando la muestra fue sometida a a una temperatura de 110°C, se a evaporado el contenido de agua y su densidad seca seria:

$$\rho_s = \frac{m_s}{v_s} \quad (2)$$

Donde,

ρ_s = densidad seca.

m_s = masa seca.

v_s = volumen seco.

Humedad: es la relación que generalmente se menciona en porcentaje, agua interna que genera un peso adicional llenando los poros internos, y esa masa es evaporada en un horno en laboratorio a 110° de temperatura.

$$H = \frac{m_h}{m_s} \cdot 100 \quad (3)$$

Donde,

H = tanto por ciento de humedad

m_h = masa de agua contenida en la muestra

m_s = masa de roca seca

Porosidad: en una roca es el volumen de poros la cual se expresa en tanto por ciento del volumen total que se halla en el laboratorio. Como por ejemplo el caso de varios tipos sus poros son apreciados a simple vista y mientras tanto como en el granito se aprecia micro fisuras que produce poros con un promedio de 1%.

$$n = \frac{V_p}{V} \cdot 100 \quad (4)$$

Donde,

n = cantidad de poros

V_p =volumen

V =total

Grado de saturación: este dato se determina generalmente en porcentaje, el grado de saturación es la cantidad de poros ocupado por el agua. Cuando la muestra de roca esta seca $S_r=0$ y cuando está saturada $S_r=100$.

$$S_r = \frac{V_H}{V_p} \cdot 100 \quad (5)$$

Donde,

S_r =Grado de saturación

V_H =Volumen ocupado por el agua

V_p =Volumen total de poros

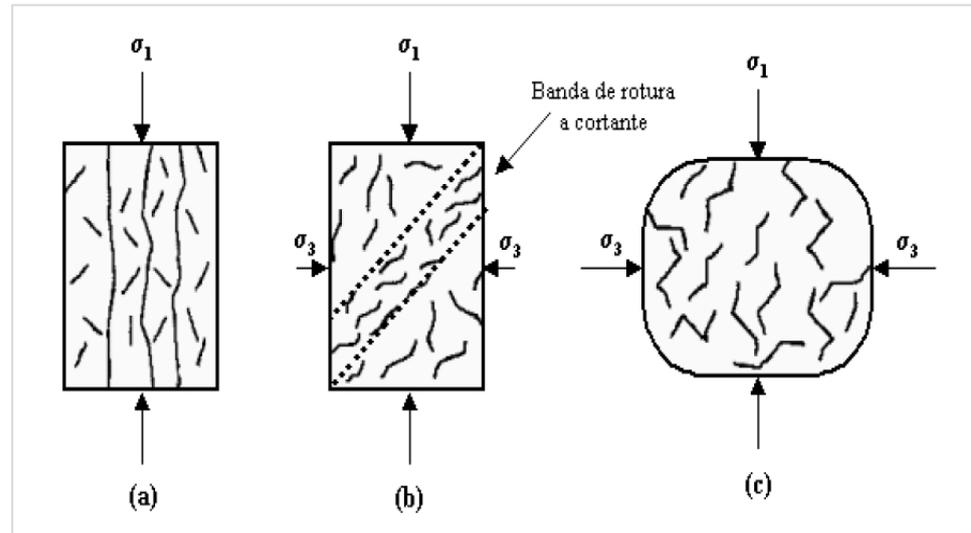
2.2.1.2. Rotura frágil de las rocas

Según Ramírez & Alejano (2004) las pequeñas fisuras, la porosidad de una roca puede en un campo tensional, generar unas nuevas grietas. El comportamiento de la roca variará con respecto a mencionado campo, mientras que la compresión simple genera normalmente fisuras en la misma dirección que la tensión (Figura 1a), una presión de confinamiento de corta escala puede preverse la amplitud inestable de las pequeñas fisuras verticales y hace que la probeta se rompa a lo largo de una superficie oblicua (Figura 1b), cuando la presión de confinamiento es

de grande magnitud, el crecimiento de las microgrietas se torna difícil y la probeta se deforma de un modo pseudo - dúctil, con grandes deformaciones y la intervención de muchas microgrietas (Figura. 1c).

Figura 1

Tipos de roturas de las rocas sometidas a compresión



Nota: tomado de Mecánica de rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes, elaborado por Ramírez & Alejano (2004,p. 35)

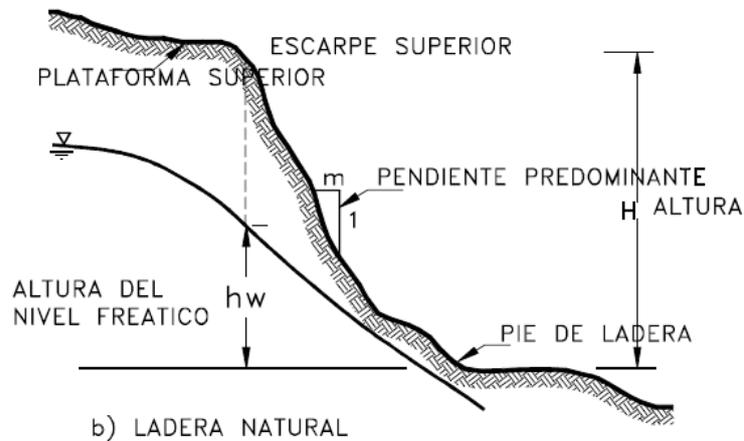
2.2.2. Talud

Es una masa de tierra la cual que posee cambios de alturas o desnivel, según Gerscocich (2016) menciona que “un talud es el nombre que obtiene una superficie con pendiente” (p. 15). Puede ser natural (Figura 2) o construida por el hombre (Figura 3).

Los taludes artificiales son el producto de la necesidad del hombre sobre todo para abrir espacio para de transporte, edificaciones, represas entre otros. Ante ello es necesario tener un control para los taludes permanentes, para los taludes de roca temporales también requieren la prevención de fallas por ciertos periodos.

Figura 2

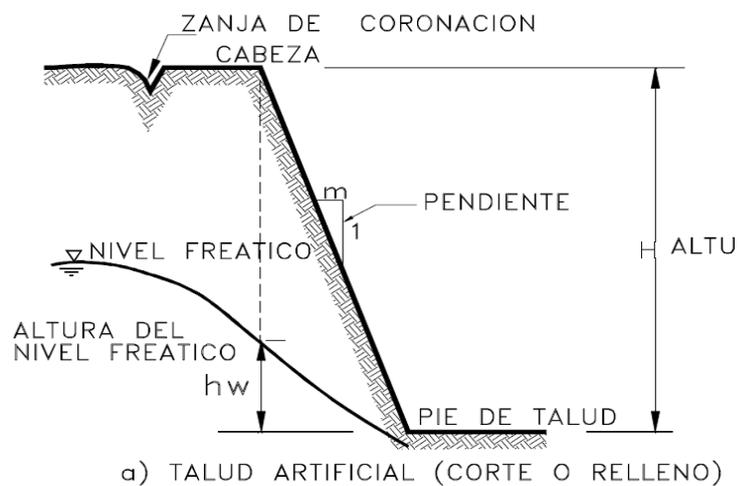
Talud o ladera natural



Nota: tomado de Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, elaborado por Suarez (2004).

Figura 3

Talud artificial



Nota: tomado de Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, elaborado por Suarez (2004).

2.2.3. Consideraciones de taludes en roca

La inestabilidad de taludes de rocas se traduce en un conjunto de movimientos, que pueden ser analizados por distintos métodos.



En la mayoría de problemas que se suscitan en taludes de roca se han producido en desmontes que se hacen en la elaboración de carreteras, como también en las grandes mineras a cielo abierto. Se pueden analizar muchos aspectos de ello, así como son las rocas incompetentes que puedes hallarse con ángulos de talud crítico; pero en rocas duras no es posible proveer las fallas que se tiendan a dar en los taludes.

En la mayoría de fallas de taludes de roca que se han suscitado fueron producidas a lo largo de fallas que existían, así como discontinuidades en el macizo rocoso. En los problemas de estabilidad de taludes de roca, la falla real depende de la orientación, distribución de las discontinuidades y resistencia de la misma. A causa del corte por diversas fuerzas o factores que interfieran en la formación de la roca resultara en un deslizamiento.

2.2.4. Factores que generan fallas

Las fallas comunes dadas en taludes ocurren a medida que aumenta la tensión aplicada o disminuya el esfuerzo del macizo por diferentes agentes externos en su mayoría son ocasionados naturalmente y casos por mano del hombre. Como menciona Gonzales (2004) que en el estudio de estabilidad de taludes tienda factores como la altura e inclinación, anisotropía, presencia de la capa freática, como también propiedades de la roca tanto densidad y resistencia. Recordar también el análisis sísmico con parámetros que menciona la norma peruana tanto estáticos y sísmicos.

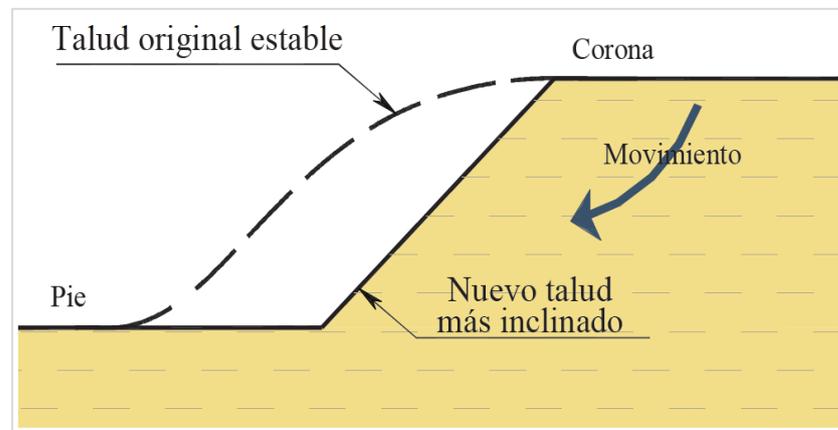
Según Budhu (2007) hay diferentes escenarios y agentes que afectan al talud.

2.2.4.1. Erosión

Los agentes externos como el agua, la luz solar, velocidades del viento afectan al macizo rocoso erosionándolo, y este modifica a su geometría natural del talud. Por tanto, los esfuerzos que inicialmente resistía ya son afectados, teniendo como fin un talud muy diverso al cual al inicio tanto en sus propiedades internas y externas.

Figura 4

Modificación del perfil del talud a causa de la erosión



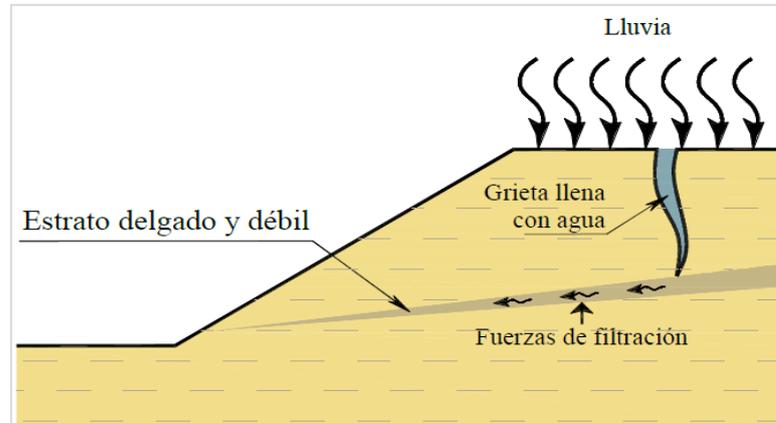
Nota: tomado de "Soil mechanics and foundation", elaborado por Budhu (2007)

2.2.4.2. Lluvia

Durante las precipitaciones de las diferentes estaciones, los taludes se ven vulnerables a saturarse con ello ocasionando un aumento de masa, por tanto, se disminuye la resistencia al esfuerzo cortante. Al saturarse se llenan de agua las fisuras la cual este proceso incrementa fuerzas internas ocasionando aparición de infiltraciones que ocasionaran fallas.

Figura 5

Perfil de talud con el factor lluvia



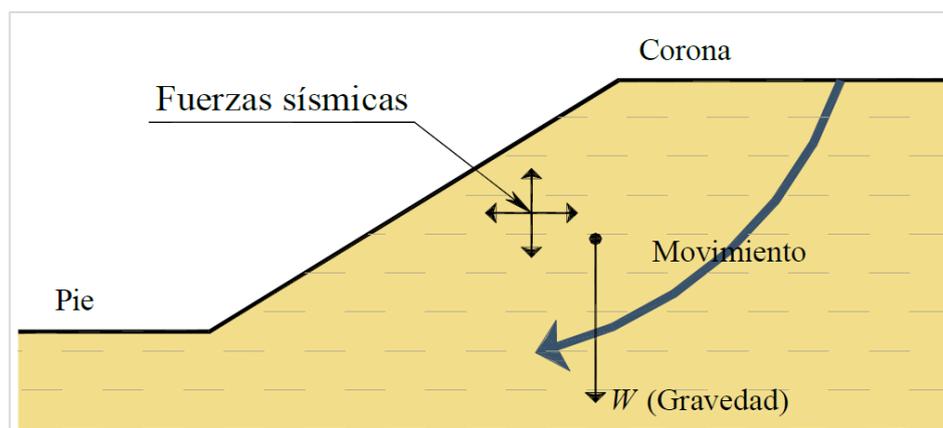
Nota: tomado de “Soil mechanics and foundation”, elaborado por Budhu (2007)

2.2.4.3. Sismo

Son fuerzas dinámicas que actúan sobre el talud, ocasionando esfuerzos cortantes que reducen debilitando al talud, se dan en los análisis pseudoestáticos como en análisis dinámicos. Factor que se analiza dependiendo a la zona de estudio.

Figura 6

Fuerzas verticales y horizontales por el sismo



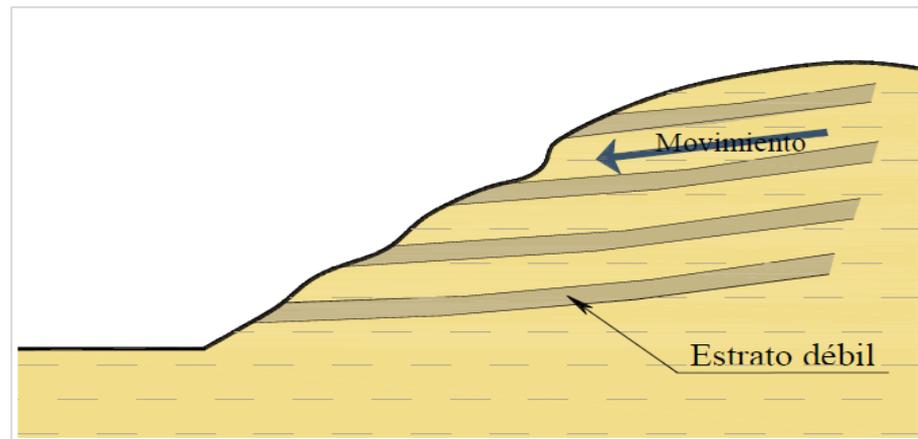
Nota: tomado de “Soil mechanics and foundation”, elaborado por Budhu (2007)

2.2.4.4. Aspectos geológicos

Una variedad de fallas es ocasionada por sus propiedades geológicas que no son determinadas en el estudio, las cuales, en su análisis del talud aumenta considerablemente al factor de seguridad, la cual es un dato cuantitativo esencial en los taludes.

Figura 7

Fallas geológicas que debilitan al talud



Nota: tomado de "Soil mechanics and foundation", elaborado por Budhu (2007).

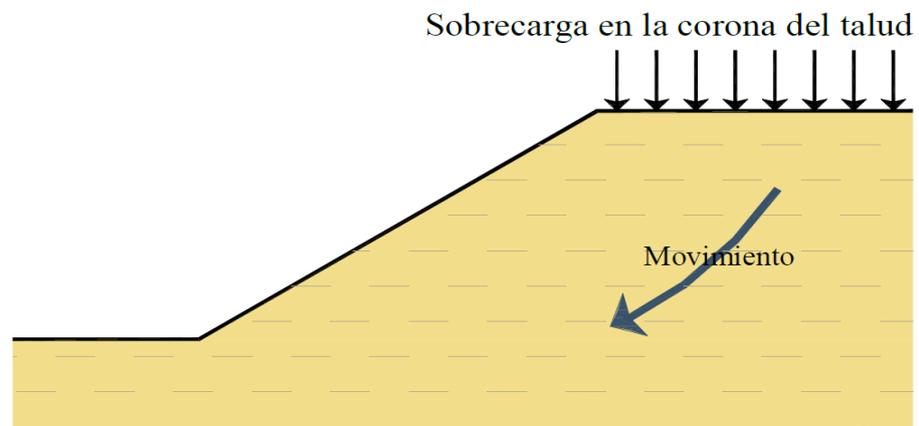
2.2.4.5. Cargas

La afectación de fuerzas sobre la cima del talud tiene efecto de crecimiento de esfuerzo en distintas áreas, por la cual es un factor que ocasionara una posible falla mientras no sea controlada o estudiada durante el análisis de la estabilidad de taludes.

En algunos casos son dados mediante medidas de control del talud, como determinados estudios, mejoramiento del talud, o como también mediados estabilizantes de taludes siendo ellos muros de contención, anclajes u banquetas, ya determinados en los análisis correspondientes.

Figura 8

Carga aplicada en la cima del talud



Nota: tomado de "Soil mechanics and foundation", elaborado por Budhu (2007)

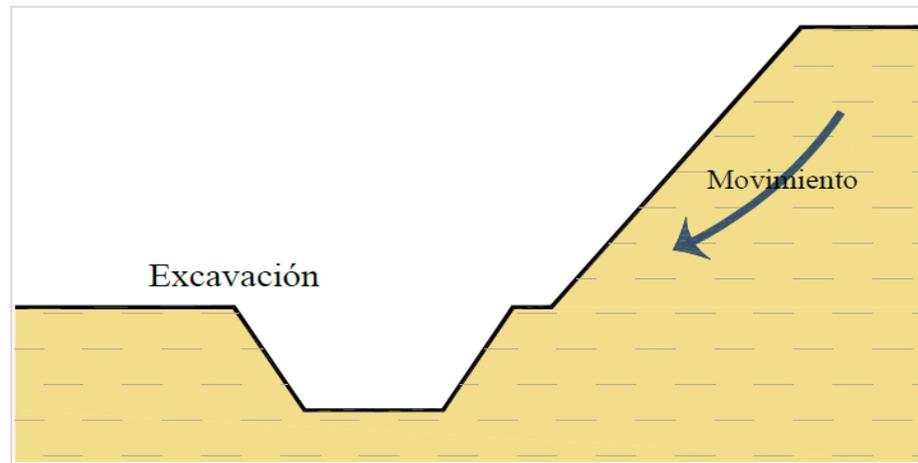
2.2.4.6. Excavaciones y/o rellenos

Los trabajos realizados en los taludes tanto en la cima como en el pie, pueden causar diferentes modificaciones tanto internas como externas alterando el esfuerzo de ellas mismas, y estos trabajos deben ser monitoreados por especialistas, ya que estos casos son dados en vías de transporte.

Cuando se ejecute una excavación se altera directamente el esfuerzo generando disminución e incrementando su inestabilidad. En caso de rellenos es de estudiar sus características para este trabajo, así no tener problemas en los taludes.

Figura 9

Corte de terreno en el talud



Nota: tomado de "Soil mechanics and foundation", elaborado por Budhu (2007).

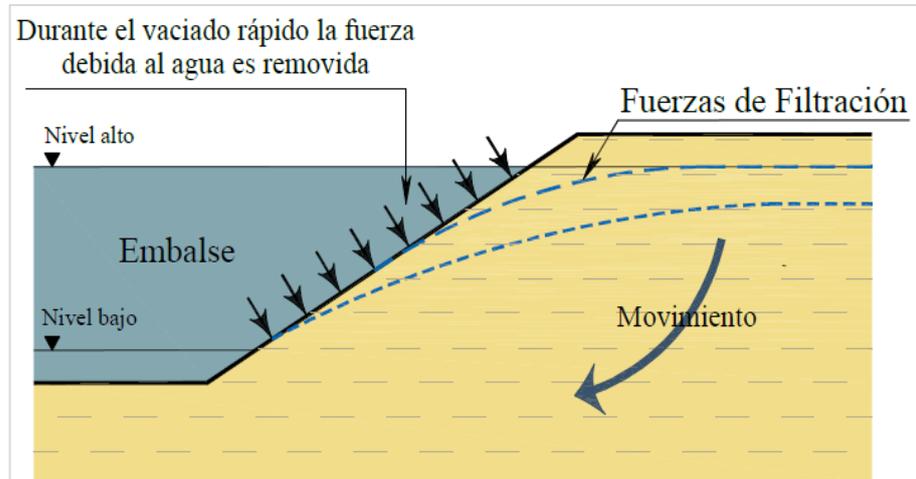
2.2.4.7. Condición de presión de poro y vaciado rápido

Los embalses pueden estar sujetos a un cambio rápido en su nivel de agua y se ven sujetos a una reducción de la fuerza lateral que proporciona el agua, además de que el exceso de presión de poro no tiene tiempo de disiparse (Figura 10).

Si el nivel de agua en el embalse permanece en niveles bajos y la falla no ocurre mientras presenta condiciones de resistencia al esfuerzo cortante no drenadas, el flujo que se presenta y las fuerzas de filtración pueden provocar la falla del talud (Figura 11).

Figura 10

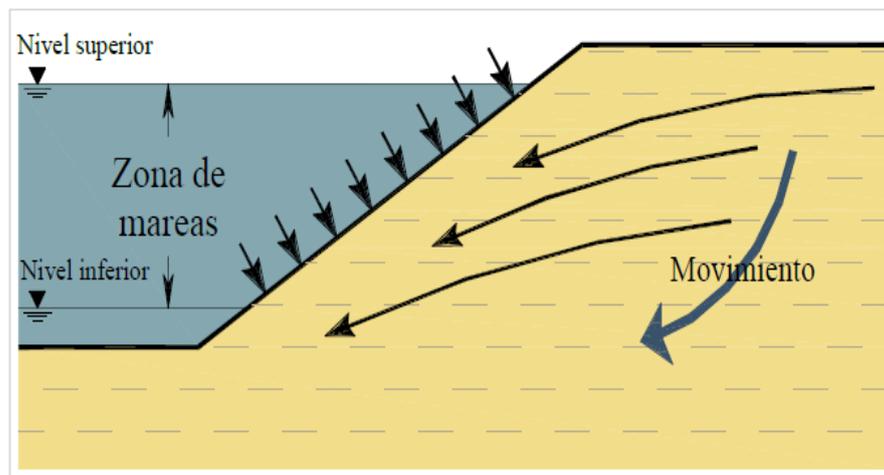
Fuerzas filtrantes



Nota: tomado de "Soil mechanics and foundation", elaborado por Budhu (2007).

Figura 11

Fuerzas por el cambio de nivel



Nota: tomado de "Soil mechanics and foundation", elaborado por Budhu (2007).

2.2.5. Propiedades físicas

Son las que tienen de los macizos rocosos son elaboradas por pequeñas muestras, llevadas a un laboratorio de rocas para ser determinadas y conocer sus valores cuantitativos. Las más conocidas son, la densidad de la roca, el grado de



absorción, porosidad, deformaciones y esfuerzos a compresión. Y estas últimas son las que están relacionadas directamente con la roca (Gonzales, 2004).

2.2.6. Procedimientos para realizar estudios

Son realizados en la estabilidad de taludes se realizan en varios procesos. Mientras tanto no se realice un buen trabajo al talud, dado que hay distintas alternativas de soluciones con diferentes valores económicos. Un ejemplo de carreteras que se da en obras publicas lo más factible es excavar el terreno con la finalidad de tener proporciones ya normadas así tener un factor de seguridad mayor a 1.2 en casos de falla, pero se utiliza los otros métodos cuando no es posible aplicar ello por el tipo de material del terreno.

Un punto fundamental que se debe resolver al inicio ya teniendo los parámetros geológicos, es la falla más a darse o suceder, ya que al identificarlo este aspecto el estudio realizado ira correcto.

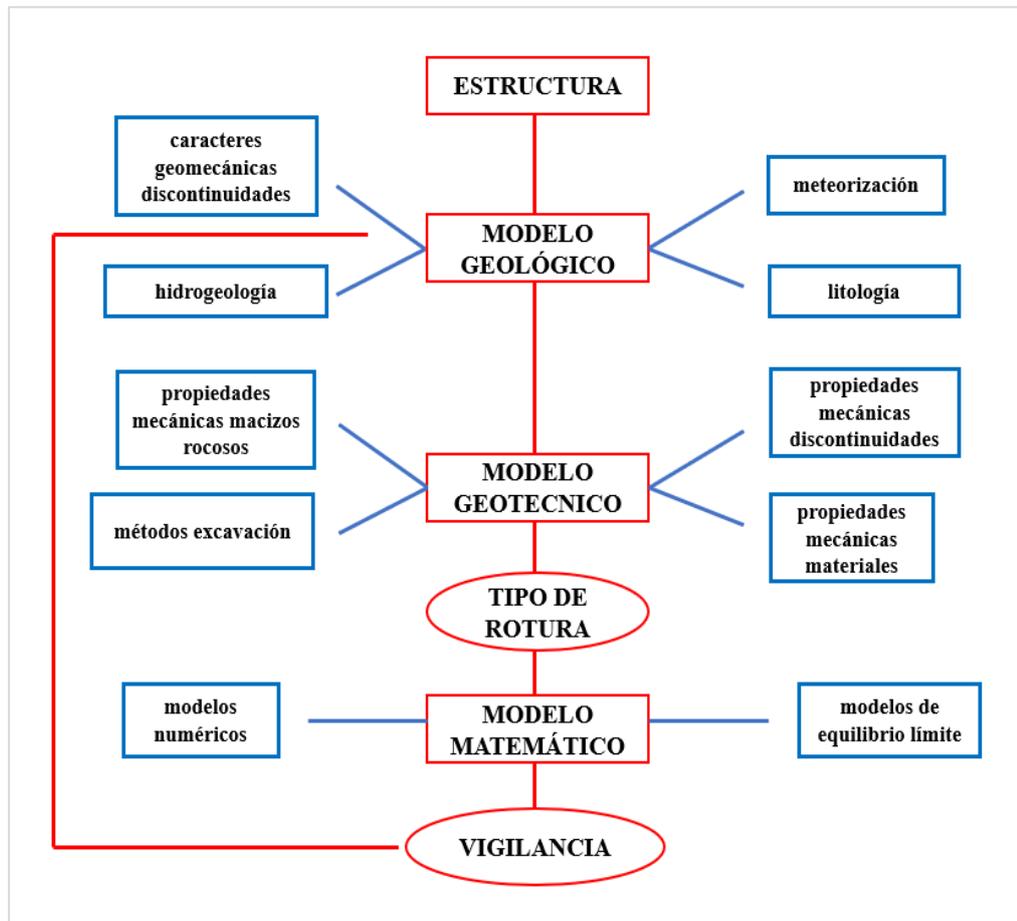
Según Ramírez & Alejano (2004) nos menciona para estudiar la estabilidad de un talud, las líneas a seguir pueden ser las siguientes:

- Disposición de datos geológicos y geotécnicos.
- Determinar los datos de la roca, con los diferentes ensayos que se tiene, así por ejemplo para el caso de la resistencia de la roca, el ensayo de carga puntual, o de compresión simple.
- Determinación del método de falla.
- Análisis retrospectivos sistemáticos de roturas acaecidas.
- Análisis por los diferentes métodos.

- En el proceso de ejecución de dicha solución hacia el talud, se deberá seguir los mismos pasos que se da para cualquier tipo de obra de ingeniería. Optimar costos, materiales, control y seguimiento, así llegar a la construcción de la solución planteada.

Figura 12

Etapas para realizar el estudio



Nota: adaptado de Mecánica de rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes, elaborado por Ramírez & Alejano (2004).

2.2.7. Mapeo superficial y descripción

El mapeo geológico corresponde a un registro de datos geológicos a darse a un macizo rocoso de una cierta área de estudio con la finalidad que nos permitirá caracterizar como también clasificar al mismo. Durante el mapeo geomecánica se



debe hacer en campo con una ficha de anotes, todos los datos necesarios para ello tenemos 3 tipos de mapeos geológicos.

- Mapeo geomecánico por celdas o ventanas estructurales, este tipo se desarrolla a través un área que pueden ser aproximado de 3m. por 3m. o más grandes.
- Mapeo geomecánico por línea de detalle, como su nombre lo menciona se establece una línea, por la cual se puede usar una cinta métrica y ubicar todas las estructuras o discontinuidades que se intersecan con la línea.
- Mapeo geomecánico remoto o fotogramétrico, como se menciona se da con el uso de imágenes en pares estereográficas y con ello generar una superficie de los afloramientos en 3D.

En un macizo rocoso se aprecia a simple vista, las diferentes áreas de aspectos rocosos, así como el grado de meteorización o el grado de facturación. Esto ayudara para la recolección de datos que se tome de la zona. Para ello se inicia con ver la localización, accesos de entrada, riesgos que se tenga y acontecimientos grandes que se tenga. Considera Gonzales (2004) que “para dar el inicio del estudio del afloramiento de cualquier macizo rocoso debe iniciarse con la identificación y una descripción de lo que se visualice. Luego llevar a cabo una distribución de zonas y la descripción de ellas” (p. 120).

2.2.7.1. Matriz rocosa

Identificación: La identificación visual de un macizo rocoso se establece a partir de sus componentes mineralógicos, a ello tenemos su composición química, formas y estructuras exteriormente. Mas practico



para ello tenemos: Forma y tamaño, color, dureza y composición mineralógica.

Así como lo menciona Gonzales (2004) para la identificación de un macizo rocoso.

La roca tiene diferentes minerales en su composición que permite para su distinción entre ellas, las más comunes pueden ser vistas con la lupa geológica, si en caso no se aprecie se opta por llevar a laboratorio en laminas delgadas observaciones minuciosamente su composición y así ser identificados correctamente (p. 242).

Meteorización: en una roca es una observación importante porque con ello se puede conocer rangos de sus propiedades mecánicas. Con el tiempo que transcurre la roca en la superficie sea por factores de clima, viento, sol u otros su resistencia baja con el pasar de los años.

Según Ramírez & Alejano (2004) afirma lo siguiente:

La meteorización de las rocas se denomina a las modificaciones experimentadas en su composición o estructura por la acción de los agentes atmosféricos.

La coloración exterior de una roca es a causa de sus minerales que lo componen. Y a ello les hacen distintivos como también hay agentes externos que modifican esas impurezas que lo cambian. En su coloración es muy semejante para su descripción que al de los suelos (por ejemplo, rojizo, gris, oscuro). Cuando la roca no presenta alteraciones, son semejantes a las cartas de colores que se emplean en algunos casos, podemos determinar que es una roca intacta o sana. Si es caso se aprecia



colores muy distintivos se podría afirmar que tuvo procesos de meteorización y con ello se puede suponer que afectaron su composición mineralógica. Resaltando a las condiciones climatológicas es un agente principal de la meteorización.

Tabla 1

Descripción del grado de meteorización

Término	Descripción
Fresco	No se observan signos de meteorización en la matriz rocosa.
Decolorada	Se observan cambios en el color original de la matriz rocosa. Es conveniente indicar el grado de cambio.
Desintegrada	La roca se ha alterado al estado de un suelo, manteniéndose la fábrica original.
Descompuesta	La roca se ha alterado al estado de un suelo, alguno o todos los minerales están descompuesto.

Nota: adaptado de Ingeniería Geológica: Fundamentos e ingeniería de taludes, elaborado por Gonzales (2004,p. 244)

La evaluación del grado de meteorización de un macizo rocoso se analiza visualmente para luego compararlo con la Tabla 2. Y en ocasiones se suele fragmentar la zona estudiada para así observar con más claridad el grado meteorizado.

Tabla 2

Evaluación del grado de meteorización del macizo rocoso

Grado de meteorización	Tipo	Descripción
I	Fresco	No aparecen signos de meteorización.
II	Ligeramente meteorizado	La decoloración indica alternación del material rocoso y de las superficies de discontinuidad.
III	Moderadamente meteorizado	Menos de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo.
IV	Altamente meteorizado	Más de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo.
V	Completamente meteorizado	Todo el macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo.
VI	Suelo residual	Todo el macizo rocoso se ha transformado en un suelo.

Nota: adaptado de Ingeniería Geológica: Fundamentos e ingeniería de taludes, elaborado por Gonzales (2004, p. 260)

Resistencia: en un macizo rocoso puede ser determinado en campo con el martillo Schmidt según a la cantidad de golpes, como también en laboratorio con pruebas como ensayo de compresión simple en la cual es la más usada, como ensayos de triaxial o carga puntual ello ya depende de quién lo esté estudiando y para que estudio lo requerirá.

Esclerómetro o martillo Schmidt: Con ello se puede aproximar, utilizando el rebote de un resorte interno al impactar con la pared de la roca. Para ello se tiene dos tipos elementales que son el tipo “N” la cual es



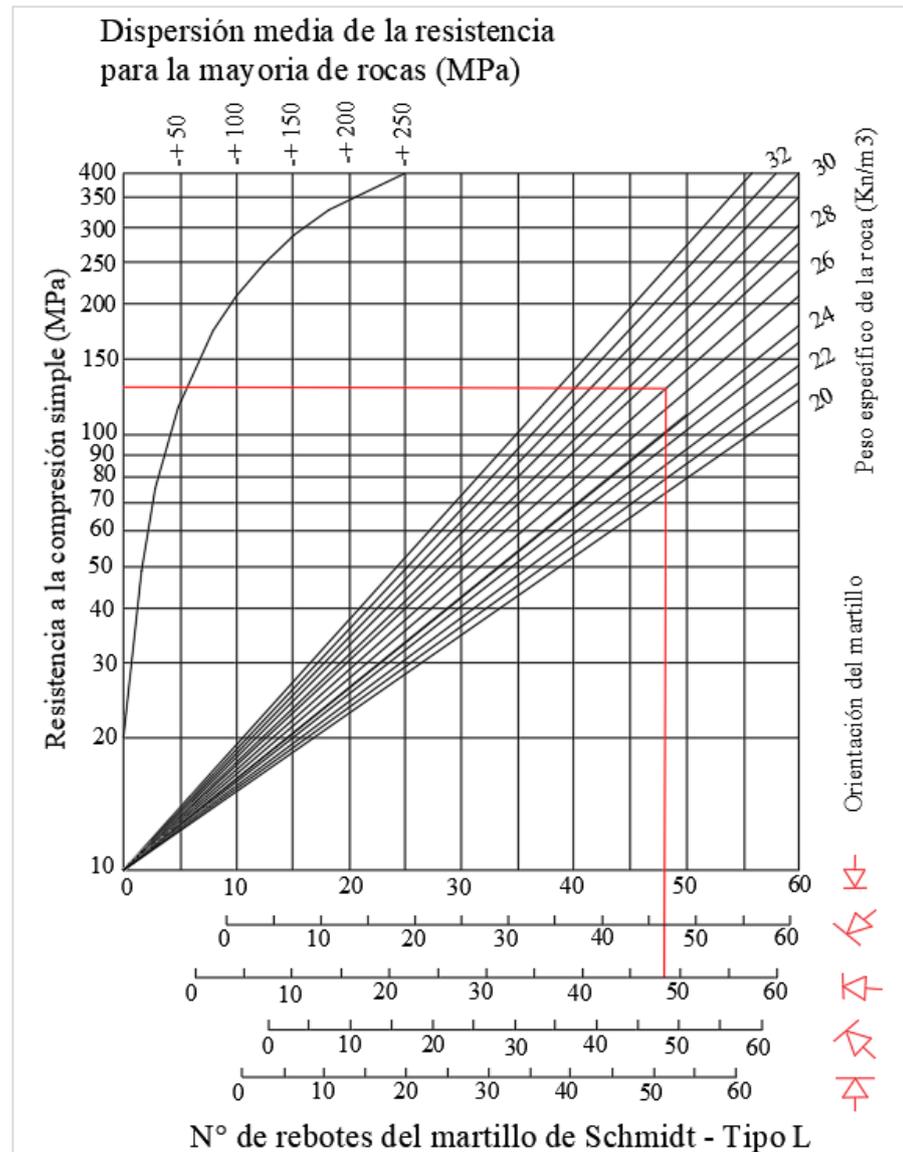
usada en edificios normales y puentes, y el otro es de tipo “L” la cual es más pequeña que el tipo “N”, la cual es adecuado para rocas.

Gonzales (2004) menciona que “el esclerómetro consiste en un pequeño aparato metálico de geometría cilíndrica que dispone de un muelle en su interior y de una punta retráctil, la cual, al ser presionada contra la roca hace que el muelle se dispare” (p. 346).

Al realizar el ensayo se despeja el material orgánico si posee, la zona debe estar libre de grietas o fisuras que impidan la zona afectada por humedad de la piedra desgastada. De ahí se golpea con un martillo, presione hasta que el resorte regrese; unidad debe colocarse perpendicular al plano de prueba. Según la roca tendrá un rebote, los valores que se obtengan se llevan a un ábaco, y se tendrá que saber la densidad y la inclinación del martillo de cómo se trabajó.

Figura 13

Ábaco para el martillo Schmidt tipo "L"



Nota: adaptado de Ingeniería Geológica: Fundamentos e ingeniería de taludes, elaborado por Gonzales (2004, p. 347)

El martillo tipo "L" permite obtener valores a la resistencia a compresión simple de la roca comprendidos entre 20 MPa y 30 MPa. Barton y Choubey (1977) han propuesto la siguiente fórmula para calcular la resistencia de la roca partiendo del índice de rebote del martillo Schmidt:

$$\text{Log}(\sigma_c) = 0.00088 \gamma R + 1.01 \quad (6)$$

Donde,

σ_c = resistencia a compresión simple (MPa).

γ = peso específico (kN/m³).

R = índice de rebote.

Según Ramírez & Alejano (2004) menciona que “las correcciones para dicho índice de rebote se dan cuando no se está usando de forma vertical, para la cual se realiza correcciones con respecto al ángulo que forma con una línea vertical” (p. 179). Contribuyendo a ello la siguiente Tabla 3.

Tabla 3

Reducciones del martillo

Rebote	Hacia abajo		Hacia arriba		Horizontal
	$\alpha=-90^\circ$	$\alpha=-45^\circ$	$\alpha=+90^\circ$	$\alpha=+45^\circ$	$\alpha=0^\circ$
10	0	-0.8	---	---	-3.2
20	0	-0.9	-8.8	-6.9	-3.4
30	0	-0.8	-7.8	-6.2	-3.1
40	0	-0.7	-6.6	-5.3	-2.7
50	0	-0.6	-5.3	-4.3	-2.2
60	0	-0.4	-4.0	-3.3	-1.7

Nota: tomado de Mecánica de rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes, elaborado por Ramírez & Alejano (2004)

Según Gonzales (2004) menciona que “la resistencia de las rocas se puede estimar también en el campo utilizando una navaja y un martillo de geólogo, aunque con menos precisión que con el martillo de Schmidt” (p. 350), con ello se tiene una Tabla 4, se describe la forma de hacerlo según la Sociedad internacional de Mecánica de Rocas (ISMR).

Tabla 4*Estimación de la resistencia*

Grado	Descripción	Identificación de campo	Valor aproximado de resistencia a compresión simple MPa
R 0	Extremadamente débil	Se puede penetrar con el dedo pulgar.	0.25 - 1.0
R 1	Muy débil	Deleznable bajo golpes fuertes con la parte puntiaguda del martillo	1.0 - 5.0
R 2	Débil	Puede cortarse con dificultad con una navaja.	5.0 - 25
R 3	Media	No se puede cortar con una navaja.	25 - 50
R 4	Resistente	Se necesita más de un golpe con el martillo.	50 - 100
R 5	Muy resistente	Se necesitan muchos golpes con el martillo.	100 - 250
R 6	Extremadamente resistente	Sólo se pueden desprender esquirla.	> 250

Nota: adaptado de Mecánica de rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes, elaborado por Ramírez & Alejano (2004)

Procedimientos para el ensayo del martillo de rebote Schmidt:

Según ISRM (1981) menciona que “tener un conteo de 20 datos realizados a una distancia del diámetro del instrumento, considerar los valores de los 10 datos más altos”.

Según ASTM D5873 menciona que “tener un conteo de 10 lugares que representen a la zona de estudio, eliminando valores de varíen en 7 al promedio total”.



Ensayo de carga puntual (PLT): Como lo menciona Gonzales (2004) el ensayo “calcula la resistencia a la compresión simple en muestras cilíndricas, los datos obtenidos con más confiabilidad si se ensayan en diferentes zonas” (p. 348).

En ensayo de carga puntual no se usa en caso de rocas blandas (pizarras, esquistos, etc.) El proceso del ensayo trata en romper una muestra de roca entre la cual estará dos puntas cónicas de metal la cual tendrán una presión la cual será dada por una prensa portátil.

$$I = P / D^2 \quad (7)$$

Donde,

I = Índice de la resistencia.

P = carga de la rotura.

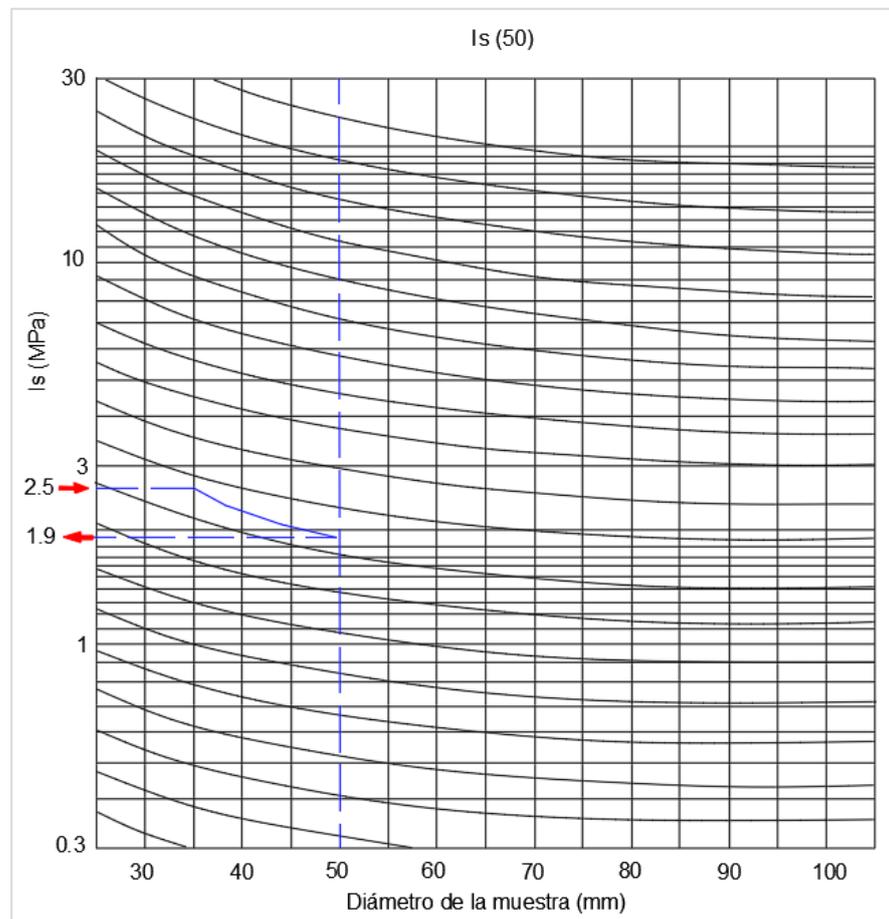
D = diámetro de la probeta.

La proporción que se tiene para la muestra debe ser 1.5 veces que el diámetro.

Deberá ser multiplicado por un factor “F”, que para un diámetro analizado de 5 cm tendrá el valor de $F = 23$, y para el caso que supere dicho diámetro se tendrá que corregir con el Abaco mostrado en la Figura 14.

Figura 14

Ábaco de corrección para el ensayo de PLT



Nota: adaptado de Ingeniería Geológica: Fundamentos e ingeniería de taludes, elaborado por Gonzales (2004, p. 349)

Compresión uniaxial simple (UCS): Como señala Suárez (2014) que “estos ensayos se realizan en pequeñas muestras representativas a la roca, ya que se limita en grandes tamaños por la dificultad de equipos que existen” (p. 302).

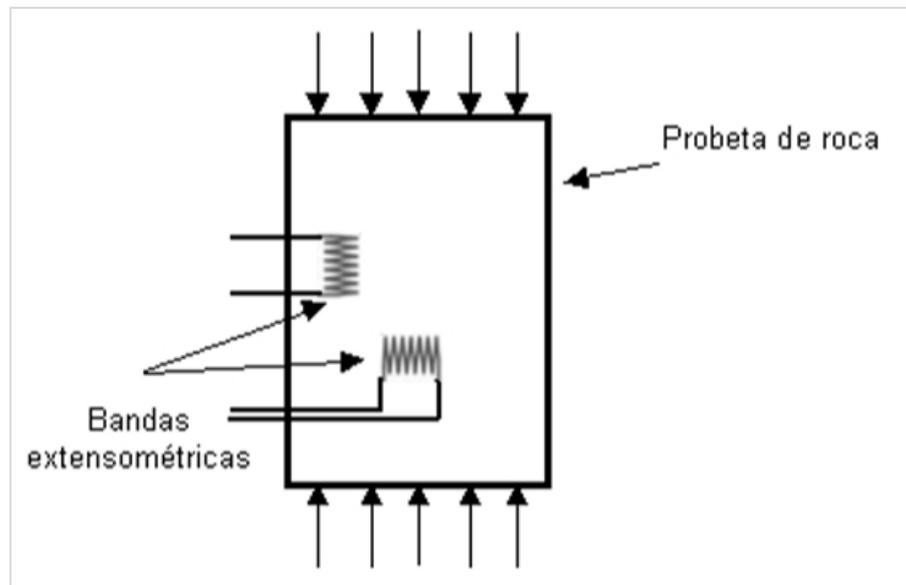
Según el MTC (2016) menciona que el ensayo para la muestra debe tener una proporción de 1 a 2 veces el diámetro, ejerciendo una fuerza axial hasta que esta falle.

Teniendo en cuenta a Ramírez & Alejano (2004) recomienda aspectos básicos de las normas existentes son los siguientes.

Como también Ramírez & Alejano (2004) nos menciona que “al realizar estos ensayos de compresión simple sugiere una velocidad de carga que este en los parámetros de 0.5 a 1 MPa/s, para obtener datos confiables” (p. 45).

Figura 15

Esquema del ensayo de compresión simple



Nota: tomado de Mecánica de rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes, elaborado por Ramírez & Alejano (2004, p. 43)

2.7.1.2. Discontinuidades

Como lo señala Gonzales (2004) que “las discontinuidades son fracturas que se presentan en la roca la que condiciona su comportamiento, deformacionabilidad y propiedades” (p. 246).

Orientación: es la dirección de las discontinuidades la cual se producen en familias con orientación semejantes entre ellas. La

orientación y el espaciamiento entre variedades de familias de macizos rocosos. Mientras tanto Gonzales (2004) afirma lo siguiente:

La orientación de las discontinuidades está determinada por el buzamiento la cual es la inclinación máxima, y la dirección de buzamiento la cual es la pendiente con respecto al norte. Estas medidas se realizan con una brújula para su precisión (p. 246).

Figura 16

Representación de las propiedades geométricas de las discontinuidades



Nota: tomado de Ingeniería Geológica: Fundamentos e ingeniería de taludes, elaborado por Gonzales (2004, p. 247)

Dirección de buzamiento: de acuerdo con Ramírez & Alejano (2004) nos menciona que “para determinar un valor de la medida de la dirección de buzamiento se posiciona la parte superior de la brújula sobre la discontinuidad y se determina un valor” (p. 185).

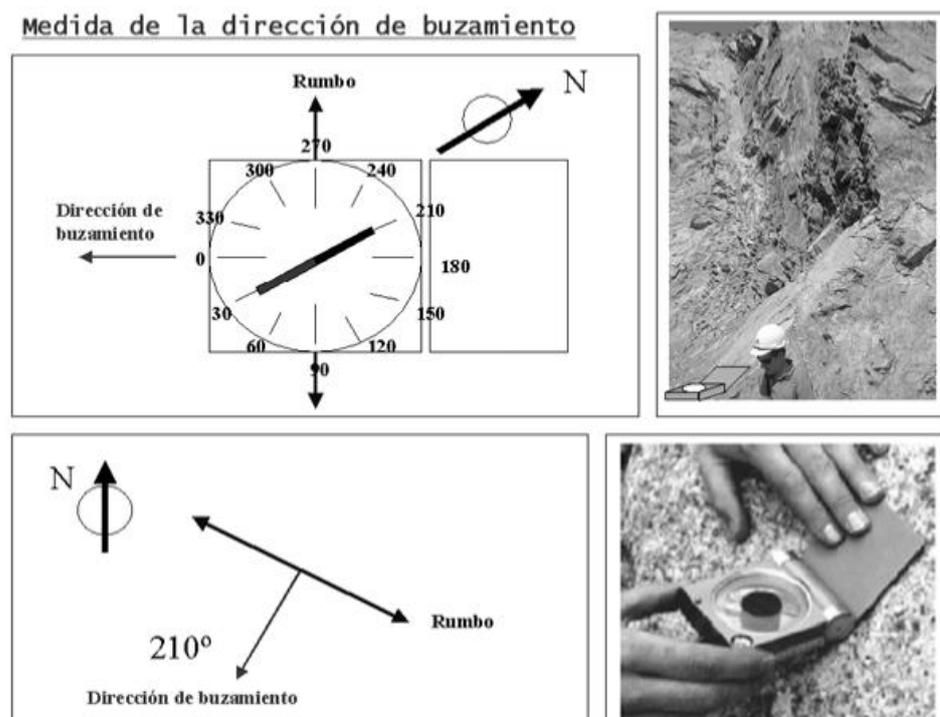
Si las discontinuidades tienen un buzamiento hacia afuera (fuera del talud), para su medición se tiene las brújulas geotécnicas numeradas

en sentido antihorario, la aguja que marque el norte será la dirección de buzamiento.

En el caso de que la discontinuidad buce hacia el macizo, la dirección de buzamiento vendrá marcada por la aguja que buza al sur (suelen tener distintos colores en las brújulas geotécnicas) (Ramírez & Alejano, 2004).

Figura 17

Medida de la dirección de buzamiento

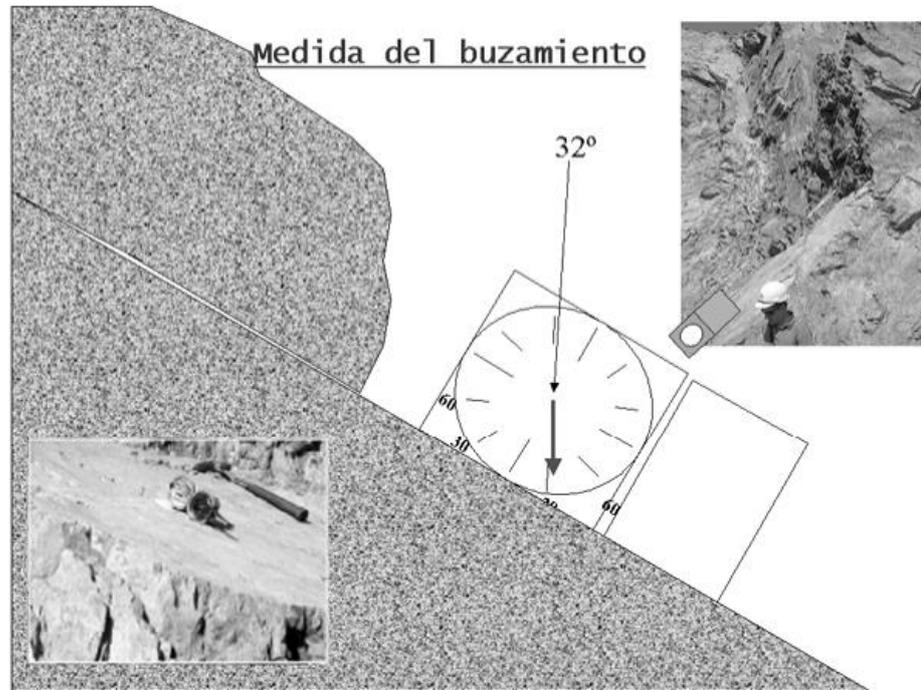


Nota: tomado de Mecánica de rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes, elaborado por Ramírez & Alejano (2004, p. 186).

Buzamiento: como señala Ramírez & Alejano (2004) que “para determinar el dato del buzamiento con una brújula geotécnica, debe estar apoyada en la discontinuidad con la pínula hacia abajo luego moviendo el inclinómetro que esta tiene calcular dicho dato” (p. 185).

Figura 18

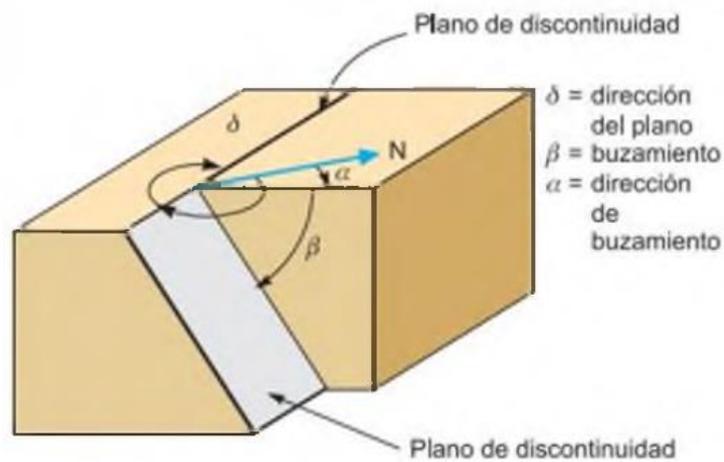
Medida del buzamiento



Nota: tomado de Mecánica de rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes, elaborado por Ramírez & Alejano (2004, p. 186)

Figura 19

Medida de la orientación de discontinuidades



Nota: tomado de Ingeniería Geológica: Fundamentos e ingeniería de taludes, elaborado por Gonzales (2004, p. 247)



Espaciado: a esto se le llama distancia entre el sistema o la familia de discontinuidades, es decir, un grupo de discontinuidades casi paralelas entre ellas. Mientras tanto (Gonzales, 2004) menciona que “el espaciado entre los planos de discontinuidad condiciona el tamaño de los bloques de matriz rocosa la cual define el papel que esta tendrá en el comportamiento mecánico del macizo rocoso, y su importancia con respecto a la influencia de las discontinuidades” (p. 248). Y Ramírez & Alejano (2004) afirma lo siguiente:

Se tiene una medida de corrección para tener el verdadero espaciado.

$$S = d \cdot \text{sen} \alpha \quad (8)$$

Se tiene,

S = la verdadera distancia.

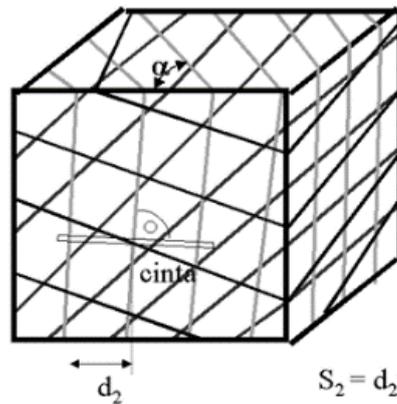
d = distancia con flexómetro.

α = dirección del talud con el rumbo de la discontinuidad.

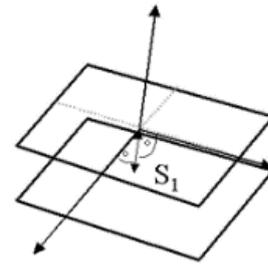
Figura 20

Medida del espaciado

Medida del espaciado



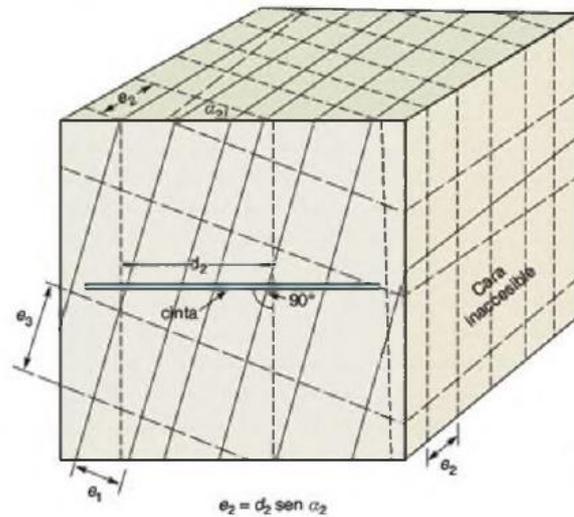
$$S_2 = d_2 \cdot \text{sen } \alpha$$



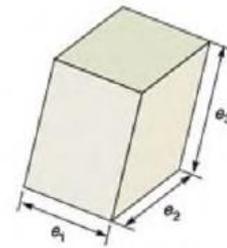
Nota: tomado de Mecánica de rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes, elaborado por Ramírez & Alejano (2004, p. 187)

Figura 21

Medida del espaciado en una cara expuesta al afloramiento



$$e_2 = d_2 \text{ sen } \alpha_2$$



- familia 1
- - - familia 2
- · - familia 3

Nota: tomado de Ingeniería Geológica: Fundamentos e ingeniería de taludes, elaborado por Gonzales (2004, p. 248).



Tabla 5

Medidas del espaciado

Espaciado	Longitud
Extremadamente junto	< 20 mm
Muy junto	20 - 60 mm
Junto	60 - 200 mm
Moderadamente junto	200 - 600 mm
Separado	600 - 2000 mm
Muy separado	2000 - 6000 mm
Extremadamente separado	> 6000 mm

Nota: adaptado de Ingeniería Geológica: Fundamentos e ingeniería de taludes, elaborado por Gonzales (2004, p. 249)

Continuidad: este concepto hace referencia al tamaño de las discontinuidades. Su proyección en las direcciones de rumbo y buzamiento.

También sería interesante crear un pequeño gráfico que represente visualmente los tamaños relativos de las familias de ruptura. (Ramírez & Alejano, 2004)

Según Gonzales (2004) menciona que “para obtener este dato se debe realizar una medición en toda la discontinuidad que se aprecia, de preferencia en la dirección y buzamiento de esta discontinuidad” (p. 250).

En la mayoría de casos las discontinuidades como diques o fallas, representan la mayor parte de debilidad de un macizo rocoso. Es difícil su cuantificación a simple vista en afloramientos, donde se vean segmentos según al buzamiento aparente.

Tabla 6

Medidas de la continuidad

Continuidad	Longitud
Muy baja continuidad	< 1 m
Baja continuidad	1 -3 m
Continuidad media	3 -10 m
Alta continuidad	10 -20 m
Muy alta continuidad	> 20 m

Nota: adaptado de Ingeniería Geológica: Fundamentos e ingeniería de taludes, elaborado por Gonzales (2004, p. 250)

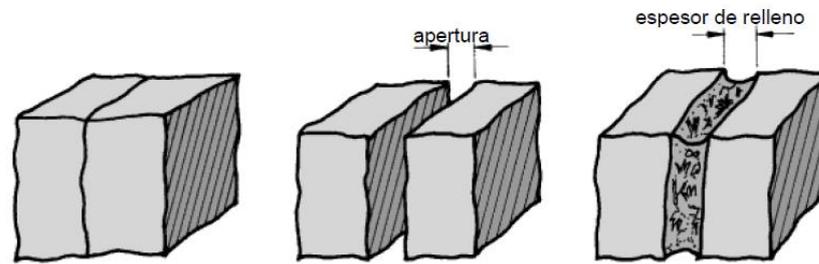
Abertura: la abertura o es la distancia vertical que separa el muro de la rotura sin rellenar. Este parámetro puede variar mucho de un lugar a otro dentro de un mismo macizo rocoso: aunque las aberturas pueden ser altas en la superficie, disminuyen con la profundidad y pueden cerrarse.

Teniendo en cuenta a Ramírez & Alejano (2004) define apertura como “la distancia perpendicular que separa las paredes adyacentes de roca de una discontinuidad, cuando este espacio intermedio tiene agua o aire” (p. 194). Se ve la diferencia entre el espesor de relleno y la apertura en la Figura 22.

Como afirma Gonzales (2004) para su medición “se utiliza una regla donde se aprecie la medida de milímetros, en casos que no se pueda medir se puede optar por usar el vernier” (p. 253). Para su medición se tiene que realizar en una distancia de 3 metros y realizarse en cada una de las discontinuidades que se presente en el macizo rocoso teniendo en cuenta los promedios medidos.

Figura 22

Apertura de una discontinuidad



Nota: tomado de Mecánica de rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes, elaborado por Ramírez & Alejano (2004, p. 194)

Tabla 7

Medidas de la abertura

Longitud	Abertura
< 0.1 mm	Muy cerrada
0.1 - 0.25 mm	Cerrada
0.25 - 0.5 mm	Parcialmente abierta
0.5 - 2.5 mm	Abierta
2.5 - 10 mm	Moderadamente ancha
> 10 mm	Ancha
1 - 10 cm	Muy ancha
10 - 100 cm	Extremadamente ancha
> 1 m	Cavernosa

Nota: adaptado de Ingeniería Geológica: Fundamentos e ingeniería de taludes, elaborado por Gonzales (2004, p. 250).

Rugosidad: el objetivo principal de la descripción y medición de la rugosidad es estimar la fuerza cortante en el plano. Para discontinuidades invisibles, la fuerza cortante en el plano se puede estimar a partir de datos de campo y expresiones empíricas.

Según Gonzales (2004) considera “que la rugosidad en rocas es de forma ondulada que se aprecia en la afloración de la roca y ello se puede

aprecian en un corte a la misma” (p. 250). Según el autor podemos apreciar en dos escalas, las cuales son:

- Escala decimétrica usada en superficies onduladas o escalonadas que se aprecian a simple vista.
- Escala milimétrica y centimétrica para a rugosidad o irregularidad: superficies pulidas, lisas o rugosas. (Gonzales, 2004)

Para su mayor visibilidad se puede comparar visualmente la discontinuidad con el perfil de rugosidad estándar como se ve en la Figura 23. Cualitativamente, los planos discontinuos suelen ser, por ejemplo, ondulados lisos, planos rugosos u ondulados rugosos.

Figura 23

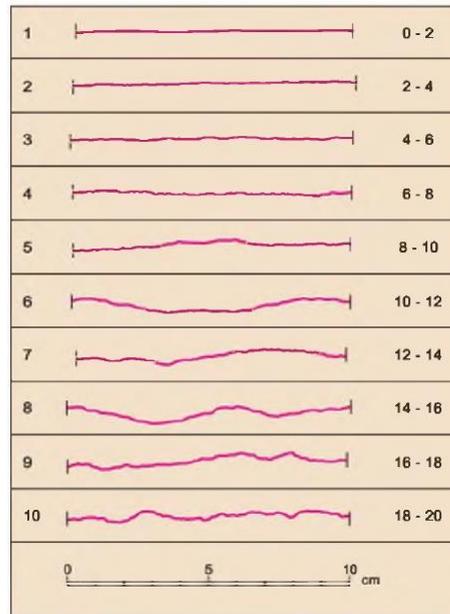
Ondulación y rugosidad de una superficie de discontinuidad



Nota: tomado de Ingeniería Geológica: Fundamentos e ingeniería de taludes, elaborado por Gonzales (2004, p. 250).

Figura 24

Perfiles de rugosidad

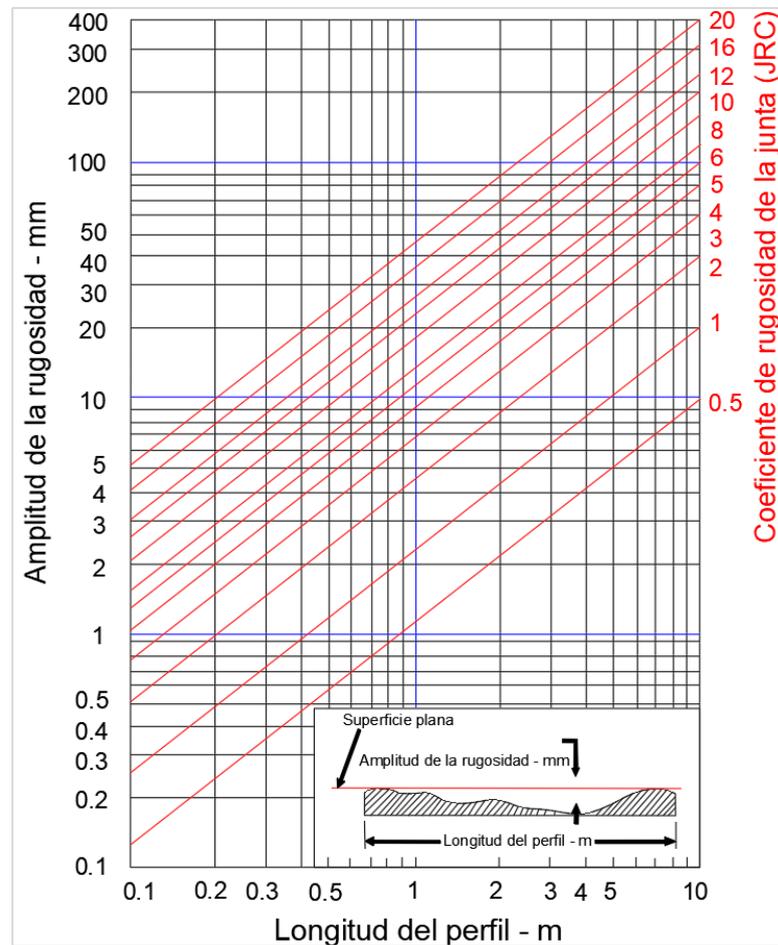


Nota: tomado de Ingeniería Geológica: Fundamentos e ingeniería de taludes, elaborado por Gonzales (2004, p. 186)

El *JRC* (Coeficiente de Rugosidad de la Junta) es una propiedad de la discontinuidad para obtener un valor de la rugosidad. También se puede determinar el *JRC* usando el rugosímetro perfilómetro (peine de Barton) y el ábaco de la Figura 25 (Barton & Choubey, 1977) .

Figura 25

Método alternativo para estimar el JRC



Nota: adaptado de The shear strength of rock joints in theory and practice, elaborado por Barton & Choubey (1977)

Relleno de las discontinuidades: las discontinuidades en casos tienen un relleno la cual puede ser orgánico en toda la zona de las paredes de la roca, existen diferentes tipos con variedades de propiedades tanto físicas como mecánicas que se puede encontrar. Según Gonzales (2004) nos menciona que para el relleno de discontinuidades que se da se puede optar lo siguiente se:

- La distancia del relleno se mida con una regla en milímetros.

- Para su descripción del relleno que compone la discontinuidad se debe identificar el tamaño y mineral. Dado que sea un deterioro o material orgánico.
- En las discontinuidades se halla con el uso de un esclerómetro para su determinación o muestras ensayadas en un laboratorio actualizado y validado por una entidad.
- En caso de poder reconocerlo, se indicará si ha existido desplazamiento por corte a favor del relleno, en cuyo caso sus propiedades y estructura mineralógica habrán sufrido cambios con respecto al estado inicial (Gonzales, 2004).

Como señala Ramírez & Alejano (2004) que “un relleno es lo que ocupa el espacio entre las paredes de la discontinuidad la cual puede tener minerales como calcita, fluorita, limo u otro material orgánico” (p. 195).

Tabla 8

Descripción de la granulometría del material de relleno

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

Nota: adaptado de Suggested methods for rock characterization, testing and monitoring, elaborado por ISRM (1981).

Filtraciones: como señala Gonzales (2004) que la circulación del agua en los macizos rocosos se produce de forma intermitente, la porosidad, donde el agua circula a través de la propia roca y la permeabilidad secundaria es característica principal que se da en este tipo de estudios realizando estas filtraciones y analizándolos en campo con sumo cuidado identificarlos.

Tabla 9

Detalles de las filtraciones en las discontinuidades

Clase	Discontinuidades sin relleno	Discontinuidad con relleno
I	Junta muy plana y cerrada.	Relleno muy consolidado y seco.
II	Junta seca.	Relleno húmedo.
III	Junta seca con agua	Relleno mojado.
IV	Junta húmeda	Relleno que muestra señales de lavado.
V	Junta con rezume.	Relleno localmente lavado.
VI	Junta con flujo continuo de agua.	Rellenos completamente lavados.

Nota: adaptado de Ingeniería Geológica: Fundamentos e ingeniería de taludes, elaborado por Gonzales (2004, p. 255).

2.2.9. Proyección estereográfica

La proyección estereográfica nos permite dar una representación y analizar en dos dimensiones los datos de orientación tridimensional y con ello ayuda a la visualización de los planos geológicos en diagramas.



Citando a Wyllie & Mah (2005) que “las presentaciones estereográfico eliminan una dimensión de la consideración, de modo se puedan representar para ser analizadas en el ámbito del 2D” (p. 28).

Una desventaja de las proyecciones es que no representan el lugar o el tamaño de la característica mientras tanto que solo ángulos entre planos y líneas; que constan de una esfera en la que la horizontal y su orientación es fijo con respecto al norte.

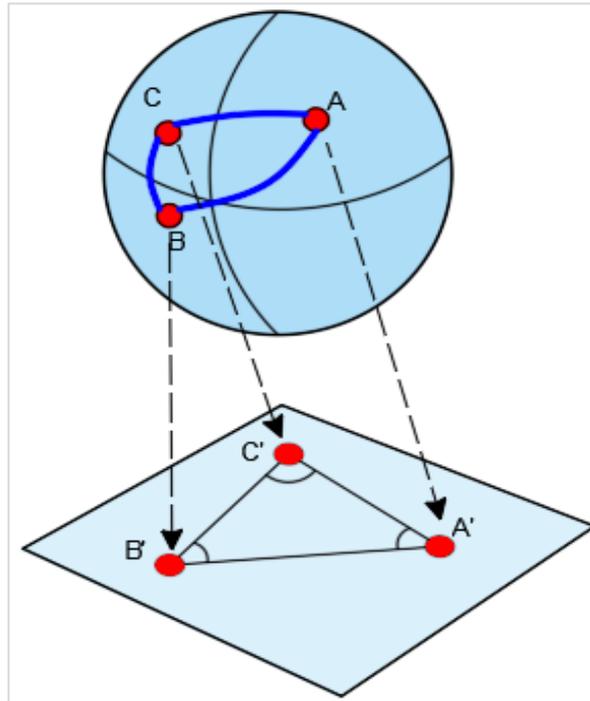
2.2.9.1. Tipo de proyecciones

Proyecciones equiangular: son proyecciones que trata son ángulos correctos, pero con distancias falsas, para su elaboración tenemos a la “falsilla de Wulff”. Donde no permite la interpretación de nubes de datos. Como ejemplo tenemos la Figura 26.

El ángulo entre “A”, “B” y “C” su proyección es la correcta pero su distancia no es la correcta en las proyecciones de ellos. Este tipo de proyección se una en la cristalografía para dar una definición a los ángulos de los cristales (Ragan, 2009).

Figura 26

Ejemplo de la proyección equiangular

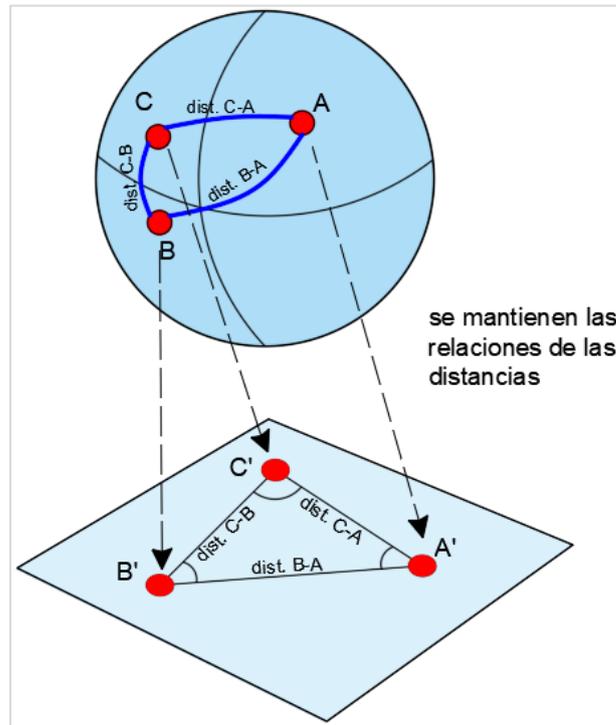


Nota: adaptado de Geología Estructural introducción a las técnicas geométricas, elaborado por Ragan (2009)

Proyección equidistancial: son proyecciones que trata de distancias correctas, pero con ángulos falsos. Para su elaboración tenemos la “falsilla de Schmidt”, este tipo de proyecciones es utilizado en la geología estructural ya que con ello se puede trabajar en “nubes de datos” de las cuales mantendrán su geometría (Ragan, 2009).

Figura 27

Proyección equidistancial



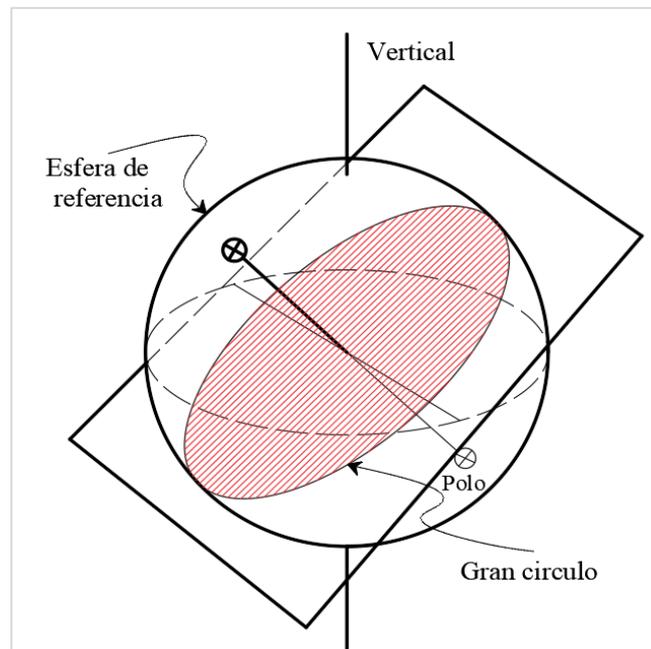
Nota: adaptado de Geología Estructural introducción a las técnicas geométricas, elaborado por Ragan (2009).

2.2.9.2. Proyección estereográfica de un plano y su polo

Para trazar la proyección en la intersección de un plano y la superficie de la esfera será un círculo Figura 28. La cual pasara una recta por el punto medio de la esfera, perpendicular al plano, de ella se dirigirá a los extremos opuesto que se llaman polos del gran círculo que se representan en el plano (Ragan, 2009).

Figura 28

Proyección plano y polo



Nota: adaptado de Rock slope engineering civil and mining Wyllie & Mah (2005).

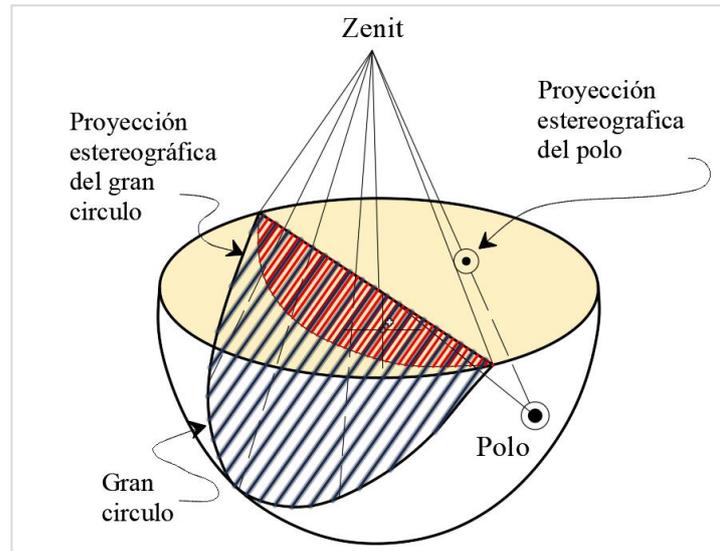
La misma información se muestra en la parte superior e inferior de la esfera, por lo que sólo se necesita un hemisferio para mostrar los datos estructurales. En su mayoría de análisis se utiliza el hemisferio inferior.

En la Figura 28, muestra el método de construcción para la proyección esférica del círculo máximo a sus polos. La Figura 29, muestra como son estas proyecciones.

La pendiente y dirección de un plano inclinado está determinada únicamente por el círculo máximo o polo de ese plano. Los postes de datos estructurales generalmente están etiquetados y se utilizan los círculos grandes correspondientes cuando estos datos se analizan con fines de ingeniería.

Figura 29

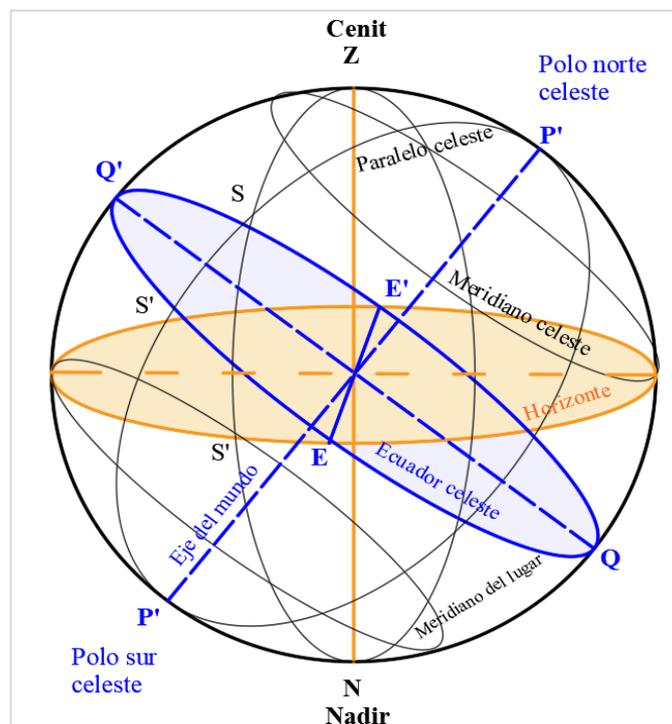
Proyecciones de un plano



Nota: adaptado de Rock slope engineering civil and mining Wyllie & Mah (2005).

Figura 30

Intersección de planos



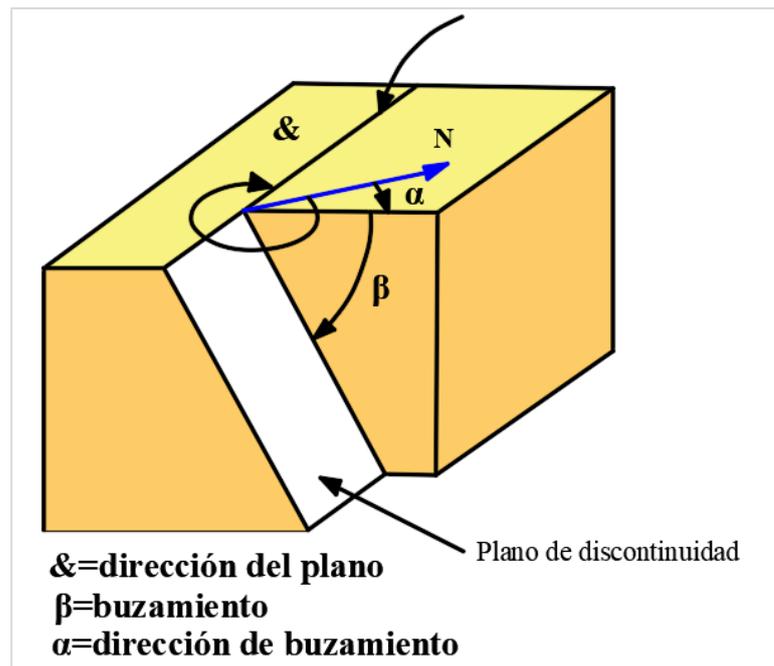
Nota: adaptado de Rock slope engineering civil and mining, Wyllie & Mah (2005).

2.2.9.3. Definición de términos geológicos

Un plano de una estructura se define por su inclinación con respecto al horizontal llamado buzamiento, por su orientación con respecto al norte, lo que se llama rumbo, o por la dirección del buzamiento del plano.

Figura 31

Definición de terminología geológica



Nota: adaptado de Rock slope engineering civil and mining Wyllie & Mah (2005)

Para medir se realiza con el uso de la brújula y esta referida al norte magnético; se es utilizado este término para definir la orientación en un plano geológico. mientras que una lectura de un plano queda lecturado correctamente con una dirección de N30W y un buzamiento de S20W. Si es lecturado con un buzamiento de 20°, no sería entendible para el análisis si buza hacia el suroeste o el noreste.

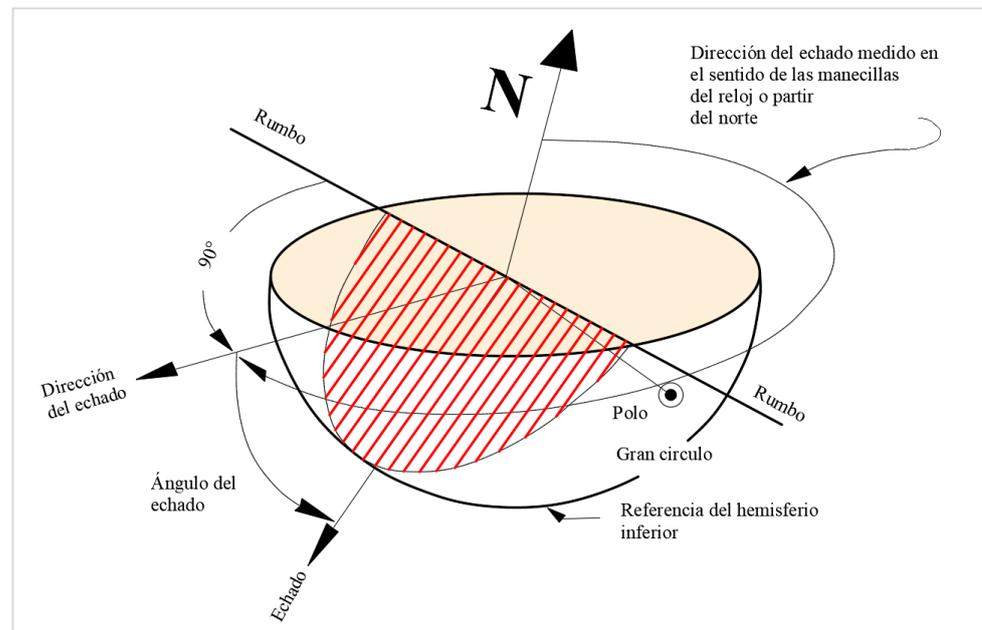
Los especialistas en geotecnia que utilizan computadoras para el análisis prefieren el azimut y el buzamiento en lugar de los rumbos para

determinar la dirección del plano. No hay confusión sobre el rumbo y el cabeceo de la aeronave cuando se informa como 210/20.

En la Figura 32, se observa la proyección de los datos lecturados plasmados en un plano estereográfico, donde el buzamiento esta en sentido horario iniciando del norte. El plano perpendicular hacia el plano es llamado polo.

Figura 32

Términos empleados en la relación de la estereografía



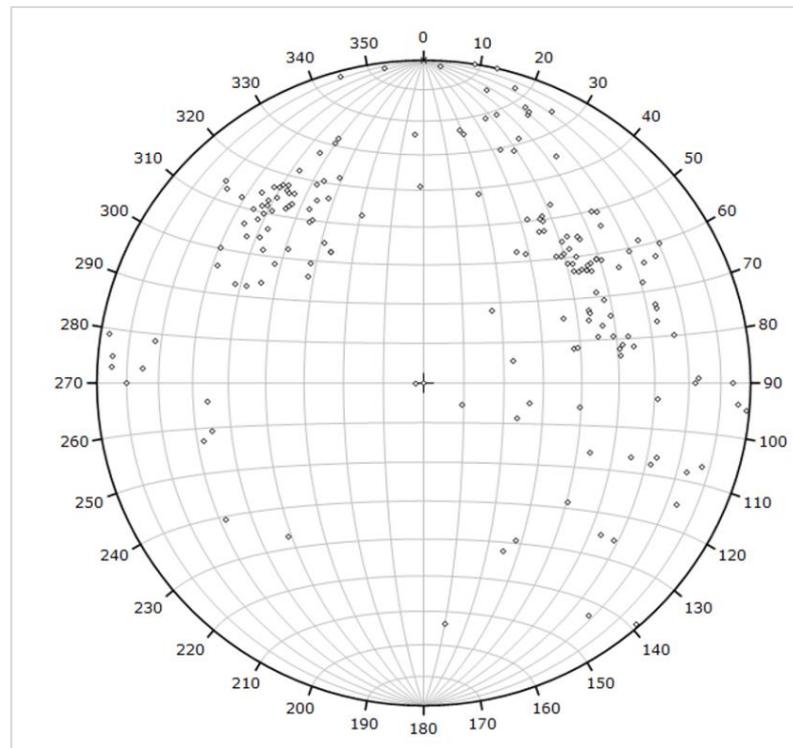
Nota: adaptado de Rock slope engineering civil and mining Wyllie & Mah (2005).

2.2.9.4. Gráfico de polos

El polo a un plano de acuerdo con Wyllie & Mah (2005) menciona que “permite que un punto represente la orientación del plano. Los diagramas de polos, en los que cada plano está representado por un solo punto, son el medio para realizar su ubicación” (p. 30).

Figura 33

Gráfico de polos



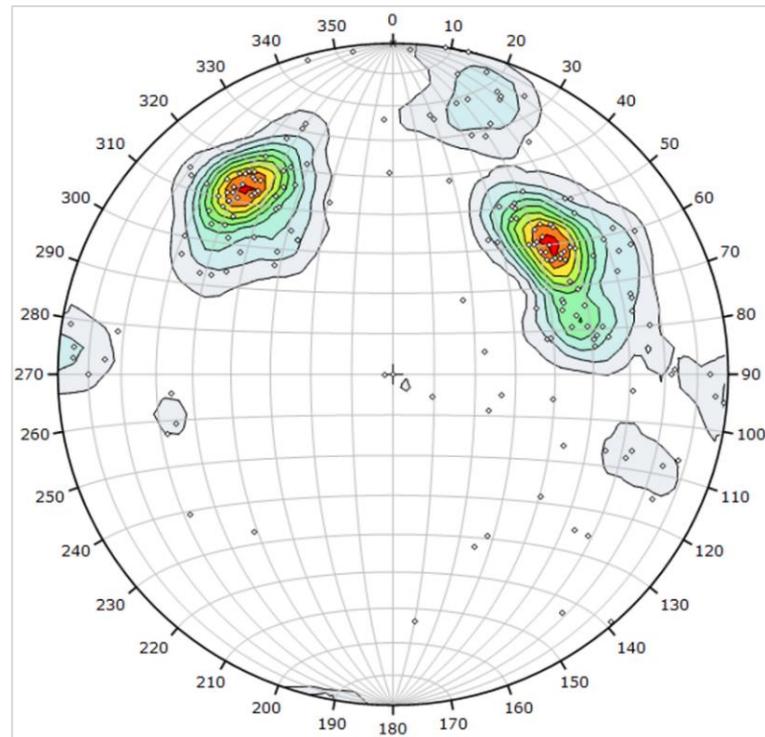
Nota: adaptado de Rock slope engineering civil and mining Wyllie & Mah (2005).

2.2.9.5. Densidad de polos

La densidad de polos como afirma Wyllie & Mah (2005) menciona que “si el gráfico contiene polos de varios conjuntos de discontinuidades, puede resultar difícil distinguir entre los polos de los diferentes conjuntos y encontrar la orientación más probable de cada conjunto. Sin embargo, al contornear el gráfico, se pueden identificar más fácilmente las áreas más concentradas de polos” (p. 31). Para unificar o dar más clara la densidad de polos antes de ello se tuvo que encerrar en círculos, las cuales ellos representan la “falsilla de Dimitrievitch”, Anexo A-10 en donde nos ayuda a generar conjuntos o agrupaciones de polos que los llamaremos familias del grupo de discontinuidades, donde a mayor concentración de polos mayor será su confiabilidad de esa familia determinada.

Figura 34

Agrupación de polos



Nota: adaptado de Rock slope engineering civil and mining Wyllie & Mah (2005).

2.2.9.5. Modos de rotura

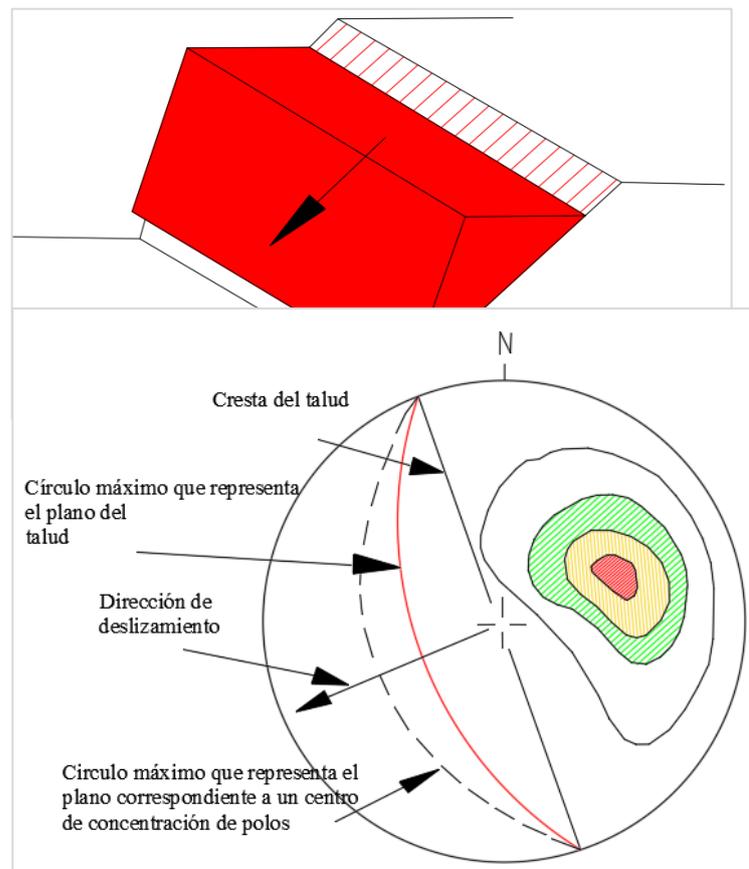
Según Wyllie & Mah (2005) nos menciona que para “la estabilidad de taludes se presentan diferentes posibles fallas geológicas, donde el proyectista debe anticipar ello al inicio del trabajo, construcción de la estructura” (p. 35). Como primer paso de todo el estudio es saber identificar en las primeras etapas del investigador el tipo de rotura pueda suceder en los movimientos producidos en los taludes de deslizamiento. En los diferentes tipos de roturas de los taludes

Modo de rotura planar: se produce siguiendo la discontinuidad en el macizo rocoso con la que la dirección es aproximadamente igual a la del talud pero que su buzamiento es un poco menos que éste, teniendo un prisma de roca. Se da sobre todo en superficies laterales de despegue.

Ramírez & Alejano (2004) y Morales (2009) señalan que la representación semiesférica en la red de Schmidt de esta condición se observa en la Figura 35, recalca que el rumbo de la familia de discontinuidades es similar al del talud y su buzamiento es menor.

Figura 35

Proyección estereográfica de rotura plana



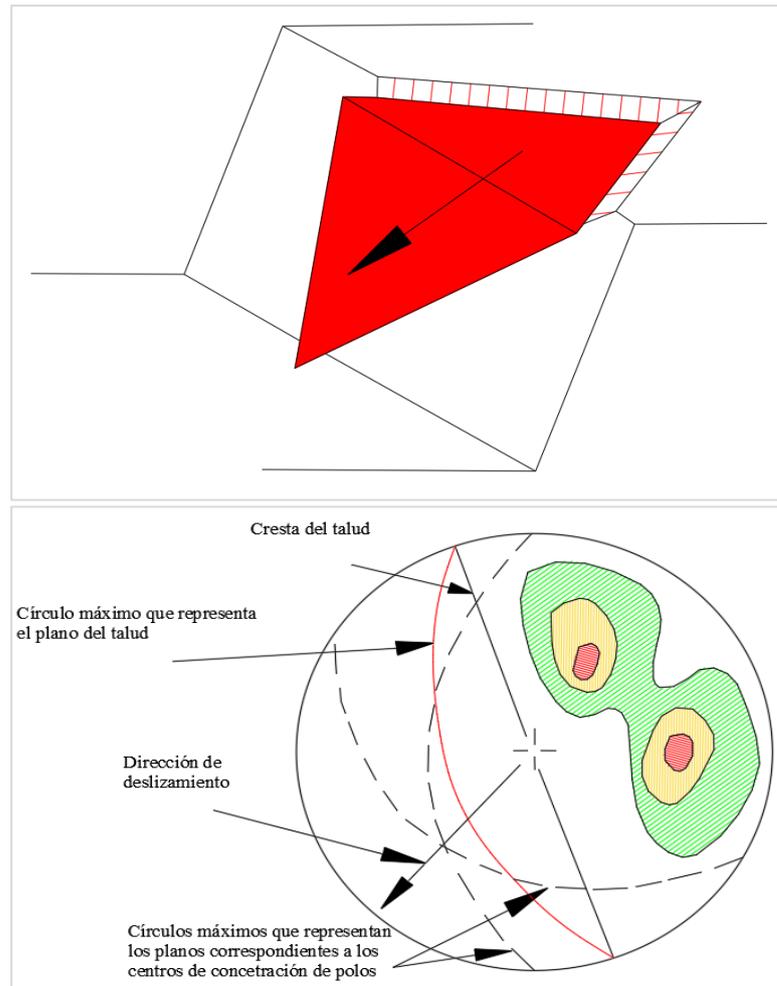
Nota: adaptado a partir de Wyllie & Mah (2005).

Modo de rotura por cuña: está formado por dos superficies discontinuas, cuyos ángulos de inclinación se cruzan con una ligera inclinación, formando en el futuro una cuña en movimiento (Ramírez & Alejano, 2004). Mientras tanto Morales (2009) nos menciona que en su proyección estereográfica se cumplirá cuando la intersección de los

círculos máximos de las dos familias esta al exterior que la del talud, como de la Figura 36.

Figura 36

Proyección estereográfica de rotura cuña

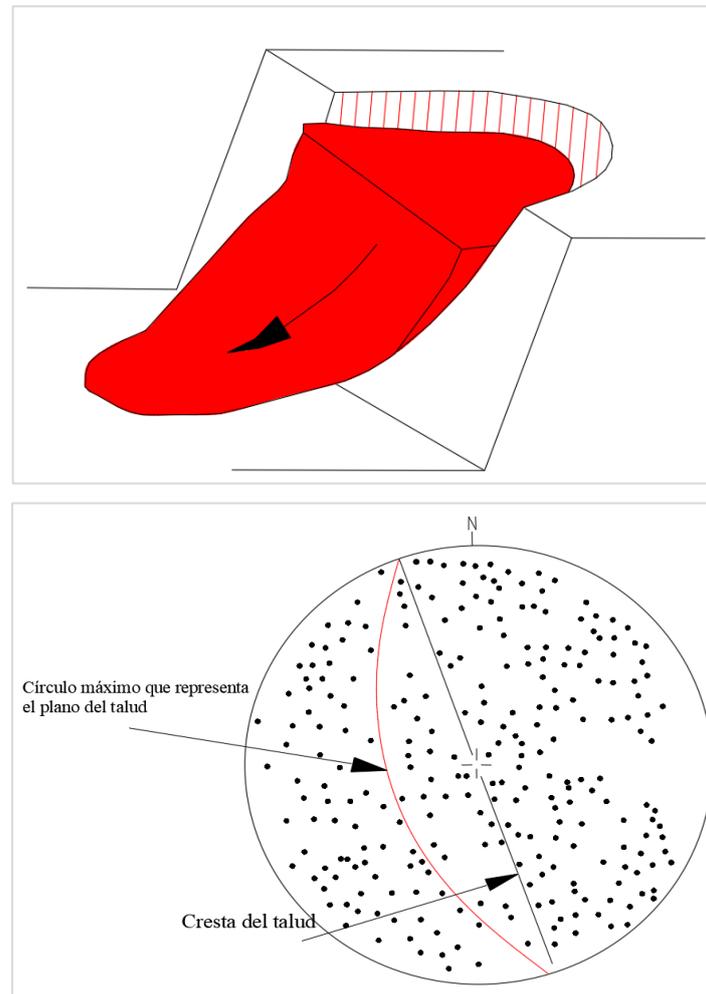


Nota: adaptado a partir de Wyllie & Mah (2005)

Modo de rotura circular: como lo señala Ramírez & Alejano (2004) que esta rotura circular se da en macizos de mala calidad o meteorizados. Y para Morales (2009) es “producida por muchos sets de fallas, las cuales tienen distintos rumbos y manteos, y dejan la roca muy fracturada, perdiendo la cohesión” (p. 31). Para esta rotura no se puede determinar un tipo de familia por el diagrama de polos.

Figura 37

Proyección estereográfica de rotura circular

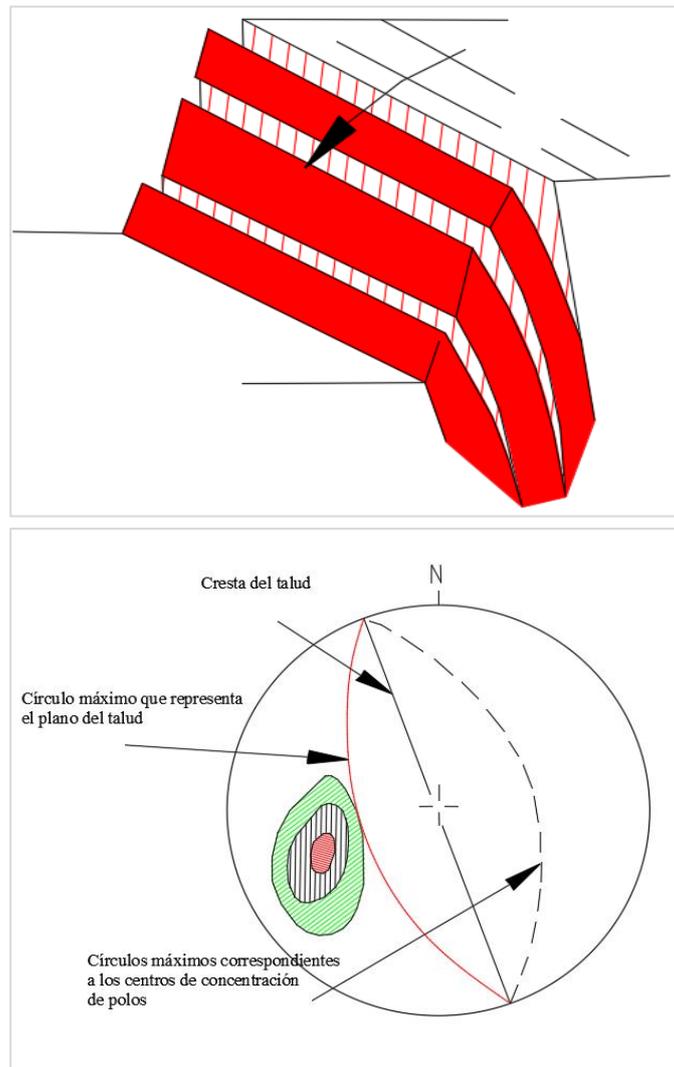


Nota: adaptado a partir de Wyllie & Mah (2005).

Modo de rotura por vuelco: se produce en familias de discontinuidades persistentes con un rumbo paralelo al del talud, pero que su buzamiento más alto. En algunos casos se ve catalizado por una familia perpendicular a la anterior (Ramírez & Alejano, 2004). Teniendo en cuenta a Morales (2009) se produce por un set de fracturas que son paralelas, la cuales pueden rotar por sobre la base con ayuda de la gravedad.

Figura 38

Proyección estereográfica de rotura por vuelco



Nota: adaptado a partir de Wyllie & Mah (2005).

2.2.11. Clasificación geomecánica del macizo rocoso

La clasificación geomecánica de un macizo rocoso se realiza mediante la observación directa con ensayos, índices de calidad relacionados directamente con el macizo y sus características con el sostenimiento de túneles y taludes (Gonzales, 2004). Se tiene tres tipos de clasificaciones más usadas en el campo de la ingeniería las cuales son de Bieniawski (RMR) se emplea para su caracterización de los macizos rocosos como en la aplicación de túneles, la de Barton, Lien y



Lunde (Q) se aplica solo para túneles y la de Hoek-Brown (GSI). En las dos mencionadas clasificaciones se usarán el parámetro del (RQD).

2.2.11.1 Índice de designación de la calidad de roca (RQD)

Para esta designación de cuantificar la competencia del macizo rocoso como base común en los diferentes sistemas y así tener un tipo de información. A inicios el RQD era una forma de clasificar a un macizo rocoso, luego se convirtió en un factor de clasificador como se conoce en el RMR.

a) Testigos de perforación diamantina

El índice de calidad RQD, inicialmente fue dado por Deere en 1963, con la finalidad de valorar al macizo rocoso con una valoración numérica con los testigos obtenidos a partir de la perforación. Este proceso se tiene para dar una numeración donde la suma total de los tramos de los testigos mayores a 10 cm de longitud en relación directa con su longitud total y multiplicándola por 100.

Según el ISRM, nos sugiere tener como mínimo que el diámetro de perforación sea de 2.15 pulgadas para la extracción de las muestras de roca.

$$RQD = \frac{\sum \text{Longitud de testigos mayor a 10 cm}}{\text{Longitud total}} \times 100\% \quad (9)$$

Tabla 10

Índice de calidad del macizo rocoso

RQD (%)	Calidad
< 25	Muy mala
25 - 50	Mala
50 - 75	Media
75 - 90	Buena
90 - 100	Muy buena

Nota: adaptada de Gonzales (2004).

Villaescusa & Brown (1992) proponen una índice frecuencia lineal de discontinuidades para estimar la intensidad de juntas en un macizo rocos, el cual se determina simplemente agregando el número de discontinuidades por metro de muestreo (testigos de perforación diamantina o línea de detalle en una cara de roca).

Tabla 11

Relación RQD y frecuencia lineal de discontinuidades

Calidad de roca	Frecuencia lineal	RQD (%)
Muy pobre	> 17	0 - 20
Pobre	12 - 17	20 - 40
Regular	7 - 12	40 - 60
Buena	4 - 7	60 - 80
Muy buena	1.5 - 4	80 - 95
Excelente	< 1.5	95 - 100

Nota: adoptada de Villaescusa & Brown (1992).

b) Mapeo por celdas

Según Palmstrom (1982) que L_v tiende a ser el número de discontinuidades en la roca, para la cual planteo una ecuación para



macizos rocosos, pero haciendo una excepción la cual era que no contenga arcilla.

$$RQD = 115 - 3.3 * Lv \quad (10)$$

(RQD =0 cuando $Lv >35$, RQD = 100 cuando $Lv \leq 4.5$)

Mas adelante Palmstrom (2005) modifico dicha ecuación y la define como:

$$RQD = 110 - 2.5 * Lv \quad (11)$$

(RQD =0 cuando $Lv >44$, RQD = 100 cuando $Lv \leq 4$)

El Lv también puede determinarse a partir de los espaciamentos en las discontinuidades según la Ecuación 12.

$$Lv = \frac{1}{D_1} + \frac{1}{D_2} + \frac{1}{D_3} + \dots + \frac{1}{D_n} + \frac{N_r}{5\sqrt{Ar}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\bar{S}_i} \quad (12)$$

Donde,

D_i =Espaciamento.

N_r =Cantidad de familias.

Ar =Área de estudio.

Como también se puede obtener un valor del espaciamento la cual represente a esa área de estudio a partir del Lv , como se muestra en la siguiente ecuación.

$$\bar{s} = \frac{1}{Lv} \quad (13)$$

C) Mapeo por línea de detalle

Priest y Hudson (1976) plantean otra forma para calcular el RQD con respecto a las discontinuidades (l) a través de la siguiente ecuación.

$$\text{RQD} = 100e^{-0.1l}(0.1k + 1) \quad (14)$$

Siendo “k” la inversa de la frecuencia de discontinuidades (l/frecuencia).

2.2.11.2. Sistema de clasificación RMR

Así como lo menciona Ramírez & Alejano (2004) que “para determinar la calidad del macizo rocoso, se divide este en dominios estructurales, es decir, en zonas delimitadas por discontinuidades geológicas, dentro de las cuales la estructura es prácticamente homogénea (p. 149). Con ello se comprende que en el macizo se presentará fallas, diaclasas y otras características geológicas donde se tendrá una valoración para cada una de ellas.

La versión más usada es el RMR_{89} . Donde se ve los siguientes parámetros.

- (a) Resistencia a la compresión de la roca.
- (b) Índice de calidad del macizo rocoso (RQD).
- (c) Espaciamiento de las discontinuidades.
- (d) Persistencia, abertura, rugosidad, relleno y alteración de las discontinuidades.
- (e) Condiciones hidrológicas.
- (f) Reajuste de las discontinuidades principales.

El valor está definido por $\text{RMR}_{89}=(a)+(b)+(c)+(d)+(e)-(f)$

Para calificar este sistema de clasificación según Gonzales (2004) nos menciona una tabla de valoración del macizo rocoso y en que clase a de encontrarse.

Tabla 12

Valoración del macizo rocoso

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo de rozamiento
I	Muy buena	100 - 81	$> 4 \text{ kg/cm}^2$	$> 45^\circ$
II	Buena	80 - 61	$3 - 4 \text{ kg/cm}^2$	$35^\circ - 45^\circ$
III	Media	60 - 41	$2 - 3 \text{ kg/cm}^2$	$25^\circ - 35^\circ$
IV	Mala	40 - 21	$1 - 2 \text{ kg/cm}^2$	$15^\circ - 25^\circ$
V	Muy mala	< 20	$< 1 \text{ kg/cm}^2$	$< 15^\circ$

Nota: adaptado de Ingeniería Geológica: Fundamentos e ingeniería de taludes, elaborado por Gonzales (2004, p. 233)

2.2.11.3. Método de índice GSI (Geological Strength Index)

El GSI es una clasificación en macizos rocosos que evalúan los parámetros de “ m_b ” y “ s ” de la clasificación de Hoek-Brown dado en 1980. Según Ramírez & Alejano (2004) que “la clasificación GSI se basa en una observación cuidadosa del macizo rocoso y, por consiguiente, es esencialmente cualitativa. Este índice incorpora la estructura del mismo y las características geomecánicas de las superficies de discontinuidad existentes” (p. 165).

Figura 39

Carta para determinar el GSI

<p>INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA MACIZOS ROCOSOS FRACTURADOS (Marinos & Hoek (2000))</p> <p>Estime el valor típico del GSI considerando el tipo de roca, la estructura del mecizo rocoso, y la condición de las discontinuidades.</p> <p>NO trate de ser demasiado preciso. De hecho, al considerar $33 \leq GSI \leq 37$ es más realista que considerar $GSI=35$. Note que esta tabla NO es aplicable a problemas con control estructural. Si hay estructuras desfavorablemente orientadas, ellas controlaran el comportamiento del macizo rocoso.</p> <p>En aquellos casos en que la resistencia al corte de las estructuras podría ser afectada por la humedad, deberá considerarse la eventual presencia de agua. Esto puede hacerse "desplazando hacia la derecha" el rango estimado para GSI.</p> <p>La presión del agua no se considera al evaluar el rango de GSI; ya que la misma se incorpora posteriormente en los análisis geotécnicos, los que se desarrollan considerando esfuerzos efectivos.</p>	<p>CONDICIÓN DE LAS ESTRUCTURAS</p> <p>MUY BUENA muy rugosas, cajas frescas o no intemperizadas</p> <p>BUENA Rugosas cajas ligeramente intemperizadas y algo oxidadas</p> <p>REGULAR Lisas, cajas moderadamente intemperizadas y algo oxidadas</p> <p>MALA Pulidas, cajas meteorizadas con patinas o con rellenos y/o fragmentos angulosos</p> <p>MUY MALA Pulidas, cajas muy meteorizadas, con patinas o con rellenos de arcilla blanda</p>				
<p>ESTRUCTURA DEL MACIZO</p> <p>INTACTA o MASIVA Probetas de roca intacta macizos masivos o con pocas y muy espaciadas estructuras</p>	<p>DISMINUYE LA CALIDAD</p>				
<p>BLOCOSA Macizos con 3 sets de estructuras, que definen bloques cubicos, bien trabados entre sí</p>	90			50	40
<p>MUY BLOCOSA Macizos con 4 sets de estructuras, o más, que definen bloques angulosos y trabados, pero que están parcialmente perturbados.</p>	80			30	
<p>BLOCOSA VETEADA Macizos plegados y con bloques angulosos formados por la intersección de muchas estructuras. Los planos de estratificación y/o esquistosidad son persistentes.</p>	70			20	
<p>DESINTEGRADA Macizo fuertemente fracturado, con una mezcla de bloqueo angulosos y redondeados, pobremente trabados.</p>	60			10	
<p>LAMINADA / CIZALLADA Macizo con planos débiles (cizalla y/o esquistosidad), muy poco espaciado entre si y que no definen bloques.</p>	N/A	N/A			

Nota: adaptado a partir de Marinos & Hoek (2000)

De la Figura 40 se tiene las siguientes clases de calidad:

- Macizos de calidad MUY MALA (Clase V; $0 \leq GSI \leq 20$).

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

Como lo menciona Marinos et al., (2005) que no es favorable realizar la correlación en rocas débiles o heterogéneos, valores de $\text{GSI} < 35$. Si el valor del RMR fuese mayor a 23, se puede dar una aproximación disminuyendo al RMR menos 5 unidades teniendo el valor del GSI (p. 150).

Figura 40

Carta para determinar el GSI (heterogéneos)

INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA MACIZOS ROCOSOS ESTRATIFICADOS HETEROGENEOS		CONDICIÓN ESTRUCTURAS (PLANOS DE ESTRATIFICACIÓN)	
En base a una descripción de la litología, la estructura del macizo y la condición de las estructuras (especialmente los planos de estratificación), seleccione una zona en la tabla. Ubique en esa zona la posición correspondiente a la condición de las estructuras y estime el valor medio de GSI. NO trate de ser demasiado preciso.		MUY BUENA Muy rugosa, superficies frescas o no meteorizadas.	BUENA Rugosa, superficies algo meteorizadas.
COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO		REGULAR Lisas, superficies moderadamente meteorizadas y alteradas.	MALA Muy lisas, ocasionalmente pulidas, con pátinas compactas o rellenos con fragmentos angulosos.
		MUY MALA Muy lisas y pulidas o de superficies meteorizadas, y con pátinas o rellenos de arcilla blanda.	
	A. Estratos gruesos de arenisca de mucha blocosidad. El efecto de posibles pátinas pelíticas en los planos de estratificación se ve minimizado por el confinamiento del macizo rocoso.		A
	B. Arenisca con lentes delgadas de limolita.		B, C, D, E
	C. Arenisca y limonita en estratos de similar potencia.		
	D. Limolitas o esquistos limosos con estratos de arenisca.		F
	E. Limolitas débiles o esquistos arcillosos con estratos de arenisca.		
C, D, E y G: Pueden estar más o menos plegados que lo indicado, pero esto no altera su resistencia.			
	F. Esquistos limosos o arcillosos, deformados tectónicamente, muy plegados y cizallados.		
	G. Esquistos limosos o arcillosos no perturbados.	N/A	G
	H. Esquistos limosos o arcillosos, deformados tectónicamente.	N/A	H

Nota: adaptado a partir de Marinos & Hoek (2000)

En casos particulares cuando el material es heterogéneo se puede realizar una versión única con la Tabla 41 para su valoración del GSI.

2.2.12. Criterios de resistencia y deformación del macizo rocoso

Para los criterios mencionados se tiende a estimar y estos métodos son los más utilizados para el análisis de macizos rocosos en la geotecnia.

Se describe un procedimiento para estimar la resistencia última de un tipo de roca, que incluye la evaluación de los criterios de Hooke-Brown y Mohr-Coulomb, que son los criterios más comúnmente utilizados en ingeniería de macizos rocosos. Así como lo menciona Gonzales (2004) que “la resistencia de los macizos rocosos es función de la resistencia de la matriz rocosa y de las discontinuidades, siendo ambas extremadamente variables, y de las condiciones geoambientales a las que se encuentra sometido el macizo” (p. 192). Cuando se mide la resistencia de un macizo rocoso en probetas se denomina a compresión simple, mediante el ensayo de resistencia uniaxial donde se romperá en la fractura con resistencia máxima, y ella estará en función de dos parámetros esencial que son fuerzas cohesivas y fuerzas friccionantes.

2.2.12.1. Criterio de resistencia de Hoek-Brown

En la actualidad es el criterio más usado para estudio en roca intacta, hallando sus propiedades necesarias para realizar el cálculo correspondiente y así con ello poder evaluar sus propiedades geomecánicas. Para este propósito se recomienda el criterio generalizado de Hoek – Brown, y la resistividad del macizo rocoso se puede estimar de la siguiente manera:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma'_{ci}} + S \right)^a \quad (15)$$

Donde,

σ'_1 y σ'_3 = esfuerzos principales efectivos.

σ_{ci} = resistencia en compresión uniaxial.

m_b, S y a = constantes del material que están dadas por.

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right) \quad (16)$$

$$S = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right) \quad (17)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{\frac{-GSI}{15}} - e^{\frac{-20}{3}} \right) \quad (18)$$

Tabla 13

Condición para determinar el parámetro "D" en taludes

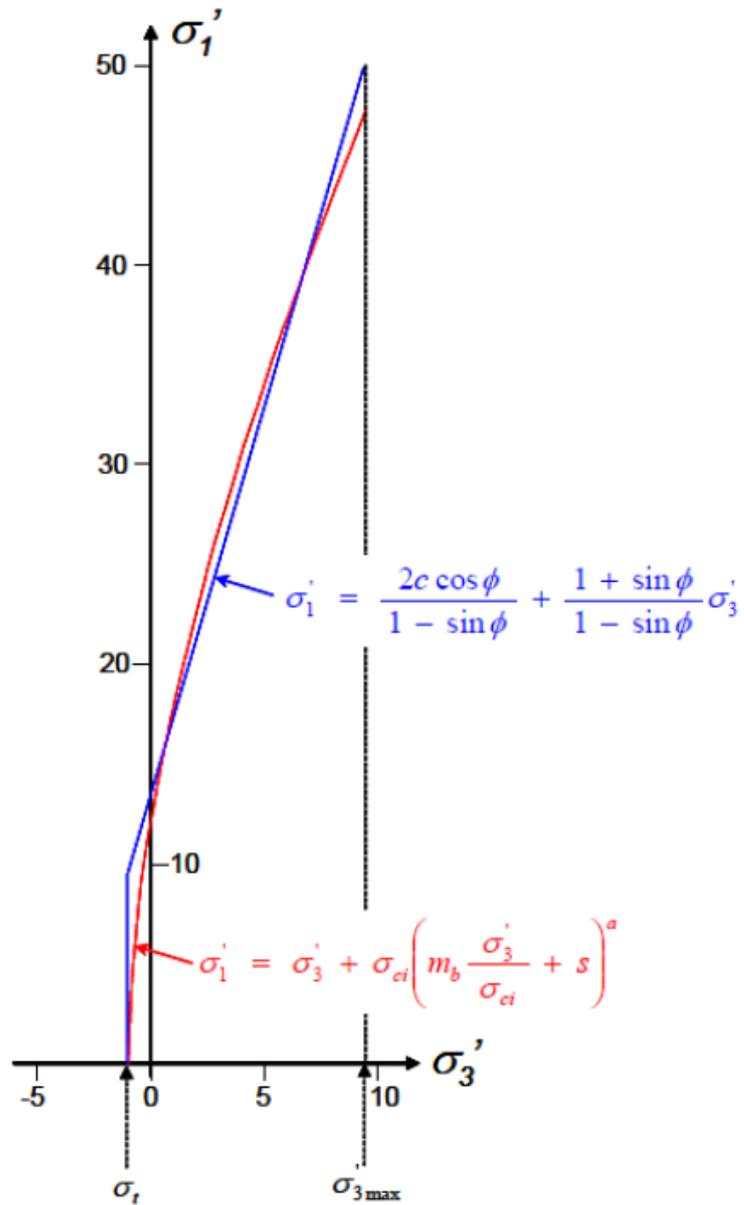
TALUDES EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERA	
Condición del macizo rocoso	D
Voladuras con excelente control en pequeños taludes.	0.7
Excavación por arranque mecánico o riplado en rocas blandas.	
Voladuras poco cuidadosas en pequeños taludes en el ámbito de la ingeniería civil.	1.0
En cortas y grandes explotaciones mineras a cielo abierto.	

Nota: adaptado de Hoek (2002).

En la ecuación, "m_i" se determina a partir de "m", GSI (índice de resistencia geológica) y D es un factor de la perturbación a partir de la relieve y voladura.

Figura 41

Una envolvente lineal y envolvente de Hoek - Brown



Nota: tomado de Hoek et al. (2002)

2.2.12.2. Criterio de resistencia de Mohr Coulomb

Utilizado generalmente en la rama de la geotecnia, con datos de la ecuación siendo el ángulo de fricción y la cohesión, expresada la siguiente ecuación tanto en suelos como en rocas.

$$\tau = c\sigma'_n \tan\phi \quad (19)$$

Trabando en 3 situaciones de coordenadas se tendría a $\sigma'_1 - \sigma'_3$, representando a las diferentes direcciones de esfuerzos que presenta la roca.

$$\sigma'_1 = \frac{2c \cos \phi}{1 - \sin \phi} + \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \sigma'_3 \quad (20)$$

Las siguientes ecuaciones muestran correcciones a partir de la envolvente de Hoek -Brown para determinar el ángulo de fricción y cohesión.

$$\phi' = \sin^{-1} \left(\frac{6am_b(s + m_b\sigma'_3)^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b(s + m_b\sigma_3)^{a-1}} \right) \quad (21)$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci}((1-2s)s + (1-a)m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + \frac{6am_b(s + m_b\sigma_3)^{a-1}}{(1+a)(2+a)}}} \quad (22)$$

$$\sigma'_3 = \frac{\sigma'_{3máx}}{\sigma_{ci}} \quad (23)$$

El valor de $\sigma'_{3máx}$ correspondiente al esfuerzo limite la cual se determina en cada estudio, con ello se puede obtener la resistencia a la compresión simple.

$$\sigma'_{cm} = \frac{2c' \cos \phi'}{1 - \sin \phi'} \quad (24)$$

Donde, la cohesión y el ángulo de fricción para los esfuerzos $\sigma'_t > \sigma'_3 > \sigma'_{ci/4}$, también puede ser obtenida mediante la siguiente ecuación.

$$\sigma'_{cm} = \sigma_{ci} \frac{m_b + 4s - a(m_b - 8s) \left(\frac{m_b}{4} + s \right)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)} \quad (25)$$

En estudios realizados por el método de Bishop se propuso una estimación para $\sigma'_{3máx}$ en la estabilidad de taludes la siguiente ecuación.

$$\frac{\sigma'_{3m\acute{a}x}}{\sigma'_{cm}} = 0.72 \left(\frac{\sigma'_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.91} \quad (26)$$

Siendo H, la altura.

2.2.13. Análisis de la estabilidad de taludes

Según Ramírez & Alejano (2004) refiere que “cuando el coeficiente de seguridad de un talud bien calculado es inferior a 1, es muy probable que se produzca su rotura” (p. 259). En caso de taludes de minera solo se requiere un análisis de estabilidad por tiempos determinados donde se tiene un factor de seguridad mayor o igual a 1.2

Mientras tanto Gonzales (2004) nos menciona que se debe aplicar el diseño de taludes cuando se presente problemas de inestabilidad, y con respecto al factor de seguridad nos menciona que si son taludes temporales se debe optar por un valor de 1.3 pero si fuesen taludes para largo tiempo su factor deberá ser superior a 1.5; en el caso hubiera personas que tengan edificaciones en el pico del talud tendría un factor superior a 2.

Como también Gonzales (2004) comenta que en el análisis de estabilidad tiene fuerzas a favor que ayudan en su estabilización y las fuerzas en contra, como son su peso mismo, cargas externas (p. 445). La elección de los diferentes métodos a optarse dependerá de varios factores como objetivos del estudio, detalle a realizar, características geológicas, datos disponibles que se halle en campo tanto geológicos o geomecánicas e hidrológicos.

2.2.14. Métodos para el análisis de la estabilidad de taludes

Para los diversos métodos para el análisis dependerá de los diversos factores, para las cuales tenemos a Read & Stacey (2009) donde menciona como



a los métodos empíricos, métodos cinemáticos, método de equilibrio límite, métodos numéricos, métodos estadísticos. En la variedad de los autores tenemos el más usado es las proyecciones estereográficas.

2.2.14.1. Métodos empíricos

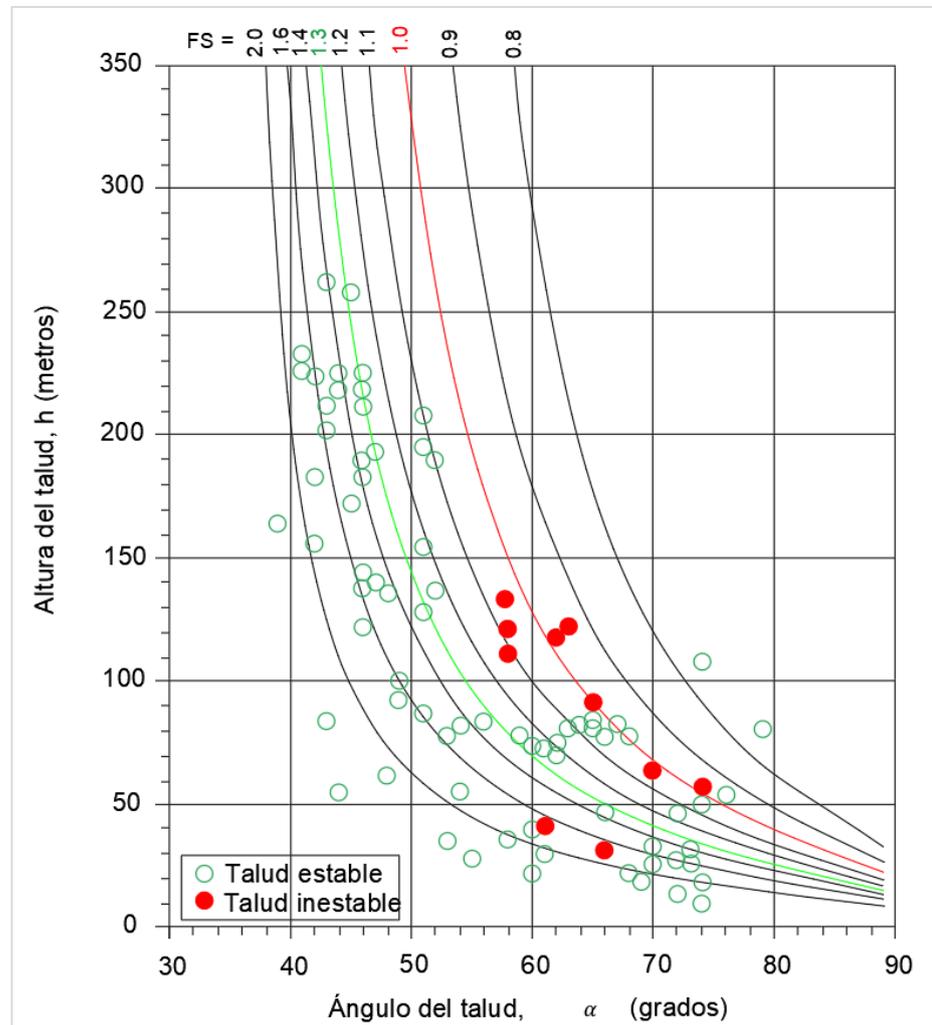
De acuerdo con Read & Stacey (2009) considera que para “una etapa temprana en la ejecución de dicho estudio no es confiable el método, pero si para un estudio preliminar, siempre que se reconozcan sus limitaciones” (p. 246).

Cuadros de ángulos de talud versus altura del talud: en las publicaciones de Hoek (1970), donde probo muchas pendientes e incluyo una variedad de diferentes ángulos de pendiente, como se muestra en la Figura 43, hay una similitud con los gráficos de Hoek y Bray (1981) y Wyllie y Mah (2004).

Al analizar ejemplos, incluidas tablas publicadas por Hoek (1970) y Sjoberg (1996). Hoek informó un estudio de varias pendientes incluyendo una variedad de ángulos de pendiente como se muestra en la Figura 43, similar a las tablas propuestas por Hoek & Bray (1981) y Wyllie & Mah (2005), donde el método de Hoek era una comparación simple de pendientes angulares y su altura presenta pendientes estables e inestables.

Figura 42

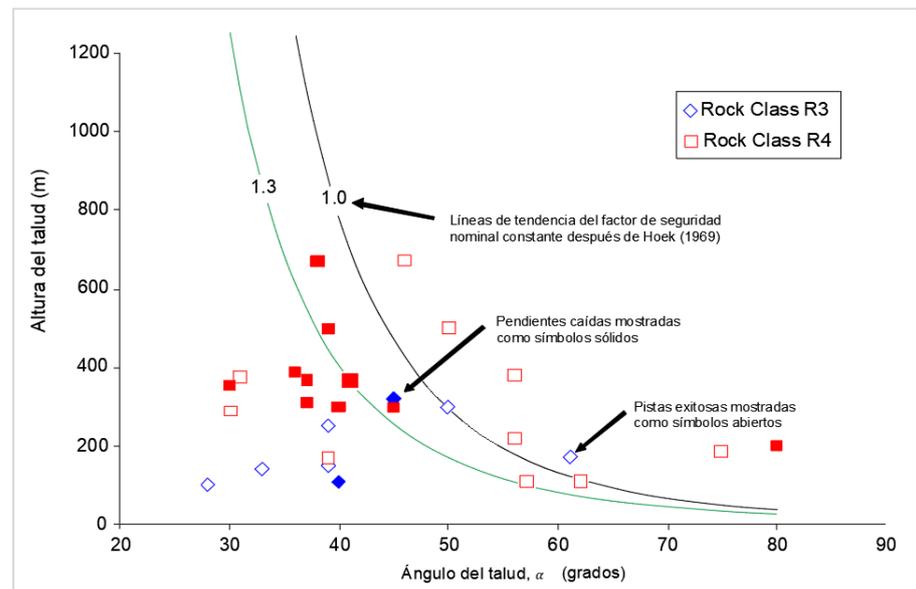
Factor de seguridad en taludes estables e inestables



Nota. Adaptado de Guidelines for open pit slope design, elaborado por Read & Stacey (2009).

Figura 43

Éxito y fracaso de pendientes de roca designados por fuerza de la roca



Nota. Adaptado de Guidelines for open pit slope design, elaborado por Read & Stacey (2009)

2.2.14.2. Método cinemático

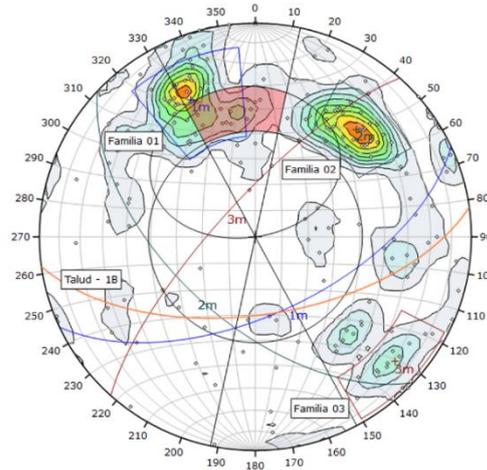
Un análisis cinemático que combina la dirección de la discontinuidad, la superficie del talud, la superficie superior del talud y una determinada superficie de interés, así como las fuerzas de fricción estudiadas, puede determinar de manera confiable qué modo de falla está presente.

Modo de falla planar: la falla planar ocurre principalmente en macizos rocosos que consisten en rocas de resistividad media y alta afectadas por fracturas o juntas. Cuando se trazan planos de buzamiento y discontinuidades en una proyección estereográfica, los errores de plano pueden ser una preocupación si hay una serie de discontinuidades con rumbos similares al buzamiento y con ángulos de buzamiento más bajos que este. Para su representación en su proyección estereográfica se aprecia

los datos geológicos recolectados. Para su simulación se puede usar el software RocPlane v.2.0 de la familia Rocscience.

Figura 44

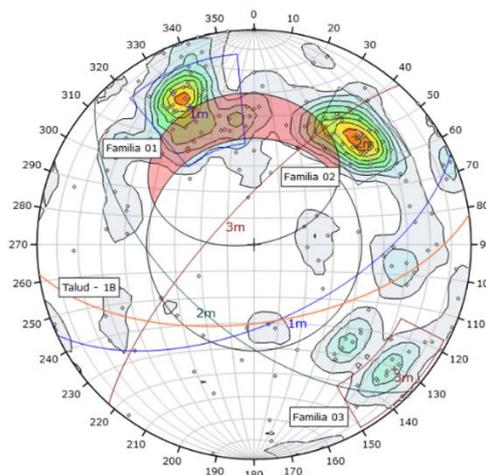
Proyección estereográfica para una falla planar con límites laterales de 20°



Nota: elaboración propia.

Figura 45

Proyección estereográfica para una falla planar sin límites laterales



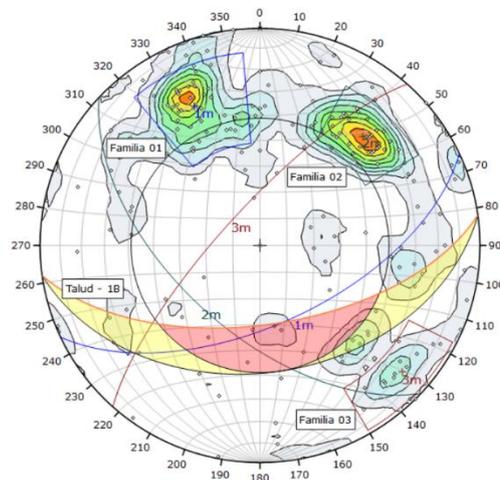
Nota: elaboración propia.

Modo de Falla en cuña: esta falla está dada particularmente por dos discontinuidades (estratos, clivajes, uniones, etc.). Este tipo de

deslizamientos suelen ocurrir en macizos rocosos duraderos con importantes discontinuidades. En su proyección estereográfica se apreciaron dos familias de discontinuidades de rumbos oblicuos. Para su simulación se necesitará la agrupación de polos que también son las familias, el dato del ángulo de fricción, donde se graficara una intersección de plano, ángulo de fricción y talud. Y la intersección de planos que se muestre dentro del área será los planos que están a favor de este tipo de falla. Como también se puede simular el caso de la falla con ayuda del software Swedge de la familia rocscience y así con ello conocer su factor de seguridad de la falla. Así como se tiene en la Figura 46, una representación con algunos polos el método del análisis cinemático.

Figura 46

Proyección estereográfica para una falla en cuña



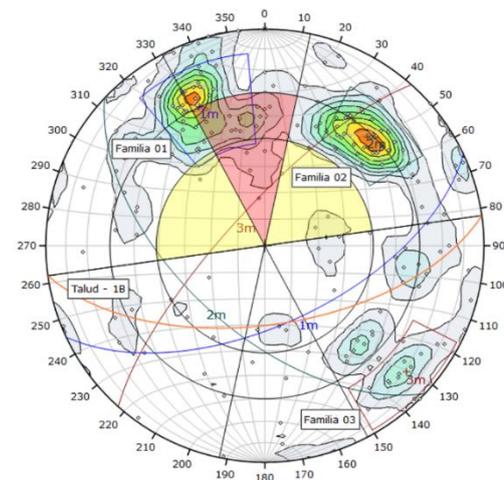
Nota: elaboración propia.

Modo de Falla por volteo: Las fallas de volteo de talud ocurren principalmente cuando la dirección de las discontinuidades, como falla o estratificación, se superpone aproximadamente con la dirección del buzamiento y están fuertemente inclinadas hacia el interior del macizo

rocoso. En su proyección estereográfica las familias de las discontinuidades se presentan con una orientación similar a la del talud. Para su análisis primeramente se trazará el plano del talud, luego se marca el ángulo de fricción la cual se marca desde el punto central, en seguida se marcan dos rectas a $\pm 20^\circ$, de ahí marcar una semicircunferencia que interseque la línea vertical norte a sur con el punto del ángulo de fricción, los polos que estén en dicho de área de intersección representaran bloques inestables potenciales. Como ejemplo se ve en la Figura 49 una representación de dicha grafica.

Figura 47

Proyección estereográfica para una falla de volteo

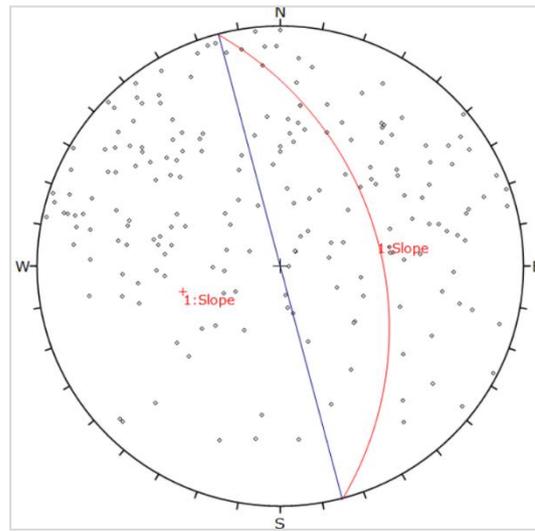


Nota: elaboración propia.

Modo de Falla circular: este tipo de falla se produce en terrenos homogéneos, donde se presente altamente fracturas sin direcciones predominantes de fracturación.

Figura 48

Proyección estereográfica para una falla circular



Nota: elaboración propia.

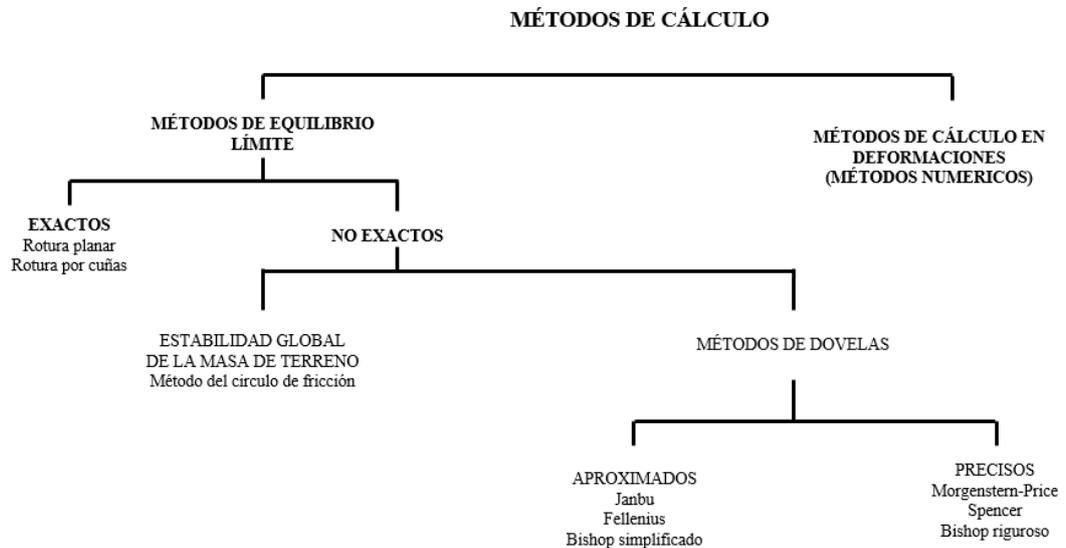
Se es común esta falla en escombreras, taludes de arena o arcilla y laderas naturales. En su proyección estereográfica se apreciará una serie de polos, mas no se podrá agrupar en familias.

2.2.14.3. Método de equilibrio limite

Como lo menciona Instituto Geológico y Minero de España (2006) que “este metodo es mas usado por encima de las deformaciones ya que es completo en su analisis de estabilidad de taludes” (p. 188). Mientras tanto los otros métodos son mas complejos y con un costo aun mas que de los metodos de equilibrio limite que se practica por su sencillez, donde el factor de seguridad se asemeja al campo, sus metodos estan basados a su comparación de fuerzas resistentes a la inestabilidad y analizadas en dos dimensiones aplicando la leyes de la estatica.

Figura 49

Clasificación de los métodos de cálculo de estabilidad de taludes



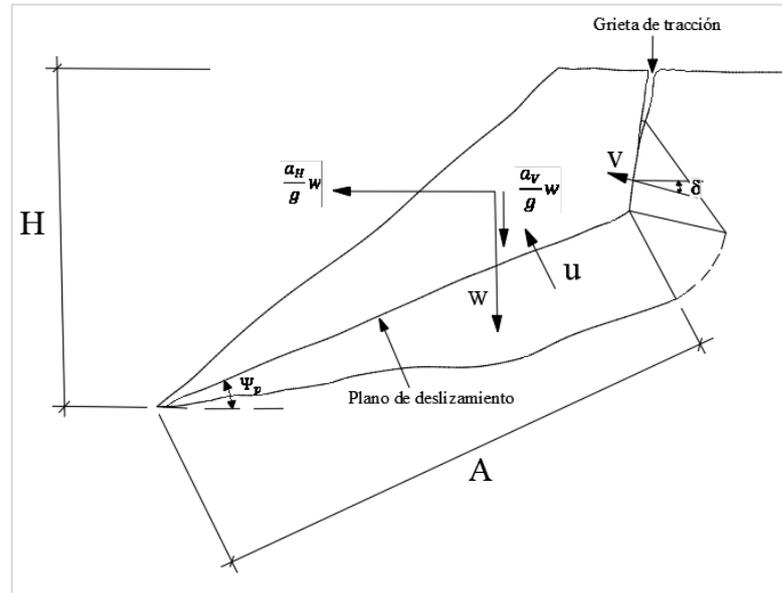
Nota: adaptado a partir de Instituto Geológico y Minero de España (2006, p. 188).

Se basa únicamente en leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de un macizo rocoso, mientras tanto no se tiene en cuenta las deformaciones del terreno. En este método la seguridad está determinada como el cociente de la resistencia al corte de deslizamiento y la fuerza resistente deslizante.

Análisis de estabilidad en falla planar: como menciona el Instituto Geológico y Minero de España (2006) que para el análisis que “las fuerzas que producen un deslizamiento y las fuerzas que se oponen en la dirección de la posible falla, a esa la división entre ellas es el factor de seguridad” (p. 204). Para solamente el caso que produzca deslizamiento y si en casa aparecieran momentos se desprecia, considerando un terremoto en la zona deslizante el factor de seguridad sería lo siguiente.

Figura 50

Análisis de estabilidad en rotura planar



Nota: adaptado a partir del Instituto Geológico y Minero de España (2006, p. 206)

$$FS = \frac{c'A + \left\{ W \left[\left(1 + \frac{a_V}{g} \right) \cos \psi_p - \frac{a_H}{g} \operatorname{sen} \psi_p \right] - U - V \operatorname{sen}(\psi_p + \delta) \right\} \operatorname{tg} \varphi'}{W \left[\left(1 + \frac{a_V}{g} \right) \operatorname{sen} \psi_p + \frac{a_H}{g} \cos \psi_p \right] + V \cos(\psi_p + \delta)} \quad (30)$$

Donde,

c' = cohesión efectiva.

φ' = ángulo de rozamiento interno efectivo en la superficie de deslizamiento.

A = área de la superficie.

W = peso de la masa.

ψ_p = ángulo que forma el plano.

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

δ = ángulo que forma la grieta.

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

g = gravedad.

No se tomará en cuenta las fuerzas sísmicas, la grieta mostrada en las siguientes imágenes es vertical, para las presiones se tendrá en cuenta una distribución triangular que actuaran (Instituto Geológico y Minero de España, 2006).

$$A = \frac{H - z}{\text{sen}\psi_p} \quad (31)$$

$$U = \frac{1}{2} \gamma_w z_w \frac{(H - z)}{\text{sen}\psi_p} \quad (32)$$

$$V = \frac{1}{2} \gamma_w z_w^2 \quad (33)$$

Para el caso (a).

$$W = \frac{1}{2} \gamma H^2 \left[\frac{1 - \left(\frac{z}{H}\right)^2}{\text{tg}\psi_p} - \frac{1}{\text{tg}\psi_t} \right] \quad (34)$$

Para el caso (b)

$$W = \frac{1}{2} \frac{\gamma H^2 \left(1 - \frac{z}{H}\right) \left(\frac{\text{tg}\psi_t}{\text{tg}\psi_p} - 1\right)}{\text{tg}\psi_p}; a_H = a_V = 0 \quad (35)$$

Donde,

H = tamaño del talud.

Z = profundidad de la grieta, tomado desde la cima del talud.

Z_w = altura de infiltración.

γ = peso específico de la roca.

γ_w = peso específico del agua.

$$FS = \frac{\left(\frac{2c'}{\gamma H}\right)P + \left(\frac{Q}{tg\psi_p} - R(P + S)\right)tg\phi^2}{Q + \frac{R \cdot S}{tg\psi_p}} \quad (36)$$

Donde,

$$P = \frac{\left(1 - \frac{z}{H}\right)}{\text{sen}\psi_p} \quad (37)$$

$$Q = \left[\frac{1 - \left(\frac{z}{H}\right)^2}{tg\psi_p} - \frac{1}{tg\psi_t} \right] \text{sen}\psi_p \quad (38)$$

(Caso a)

$$Q = \left(1 - \frac{z}{H}\right)^2 \cos\psi_p \left(\frac{tg\psi_t}{tg\psi_p} - 1\right) \quad (39)$$

(caso b)

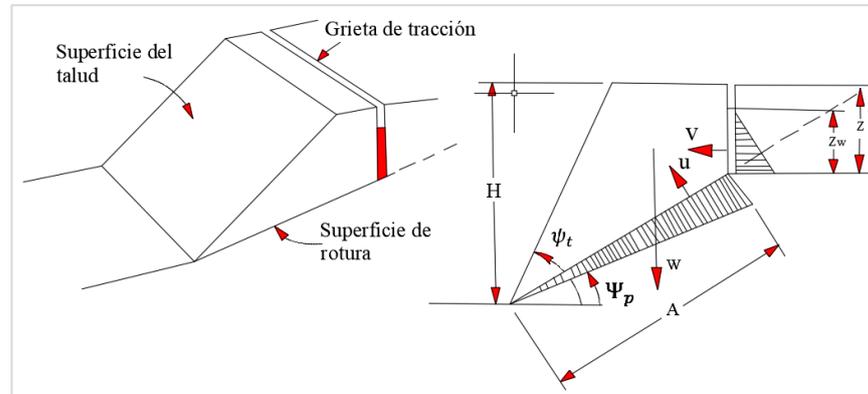
$$R = \frac{\gamma_w}{\gamma} \cdot \frac{z_w}{z} \cdot \frac{z}{H} \quad (40)$$

$$S = \frac{z_w}{z} \frac{z}{H} \text{sen}\psi_p \quad (41)$$

Los parámetros adimensionales P, Q y S se proporcionan, en función de Z_w/Z , Z/H , ψ_t y ψ_p en los gráficos adjuntos (Hoek & Bray, 1977).

Figura 51

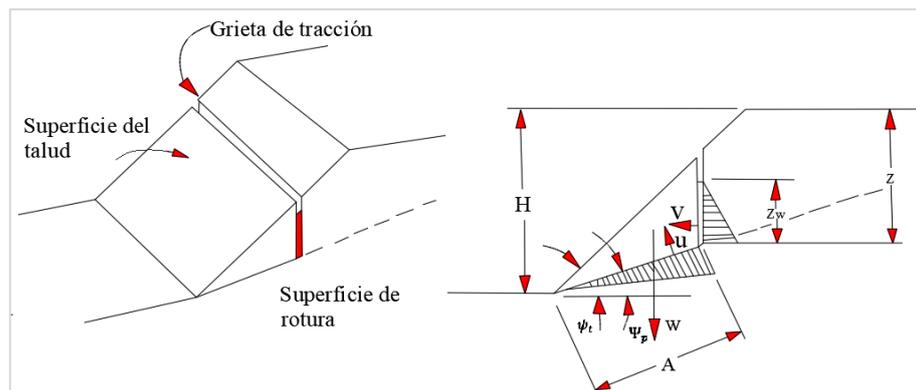
Caso a, grieta de tracción en la superficie superior del talud



Nota: adaptado a partir de IGME (2006, p. 207).

Figura 52

Caso b, grieta de tracción en el talud

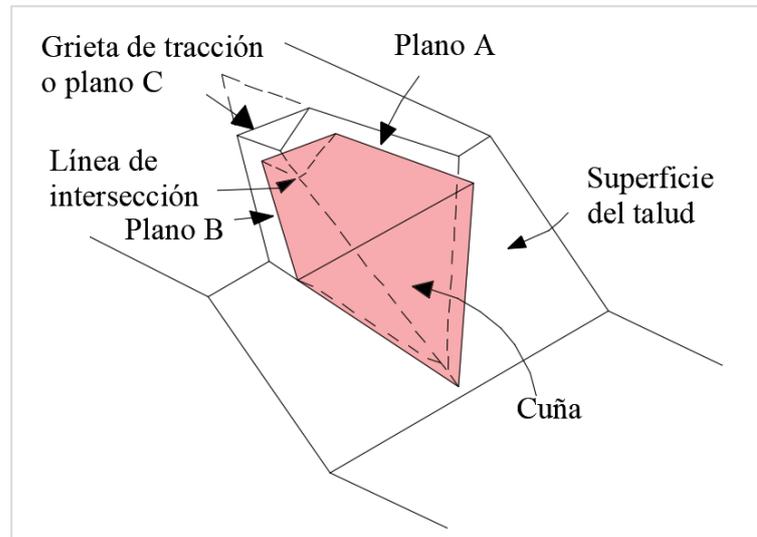


Nota: adaptado a partir de Instituto Geológico y Minero de España (2006, p. 207).

Análisis de estabilidad en falla por cuña: como menciona el Instituto Geológico y Minero de España (2006) que “para determinar su factor es más tedioso que del caso planar, ya que se tiene mucho más variables” (p. 212). A este tipo de falla se es controlada por la ubicación que tiene los planos, con las siguientes condiciones que el buzamiento de los planos que se intersecan deberá ser menores que lo que tiene el talud, como también superar al valor del ángulo de fricción.

Figura 53

Definición geométrica de la cuña



Nota: adaptada a partir de IGME (2006, p. 212)

El factor de seguridad será de la misma manera entre fuerzas a favor y las en contra, para las cuales se despreciará el efecto de los momentos de fuerzas actuantes.

$$FS = c'_A A_A + c'_B A_B + N_A \operatorname{tg} \psi'_A + N_B \operatorname{tg} \psi'_B \quad (42)$$

Donde,

FS = Factor de seguridad.

c'_A, c'_B = cohesión efectiva.

ψ'_A, ψ'_B = ángulo de rozamiento.

A_A, A_B = áreas de las superficies.

$N_A = W_{VA} - W_{HA} - U_A - V_A$, es la reacción normal efectiva sobre el plano

A.

$N_B = W_{VB} - W_{HB} - U_B - V_B$, es la reacción normal efectiva sobre el plano

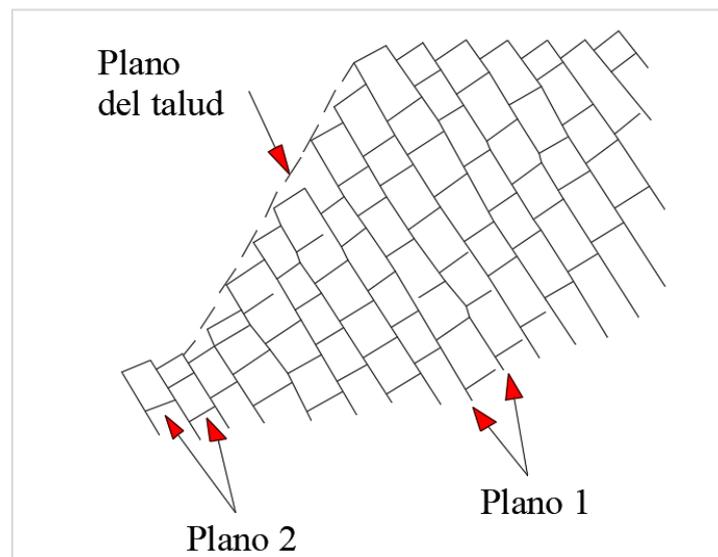
B.

$F_D = W_{VA} + W_{HD} - V_D$, resultante

Análisis de estabilidad en falla por vuelco: como menciona el Instituto Geológico y Minero de España (2006) que “para este tipo de falla se basa en las ecuaciones estáticas mas no análisis dinámicos” (p. 224). Este tipo de falla ocurre generalmente en tipos de rocas que están fracturadas de forma vertical.

Figura 54

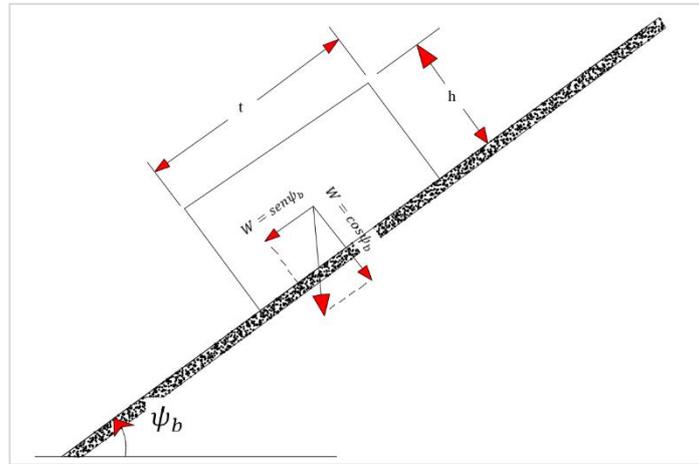
Discontinuidad de rotura



Nota: adaptado de Instituto Geológico y Minero de España (2006, p. 260)

Figura 55

Estabilidad de un bloque rectangular aislado



Nota: adaptado de Instituto Geológico y Minero de España (2006, p. 261)

El modo de fractura es $\psi_b > \varphi$ y cuando sea volteo $\text{tg } \psi_b > t/h$, con ello teniendo los posibles casos:

- A) $\varphi > \psi_b$ no existe deslizamiento
 - 1. $\text{tg } \psi_b < t/h$, no existe vuelco
 - 2. $\text{tg } \psi_b > t/h$, existe vuelco
- B) $\varphi < \psi_b$ existe deslizamiento
 - 1. $\text{tg } \psi_b < t/h$, no existe vuelco
 - 2. $\text{tg } \psi_b > t/h$, existe vuelco

Análisis de estabilidad en falla circular: como menciona el Instituto Geológico y Minero de España (2006) que “se producen en rocas fragmentadas con material homogéneo que están en diferentes direcciones” (p. 248). Para el análisis el método más usado es de dovelas, su análisis es laborioso por ello se recurre a los programas como Slide o Geo5, se puede optar para este caso los siguientes métodos: Bishop, los ábacos de Taylor, ábacos de Bishop y Morgenstern, ábacos de Hoek y



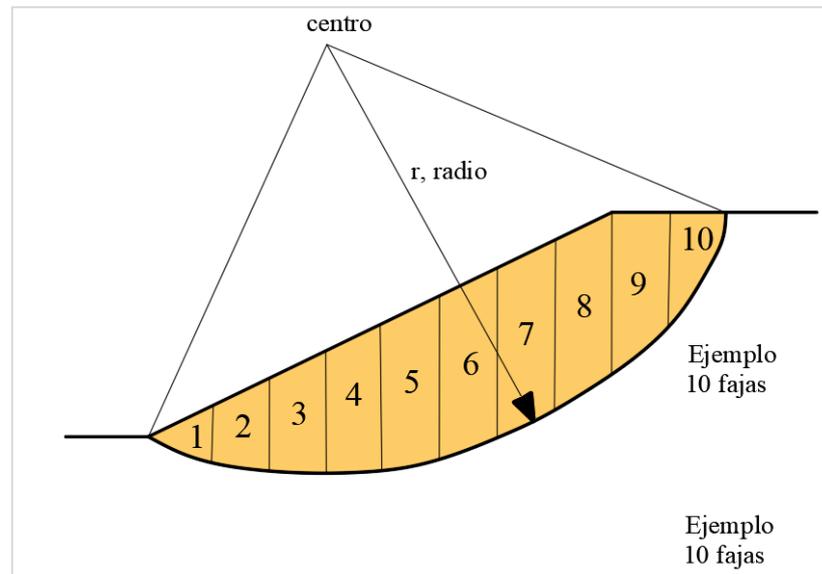
Bray que cada de uno de ellos tendrá una forma para hallar el factor de seguridad.

Y Gonzales (2004) menciona que “para el análisis de esta tipología de rotura en macizos rocoso isótropos, muy alterados o intensamente fracturados y de baja resistencia, pueden utilizarse los métodos para rotura circular en suelo” (p. 444). El macizo será muy alterado o intensamente fracturados, como también este tipo de macizos se van comportar como suelos.

Método de dovelas: Como señala el Instituto Geológico y Minero de España (2006) nos menciona que “el método esta dado en dos direcciones, analizando un corte vertical del talud fraccionándolo en fajas para posterior analizar cada una de ellas” (p. 189). Teniendo en cuenta a Ramírez & Alejano (2004) que “para llevar a cabo el análisis de estabilidad es necesario dividir la masa susceptible de deslizamiento en un conjunto de rebanadas y estudiar el equilibrio de cada una de ellas aisladamente, teniendo en cuenta la influencia de todas las demás” (p. 392). En este proceso es donde con un número de iteraciones se podrá saber la posición de posible falla a tener del talud.

Figura 56

División de la masa deslizando de una posible rotura

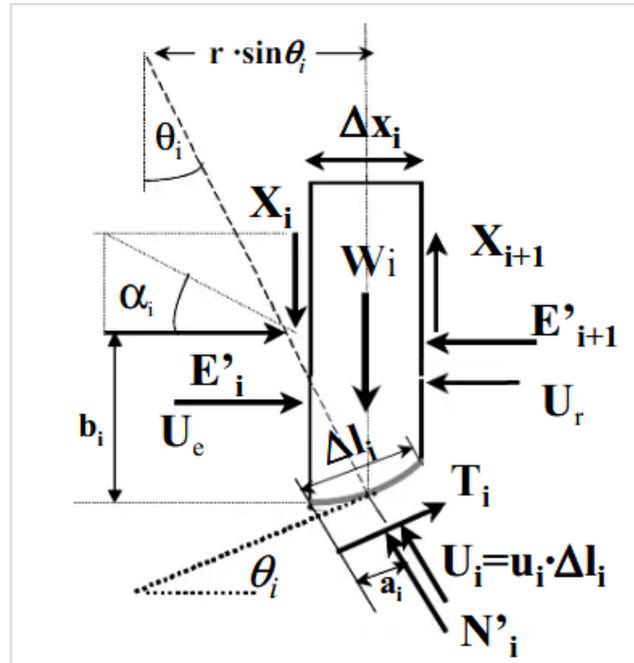


Nota: adaptado a partir de Mecánica de rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes
Ramírez & Alejano(2004,p. 392)

Método de Fellenius u ordinario: teniendo en cuenta a Ramírez & Alejano (2004) menciona que “este método considera despreciables las fuerzas en las caras de las fajas por lo que no logra satisfacer el equilibrio de la masa deslizando ni de las fajas. Es, sin embargo, el más sencillo” (p. 394). Este método tiene en cuenta sobre todo que el tipo de falla sea circular.

Figura 57

Esquema de fuerzas y algunos aspectos geométricos



Nota: tomado de Mecánica de rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes, elaborado por Ramírez & Alejano (2004, p. 393)

Omitiendo las fuerzas externas como menciona el metodo se tendrá:

$$N'_i + U_i = W_i \cos \theta_i \quad (43)$$

Despejando N'_i se tiene:

$$N'_i = W_i \cdot \cos \theta_i - U_i = W_i \cdot \cos - u_i \cdot \Delta I_i \quad (44)$$

El coeficiente de seguridad será:

$$FS = \frac{c \cdot L + tg \phi \sum_{i=1}^{i=n} (W_i \cdot \cos \theta_i + u_i \cdot \Delta I_i)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (45)$$

Método de Bishop simplificado: a partir de Ramírez & Alejano (2004) que “Bishop (1955) asume que las fuerzas tangenciales en las caras de las fajas son nulas ($x_i=0$), reduciendo en n-1 el número de incógnitas, lo que lleva a un sistema sobredeterminado, ya que el equilibrio de las fuerzas horizontales no se satisface en una de las fajas” (p. 394). En este

método para el análisis se tiene que las demás fuerzas que ejercen horizontal se consideran y en la vertical es nula.

La fuerza vertical de una faja se obtiene de:

$$W_i = N'_i \cdot \cos\theta_i + U_i \cdot \cos\theta_i + T_i \cdot \text{sen}\theta_i \quad (46)$$

$$W_i = N'_i \cdot \cos\theta_i + U_i \cdot \cos\theta_i + \left(\frac{\Delta l_i \cdot c + N'_i \cdot \text{tg}\theta_i}{FS} \right) \cdot \text{sen}\theta_i \quad (47)$$

Despejando el FS tenemos:

$$FS = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [c \cdot \Delta x_i + (W_i - u_i \Delta x_i) \cdot \text{tg}\phi] \cdot [1/M_i(\theta_i)]}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \cdot \text{sen}\theta_i} \quad (48)$$

Método de Janbu simplificado: a partir de Ramírez & Alejano (2004) menciona que “Janbu (1954) asume que las fuerzas tangenciales en las caras de las fajas son nulas ($X_i=0$), pero en este caso la ecuación que no satisface completamente el equilibrio es la de momentos” (p. 394). Janbu analiza sin importar la superficie, resaltando para superficies de fallas curvas y no circulares, y para el análisis determina una altura para su aplicación de la fuerza de reacción de la siguiente faja.

$$FS = f_o \cdot F \quad (49)$$

$$F = \frac{c \sum_{i=1}^n \left[c + \frac{1}{M_i(\theta_i)} \cdot \left[W_i - \frac{c \cdot \text{sen}\theta_i}{F} - U_i \cdot \cos\theta_i \right] \cdot \text{tg}\phi \right] \cos\theta_i}{\sum_{i=1}^n [U_i \cdot \text{sen}\theta_i + W_i] + \sum_{i=1}^n \frac{1}{M_i(\theta_i)} \left[W_i - \frac{c \cdot \text{sen}\theta_i}{F} - U_i \cdot \cos\theta_i \right] \cdot \text{sen}\theta_i} \quad (50)$$

$$f_o = 1 + b_l \left[\frac{d}{L} - 1.4 \left(\frac{d}{L} \right)^2 \right] \quad (51)$$

Método de Spencer: Spencer (1967) es uno de los métodos mas confiables para este tipo de análisis siendo uno con mas credibilidad en los resultados, siendo que analiza la igualdad de fuerzas y también la de momentos. Con ello analizando fuerzas externas, sobrecargas generadas en toda el área de estudio.

$$\frac{X_i}{E'_i} = tg\alpha \quad (52)$$

Método de Janbu generalizado: a partir de Ramírez & Alejano (2004) menciona “Janbu (1954, 1973) toma como hipótesis la posición de la línea de empujes (línea que une todos los puntos de aplicación de fuerzas entre rebanadas), reduciendo el número de incógnitas a $3n-1$ ” (p. 394).

Donde la última fuerza se puede apreciar en el último análisis de la faja, la línea de empujes será dada a $1/3$ de la altura en cada faja ya que esto será una variable adicional al análisis.

Método de Morgenstern y Price: De acuerdo con Ramírez & Alejano (2004) sostiene que: Inicialmente el método planteado fue semejante a lo de Spencer, con la diferencia de las fuerzas resultantes difería en cada zona analizada sumándole a la ecuación una variable λ (p. 395).

$$\alpha_i \frac{X_i}{E'_i} \lambda \cdot f(x) \quad (53)$$

2.2.14.4. Método numérico



Teniendo en cuenta a Ramírez & Alejano (2004) sostiene que “los métodos numéricos se basan en la resolución numérica, y por tanto no exacta, de las ecuaciones diferenciales que rigen el comportamiento mecánico de los materiales (macizos rocoso o masas de suelo)” (p. 412).

Dada la complejidad para este análisis es necesario disminuir algunas propiedades para que, con ello tener modelos matemáticos más concisos, y considerando esfuerzos inducidos, deformaciones y desplazamientos.

2.2.14.5. Método estadístico

Desde el punto de vista de Ramírez & Alejano (2004) sostiene que es “una técnica que contribuye a mejorar el conocimiento sobre la fiabilidad de los diseños y e usa frecuentemente para evaluar los riesgos asociados a una determinada solución constructiva” (p. 438). Con este método resulta se efectivo sobre todo para controlar la estimación de riesgo y la incertidumbre para el diseño del talud siendo este un papel bien importante. Con este método estadístico permite evaluar una gran aproximación el riesgo asociado y la fiabilidad de la misma.

2.2.2. La expansión urbana

La expansión urbana viene dando al pasar de los años, ya que es una de las formas del crecimiento urbano. Los ciudadanos van adquiriendo propiedades tanto como compra, herencia u otros, pero van expandiéndose y al pasar de los años construyendo edificaciones de variedad de áreas y niveles. Con una finalidad de confort de vida familiar. Al pasar de los años la ciudad de Puno a estado expandiéndose.



Como también se ha descubierto que la expansión urbana es directamente proporcional a los ingresos que perciben las personas. Como también menciona Gómez & Hortas (2016) que la población que tenga muchos más años, tiende a asociarse con una mayor expansión. Como también, Wassmer (2008) indica que una cantidad de personas mayores implica una menor densidad ya que las viviendas suelen ser más pequeños.

2.2.2.1. Demografía

Según los estudios dados por la INEI, del censo nacional 2017 no menciona que, hubo un decrecimiento de personas en la ciudad de Puno con el -0.7%. Es diferente el crecimiento poblacional con el crecimiento urbano.

2.2.2.2. Vivienda

Edificaciones adaptadas con todas las necesidades para que habiten personas. Para las cuales se tiene dos tipos que son las unifamiliares y las multifamiliares.

- Concreto armado, vivienda compuesta de concreto, acero y albañilería confinada.
- Adobe, vivienda compuesta de masa de arcilla con paja u arena moldeada en forma de ladrillo con unas medidas de 40cm por 40 cm según el reglamento nacional de edificaciones, norma E080 adobe.
- Bloqueta, elementos prefabricados que sirven en su mayoría para el muro perimetral y en caso de viviendas hasta un segundo nivel como máximo.

2.2.2.3. Cargas



Según el RNE (Reglamento Nacional de Edificaciones) la norma E.020 cargas, nos menciona que es la fuerza a causa de un peso que se tiene cargas muertas elementos que soportan la edificación y cargas vivas a los elementos móviles dentro de ella. Para viviendas se tiene una sobrecarga de 200 kg/m^2 .

2.2.2.4. Metrado

Agrupación de datos cuantitativos a partir de mediciones de longitudes, áreas y volumen de los planos de cualquier obra civil.

- Zapata, base principal de una edificación donde principalmente soporta la carga. Según la norma E050 suelos y cimentaciones, se recomienda como mínimo un área de 1 metro por 1 metro con una altura de 0.40 metros.
- Columna, elemento estructural en forma vertical de una edificación que soporta cargas a compresión y la destina hacia las zapatas de cimentación.
- Viga, elemento estructural en forma horizontal de una edificación que soporta cargas a flexión, como también cargas de los muros longitudinales como transversales.
- Losa, elemento estructural conformada de concreto, acero y ladrillo.
- Sobrecarga, carga generada por un objeto, se ejerce en un solo punto es carga puntual como por ejemplo las columnas de una edificación y si ejerce en una determinada área longitudinal es carga distribuida como por ejemplo las zapatas de cimentación.

2.3. MARCO CONCEPTUAL



2.3.1. Estabilidad de taludes

Es un campo que analiza la inestabilidad de diferentes factores actuantes, tanto externos como internos para evitar una falla en un proyecto en la ingeniería. La cual está relacionada directamente con la geotecnia sea el caso del material en suelo o roca.

2.3.2. Clasificación geomecánica

Es la descripción, medida de características, propiedades de la matriz rocosa y discontinuidades que proporcionan datos para su evaluación geomecánica con la cual permite estimar la calidad, parámetros resistentes en términos de ángulo de fricción y cohesión (Gonzales, 2004).

2.3.3. Macizo rocoso

Es un conjunto constituido por una o varias matrices rocosas que presentan una determinada estructura, está afectado por un cierto grado de alteración y tiene una variedad de discontinuidades (Plaza, 2005).

2.3.4. Talud

Cualquier superficie inclinada puede ser cortada con intervención de mano del hombre, o talud natural donde su formación no fue intervenida (Ramírez & Alejano, 2004).

2.3.5. Buzamiento

En un plano de una discontinuidad donde el ángulo de inclinación máxima representa el buzamiento (IGME, 2006).

2.3.6. Dirección de buzamiento



En un plano de una discontinuidad donde es medido en sentido horario iniciando del norte con la línea de máxima inclinación (IGME, 2006).

2.3.7. Factor de seguridad

Es una medida cuantitativa de una relación que se da entre fuerzas resistentes y las fuerzas actuantes del sistema de un talud (Read & Stacey, 2009).

2.3.8. Discontinuidad

Una discontinuidad es una superficie del macizo rocoso que está abierta o puede abrirse fácilmente a causa de tensiones inducidas por la excavación (Jorda, 2013).

2.3.9. Meteorización

Es el grado de erosión que sufre a causa de factores como el clima y depende también de la composición mineralógica de la roca. La meteorización se divide en meteorización física, química y biológica (SNMPE, 2004).

2.3.10. Tipo de rotura

Están determinados a causa del grado de fracturación del macizo rocoso, la orientación, y distribución de las discontinuidades con respecto al talud, danto como los tipos planar, cuña y volteo (Gonzales, 2004).

2.3.11. Resistencia a la compresión simple

En un testigo con forma cilíndrica, su altura con un mínimo de 2 veces a su medida de diámetro, se ejerce una fuerza axial hasta su rotura, midiendo las deformaciones obteniendo el módulo de elasticidad E y el Coeficiente de Poisson desde luego su resistencia a la compresión (MTC, 2016).

2.3.12. Tilt test



Este ensayo ayuda a determinar el ángulo básico de rozamiento en las discontinuidades como también evaluar el coeficiente de rugosidad de las juntas (Gonzales, 2004).

2.3.13. Expansión urbana

La expansión urbana es un tipo de crecimiento urbano que se da en las áreas periféricas de una ciudad de poca densidad y con baja accesibilidad (Ewing et al., 2002).



CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Enfoque de la investigación

El enfoque de la presente investigación es cuantitativo, así como menciona Hernández et al. (2014) “porque se realizará de manera secuencial y probatoria, una vez planteado el problema de estudio, se construye un marco teórico, del cual servirán las hipótesis, y se someten a prueba mediante el empleo de diseños de investigación apropiados” (p. 4).

3.1.2 Alcance de la investigación

El alcance de la presenta investigación es descriptivo, así como menciona Hernández et al. (2014) “Los estudios descriptivos tienen como propósito del investigador es describir situaciones y eventos. Es decir, como es y cómo se manifiesta determinado fenómeno, como también buscan especificar propiedades importantes personas, grupos u otros” (p. 92).

3.1.3 Diseño de investigación

El diseño de la presente investigación es no experimental, como menciona Hernandez & Mendoza (2018) que son “estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos” (p. 175).

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Población



Como señala Arias (2012) que “la población es la porción finita al que realmente se tendrá acceso y de la cual se extrae una muestra representativa” (p. 82); motivo por el cual, será representada solamente en los macizos rocosos de los taludes de roca que se muestran en el barrio Las Cruces, con un área 15.8 hectáreas.

3.2.2. Muestra

El tipo de muestreo es no probabilístico según Arias (2012) especialista en metodología de la investigación menciona que “los elementos son escogidos en base a criterios o juicios preestablecidos por el investigador” (p.85), para la cual se realiza utilizando criterios de familias, buzamiento, dirección de buzamiento, muestras de roca intacta, alturas, longitudes considerables, pendientes elevadas (geometría del talud). Los taludes de los macizos rocosos serán realizados en la Circunvalación Norte de la cuarta a la octava cuadra en la ciudad de Puno, con un área de 4.0 hectáreas.

3.3. DEFINICIÓN DE VARIABLES

3.3.1. Variable dependiente

Constituyen los efectos o consecuencias que se miden y que dan origen a los resultados de la investigación. (Arias, 2012, p.59). La variable dependiente es: estabilidad de taludes del macizo rocoso.

3.3.2. Variable independiente

Son las causas que generan y explican los cambios en la variable dependiente. (Arias, 2012, p.59). La variable independiente es: expansión urbana.

3.3.3. Operacionabilidad de variables

Tabla 14

Operacionalidad de la variable independiente

Variable independiente	Dimensiones	Indicadores	Medición
Expansión urbana	Tasa de consumo de suelo	Superficie urbanizada	Ha.
		Superficie de referencia total	Ha.
	Suelo consumido por habitante	Suelo consumido	Ha.
		Número de habitantes	N° hab.

Nota: elaboración propia.

Tabla 15

Operacionabilidad de la variable dependiente

Variable dependiente	Dimensiones	Indicadores	Medición
Estabilidad de taludes del macizo rocoso	Índice de calidad RMR	Resistencia de la matriz rocosa (ensayo de carga puntual)	Kg/cm ²
		Resistencia de la matriz rocosa (Ensayo de compresión simple)	Kg/cm ²
		Índice de designación de la calidad de la roca (RQD)	%
		Separación de diaclasas	m.
		Longitud de la discontinuidad	m.
		Abertura	mm.
		Rugosidad de las discontinuidades	1.Muy rugosa 2.Rugosa 3.Ligeramente Rugosa 4.Ondulada 5.Suave
		Relleno de las discontinuidades	1.Ninguno 2.Relleno duro <5mm 3.Relleno duro >5mm 4.Relleno blando <5mm 5.Relleno blando >5mm

Nota: elaboración propia

Tabla 16

Operacionabilidad de la variable dependiente

Variable dependiente	Dimensiones	Indicadores	Medición
Estabilidad de taludes del macizo rocoso	Índice de calidad RMR	Alteración	1. Inalterada
			2. Ligeramente alterada
			3. Moderadamente alterada
			4. Muy alterada
			5. Descompuesta
	Agua freática	1. Seco	
		2. Ligeramente húmedo	
		3. Húmedo	
		4. Goteando	
		5. Agua fluyendo	
Resistencia del macizo rocoso	Corrección por la orientación de las discontinuidades	1. Muy favorable (0)	
		2. Favorable (-5)	
		3. Medias (-25)	
		4. Desfavorable (-50)	
		5. Muy desfavorable (-60)	
	Tipo de falla	Dirección de buzamiento	Grados
		Buzamiento	Grados
		Pendiente del talud	Grados
		Ángulo de fricción	Grados
		Dirección de buzamiento	Grados
Factor de seguridad	Buzamiento	Grados	
	Pendiente del talud	Grados	
	Altura del talud	Metros	
	Peso específico de la roca	Tn/m ³	
Sobrecarga	Ángulo de fricción	Grados	
	Peso de la estructura	Tn/m ²	

Nota: elaboración propia

3.4. RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1. Etapa de campo



En esta etapa tiende a investigaciones que constituyen la parte importante para la expansión urbana y en la estabilidad del talud a estudiar. Se realizo principalmente usando la observación y medición, en la zona de trabajo, apuntar datos y con ello más adelante realizar los distintos análisis. Los pasos realizados para la obtención de datos en campo serán secuencialmente.

De estos datos se obtendrán parámetros, datos promedios, propiedades u otros. Las cuales nos ayudaran a definir a nuestro macizo rocoso, el levantamiento topográfico de la zona y la forma del talud en estudio. Se siguió los siguientes pasos:

- Reconocimiento del área de estudio para la investigación.

En esta etapa se realiza el reconocimiento de toda la zona de estudio para la cual fue dividida en 05 zonas, con ello observar a detalle tramo a tramo.

- Mapeo lineal en la zona de estudio.

Para esta etapa se realizó el mapeo lineal con 09 estaciones en las 05 zonas de los taludes con el cual se tomó los datos de dirección de buzamiento, buzamiento y las condiciones hidrológicas. Se consideró muestras representativas para los análisis en laboratorio.

- Levantamiento topográfico.

Para este proceso se realizó un levantamiento con la estación total.

- Ensayos de laboratorio con muestras de la zona de estudio.

De las muestras obtenidas en campo fueron analizadas en el laboratorio de mecánica de suelos de la escuela profesional siguiendo las normativas ASTM y ISRM. Las cuales fueron: propiedades físicas de la roca (Peso específico, porosidad y absorción norma ASTM D-6473), resistencia a la compresión



uniaxial (UCS) norma ASTM D -2938, ensayos de Tilt Test con norma ASTM D-854/C127.

3.5. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Los datos recopilados en campo primeramente fueron agrupados y ordenados. Para este paso se utilizó distintos softwares para la cual se mencionará de manera secuencial el proceso del trabajo.

Software Microsoft office Excel, donde se agrupo los datos recopilados en campo relacionado a la orientación del talud de estudio la misma que fueron representados en gráficos de barras para su estudio.

Software AutoCAD Civil 3D (versión estudiante), funciona como una herramienta para elaboración de las curvas de nivel, diseño de planos (ubicación, perfil longitudinal, otros) para posteriormente analizarlos.

Software Dips v.7.0, programa que permite utilizar las herramientas más avanzadas en el análisis de datos mediante proyección estereográfica, analizar las distintas fallas que pueden suceder como son falla planar, falla en cuna, falla en volteo.

Software Swedge V. 4.0, programa específicamente para taludes a analizar en falla en cuña obteniendo un factor de seguridad tanto determinístico y probabilístico. Como también nos permite modelar los factores hallados en el software Dips v.7.0 para los bloques exclusivamente para los tipos cuña en taludes.

Software RocPlane v.3.0, programa específicamente para taludes a analizar con falla planar obteniendo un factor de seguridad tanto determinístico y probabilístico. Como también simula modelos en 2D y 3D.



Software RocData v.3.0, programa que permite determinar parámetros de resistencia de los modelos de Mohr-Coulomb, Hoek-Brown y Barton Bandis. Hallando con ellos esfuerzos, ángulo de fricción y cohesión, entre otros.

Software Slide v.6.0, programa para determinar el factor de seguridad a partir de perfiles de taludes como también analiza la estabilidad de las superficies de deslizamiento utilizando el criterio de dovelas verticales analizando fallas circulares y no circulares, utiliza los métodos como Fellenius, Bishop, Morgenstern, Spencer.

3.6. MATERIALES

- 01 laptop Dell con 16 gigas de memoria RAM, con la finalidad de facilitar en confort el procesamiento de datos y programas a utilizar.
- 01 impresora: para las fichas de mapeo, planos elaborados y borrador del proyecto.
- Cámara fotográfica digital: calidad de fotos.
- 01 estación total modelo “Foif RTS342-R600”, para el levantamiento topográfico.
- Libreta de notas: para observaciones en campo, croquis de la zona, nombres de calles, distribuciones de viviendas.
- 02 libretas de anotaciones topográficas: para las coordenadas lecturas con el GPS.
- Útiles de escritorio: tenemos cuadernos, hojas bond, lapiceros, plumones, anotes pequeños.
- 01 brújula Hope Compass DQL-8: equipo diseñado para obtener orientaciones como rumbo, buzamiento y dirección de buzamiento en el campo magnético, posee una aguja imantada que al detenerse marcará el norte magnético.
- 01 martillo de geólogo (picsa): como función principal de partir rocas y de acuerdo a una tabla estimar la resistencia de la roca.
- 01 lupa de geólogo: para ver el tipo de mineral, estructura geológica de las rocas.



- 01 cinta métrica: para el RQD a realizar en las zonas de estudio, medir discontinuidades, medir las viviendas.
- 01 tablero: donde se llevó las fichas del mapeo lineal, planos A4, y otros anotes.
- 01 GPS Garmin Etrex 10: para levantar las coordenadas de las discontinuidades lecturadas.
- 06 sacos: para el traslado de las muestras a laboratorio.
- Software's a utilizar como: Software Microsoft office Excel y Work 2019, Software AutoCAD 2020, AutoCAD Civil 3D 2020, Software Global Mapper v. 20, Software Dips v.7.0, Software Swedge v. 4.0, Software RocPlane v.3.0, Software RocData v.3.0, Software Slide v.6.0.

3.7. DESCRIPCIÓN DEL TRAMO DE ESTUDIO

3.7.1. Ubicación

La zona de estudio está al borde de la ciudad de Puno, al extremo noroeste de la ciudad, según la carta nacional 32-v, en la zona 19 de la cuadrícula L, hemisferio sur de la carta de Puno (Anexo A-13).

3.7.2. Acceso

Para el ingreso a la zona de estudio, situados desde la ciudad de Lima hacia la zona se detalla en la siguiente Tabla 18. El área de investigación comprende con 05 zonas de estudio las cuales está delimitado por las coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) que se muestran en la Tabla 19.

Tabla 17

Acceso a la zona de investigación



Origen	Destino	Vía	Distancia (Km)
Lima	Juliaca	Asfaltada	1,269.60
Juliaca	Puno	Asfaltada	47.00
Puno (centro)	(Zona de estudio)	Pavimentada	2.50

Nota: elaboración propia

Tabla 18

Coordenadas UTM del área de estudio

CUADRO DE COORDENADAS VERTICES		
PUNTO	ESTE	NORTE
V-01	389282.87	8248837.33
V-02	389341.32	8248855.00
V-03	389407.32	8248879.86
V-04	389461.38	8248939.14
V-05	389507.05	8248989.14
V-06	389598.64	8249081.61
V-07	389455.71	8249069.77
V-08	389374.14	8249012.58
V-09	389335.89	8248957.38
V-10	389288.89	8248922.58
V-11	389242.34	8248912.47
V-12	389245.75	8248859.6

Nota: elaboración propia

3.7.3. Clima y meteorología

La zona de investigación se ubica en la misma ciudad de Puno, la cual tiene una altitud de 3827 m.s.n.m. según el doctor Javier Pulgar la clasificación de la zona es puna-Suni. En la cual representa a dos tipos de estaciones durante el año.



La primera estación lluviosa pertenecientes a los meses de verano, con fuertes precipitaciones la cual comprende entre el mes de noviembre a mediados de abril donde se presencia un clima húmedo con temperaturas promedio de 12° a 18°C.

La siguiente estación donde se presenta un clima muy frío y seco, las temperaturas descienden hasta bajo 0°C. entre los meses abril a octubre con cambios de los primeros meses de estaciones muy frías y los últimos meses mencionados fríos.

3.7.4. Geología

La zona de estudio está dentro del área que fue estudiado por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), en la cual se encuentra en el mapa geológico del cuadrángulo de Puno hoja (32v1). Anexo A-13.

3.7.4.1. Geología local

La zona de estudio está constituida según el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), por conglomerados polimictios, intercalados con areniscas blancas y rojizas. Y alrededores de conglomerados con clastos de ortocuarcitas, calizas en matriz limoarenosa. Las mismas que están comprendidas entre el cenozoico (paleógeno) y mesozoico (cretácica). Con el tipo de rocas intrusivas y subvolcanicas. La roca estudiada que predomina en la zona de estudio es la shoshonita ubicada en Azoguine la cual tuvo en emplazamiento de tipo lava con una edad geológica cuaternaria.

Tabla 19*Formaciones geológicas en la zona de estudio*

Era	Sistema	Serie	Unidad litoestratigráfica	
			Grupo Puno	P-pu
cenozoico	Paleógeno	Eoceno	Formación Saracocha	Peo-sa
			Formación Muñani	P-m
			Formación Vilquechico	K-vi
mesozoico	Cretácico	Superior		Kis-
			Formación Ayabacas	ayb

Nota: adecuado a la información del (INGEMMET)

Grupo Puno (P-pu): la formación del grupo Puno se relaciona con la evolución geológica de la región andina, caracterizada por la subducción de la placa de Nazca bajo la placa sudamericana. Estas formaciones geológicas tienen una importancia económica significativa, ya que contienen yacimientos de minerales, como uranio y litio. Además, alojan importantes recursos hídricos en forma de acuíferos y lagunas, que son cruciales para el abastecimiento de agua en la región.

Esta unidad tiene como representación en el área de areniscas feldespáticas con conglomerados polimicticos de matriz areniscosa roja.

Formación Saracocha (Peo-sa): está ubicada al sureste de la laguna Zapana, la cual está en una correlación donde se presenta conglomerados de calizas negras y rojizas con dimensiones de entre 0.01-0.10 metros con promedio de 0.05 metros.

Formación Muñani (P-m): esta unidad litológica fue descrita por primera vez por Newell en el año 1945, en la ciudad de Muñani. En esta zona se caracteriza por la presencia de areniscas cuarzosas marrón rojizas



con limolitas rojas con un rango de 0,20 a 0.30 cm. Y areniscas de grano medio y fino, color rosado o rojizo y otras características a ello tenemos la erosión en la base de conglomerados.

Formación Vilquechico (K-vi): en esta unidad litológica se aprecia una secuencia de areniscas finas con lodolitas con formaciones en la misma localidad del nombre la cual fue estudiada por Newell en 1945. En Puno se encuentra constituida por limoarcillitas gris verdosas, rojas con estratigrafía fina con unos grosores de 0.15 a 0.30 m. y en el sector sur tienen un grosor de 1.0 a 5.0 m. mientras tanto por el norte sobrepasa los 200 m.

Formación Ayabacas (Ks-ayb): fue estudiada por Cabrera y Petersen en 1936, como principal afloramiento de calizas y capas rojas. Luego estudiada en el proyecto integrado del Sur en 1991. Se describe como principal las calizas de color gris claras con estratos de unos 0.80 a 1.20 m.

Por el oeste de la ciudad de Puno se encuentran calizas blancas como un potente afloramiento interestratificado con lodolitas rojas. Y por la zona universitaria se aprecian las calizas micríticas negras en estratos fino de unos 0.50 m. con limoarcillitas rojas.

3.7.4.2. Geología regional

Para la geología regional tenemos en el cuadrángulo de Puno 32-v estudiadas por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), el área de estudio que afloran los distintos tipos de roca en el rango cronoestratigráfico como: carboníferas, devoniana, jurásicas,



cretácicas, paleógenas, neógenas y cuaternarias; y en su naturaleza: volcánica, sedimentaria, intrusivas, con estructuras que abarquen desde la evolución tectónica. Tenemos en las tres eras:

Cenozoico: en esta era tenemos la presencia de tres sistemas que son el cuaternario, neógeno y Paleógeno. Para el cuaternario tenemos la serie de holoceno y pleistoceno. Para el Neógeno tenemos la serie de Plioceno y mioceno. Y para el paleógeno tenemos la serie Eoceno.

Holoceno con los siguientes deposito:

- Depósitos lacustrino en la cual se aprecia presencia de arcillas limosas y arena.
- Deposito aluvial con presencia de gravas y conglomerados en matriz areno limoso.
- Deposito biogénico con presencia de intercalación de limos, arenas y niveles orgánicos.
- Deposito coluvial con presencia de grava y bloques subangulosos con matriz areniscosa y limosa.
- Deposito glacial con presencia de fragmentos angulosos o subangulosos, diámetro variable en matriz.

Pleistoceno con las siguientes formaciones:

- Formación Azángaro donde se aprecia limos laminados y capaz de areniscas.
- Formación Taraco con clastos subangulosos de rocas volcánicas en matriz arenoarcillosa.

Plioceno con una solo formación:



- Formación Sencca donde se ve la presencia de tobas dacíticas gris ligeramente rosada, como también se tiene la presencia de morfoestructuras volcánicas como: andesítica basáltica, andesita porfídica, brecha, andesita porfídica, lava andesita porfídica, ignimbrita, andesita basáltica.

Mioceno con los siguientes grupos:

- Grupo sillipaca donde se aprecia aglomerados volcánicos andesíticos.
- Grupo Pallca con ignimbritas intercaladas con desimentos arenoso, areniscas tobáceas, conglomerados.
- Grupo Maure con areniscas tobáceas interestratificadas con lodolitas abigarradas y conglomerados mal clasificados.

Eoceno con las siguientes formaciones:

- Grupo Tacaza con presencia de andesitas y basaltos estratificados con intercalaciones de conglomerados y material volcánico color verde.
- Formación Pichu.
- Grupo Puno
- Formación Saracocha con presencia de conglomerados con clastos de orocuarsitas.
- Formación Muñani.

Mesozoico: en esta era tenemos la presencia de dos sistemas que son Cretácico y Jurásico. Para el cretácico tenemos la serie superior e inferior.

Cretácico Superior con las siguientes formaciones:

- Formación de Vilquechico resaltando las limoarcillitas de color gris.



Cretácico Inferior con las siguientes formaciones:

- Formaciones Ayabacas con mayor presencia de calizas y limoarcillitas rojas.
- Formación Murco con mayor presencia de areniscas rojas.
- Formación Hualhuani resaltando las areniscas cuarzosas de grano fino y medio.
- Formación Viluyo con mayor presencia de limoarcillitas rojizas.
- Formación Huancané con mayor presencia de areniscas cuarzosas.

Jurásico superior con las siguientes formaciones:

- Formación Muni con lodolitas rojas de capas delgadas.
- Formación Gramadal con mayor presencia de calizas grises.
- Formación labra con presencia de areniscas cuarzosas blancas y negras.
- Jurásico medio con las siguientes formaciones:
 - Formación Cachíos con lutitas y areniscas.
 - Formación Puente con areniscas de grano fino.
 - Formación Socosani con calizas y areniscas.

Paleozoico: para esta era presencia en las zonas de roca intrusiva con monzonita y monzogranito. Y tenemos tres grupos de formaciones las cuales son:

- Grupo Mitu con presencia de areniscas y conglomerados.
- Grupo Ambo con presencia de areniscas con estratos mayor a 0.80 m.
- Grupo Cabanillas con presencia de lutitas de estratos pequeños.

3.7.5. Geodinámica

Fuerzas que intervienen en los procesos de movimientos que se da en toda la corteza terrestre. En el área de investigación se tiene la necesidad de considerarlo ya que con ello puede provocar diversos cambios directamente o indirectamente a los macizos rocosos de la avenida circunvalación norte de las cuadras cuatro al ocho.

3.7.5.1. Geodinámica interna

La geodinámica interna estudia principalmente las transformaciones que se da en la zona interior de la tierra actuando como fuerzas internas, para la cuales consideraremos el sismo como posibles fuerzas actuantes, para ello la zona de estudio según el mapa de zonificación sísmica del Perú, que está en el Reglamento Nacional de Edificaciones en la norma E.030 Sismorresistente, la zona de estudio la cual es en la avenida Circunvalación Norte está en la zona 03 y con una aceleración de 0.35.

Figura 58

Mapa sísmico del Perú



Nota: zonificación sísmica Perú (E.030).



Según Abramson et al. (2001) que “los componentes verticales de las aceleraciones sísmicas comúnmente se suelen omitir en el método pseudoestático (F_v tiene típicamente menos influencia sobre el FS, ya que reduce tanto las fuerzas actuantes como fuerzas resistentes) y el coeficiente sísmico suele representar una fuerza horizontal” (p. 150). Y Simón et al. (2001) afirma que las “fuerzas estáticas y pseudoestáticas en el caso de falla planar del talud, considerando un material rígido, la fuerza de inercia adquiere su valor máximo cuando la aceleración horizontal alcanza su valor máximo” (p. 290).

En el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) en la norma técnica CE.020 denominada “Estabilización de suelos y taludes”, nos da a conocer que se tiene restricciones con respecto al factor de seguridad siendo 1.5 para condiciones estáticas y 1.25 para condiciones dinámicas.

Como menciona Kramer (1996) y Marcuson & Franklin (1983) que los análisis pseudoestáticos representan los efectos de las vibraciones de un terremoto mediante aceleraciones pseudoestáticas que producen fuerzas inerciales F_h y F_v , y las cuales actúan a través del centroide de la masa de falla. En la mayoría de análisis realizados se omite tener en cuenta las aceleraciones verticales, como también optar el valor de un 30% o 50% de la aceleración máxima de la zona. Considerado para el presente proyecto coeficiente sísmico de $C=0.18$.

3.7.5.2. Geodinámica externa

En la geodinámica externa estudia los agentes externos, con ello tenemos diferentes factores que representan riesgos geológicos en la zona,



así como por ejemplo desprendimiento de rocas, deslizamientos y posibles derrumbes de rocas.

- Derrumbes. Caídas repentinas de una porción de una roca por pérdida de resistencia por una fuerza actuante, por la cual pueden ser de grandes bloques o masas de rocas.
- Deslizamiento. Movimientos gravitacionales de masas de roca se da por la rotura al superar la resistencia cortante, por la cual pueden ser con movimiento lento o violento. En su mayoría se produce por las saturaciones de las discontinuidades del macizo rocoso, si se da en la parte superior representa un grande peligro.

CAPITULO IV

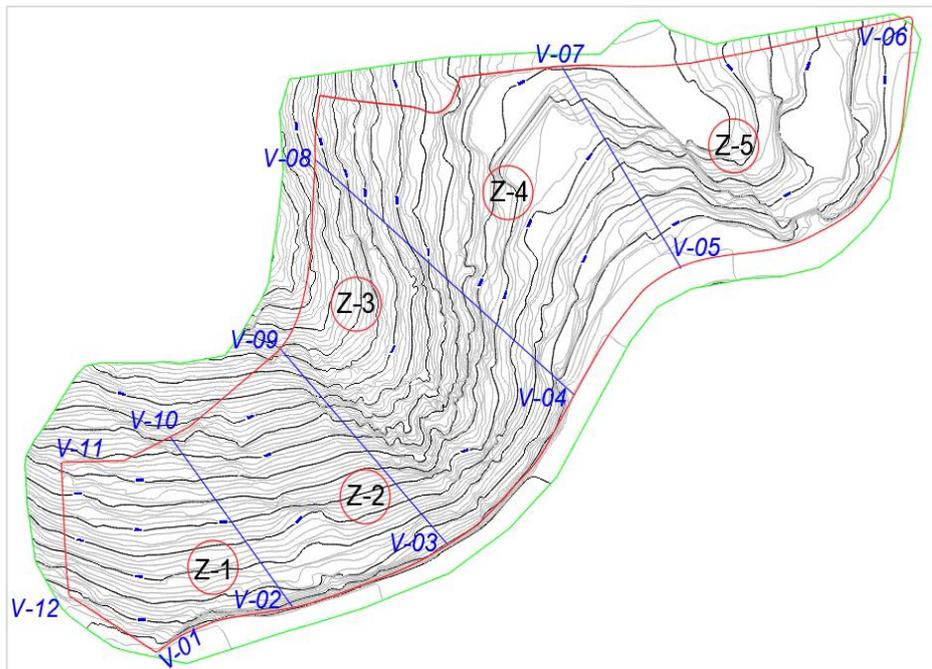
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EXPLORACIÓN DE LA ZONA

La descripción de la zona de estudio se realizó con todos los afloramientos de roca presentes en cada zona determinando tres tipos de rocas: la Zona 01 y 02 presentes las areniscas, en la zona 03 y 04 conglomerado y en la zona 05 presente la caliza, como inicio del estudio se realizó un levantamiento topográfico de toda el área de estudio obteniendo curvas de nivel a cada 1 metro de desnivel como se ve en el Anexo -2, con la finalidad de obtener los siguientes datos: perfiles longitudinales, buzamiento y dirección de buzamiento para cada perfil del talud, determinar taludes críticos a analizarse.

Figura 59

Curvas de nivel de la zona de estudio



Nota: elaboración propia, Adaptado del Anexo -2

Luego se realizó el mapeo geológico tanto por el método de mapeo línea y mapeo por celdas, con la finalidad de abarcar todos los afloramientos de roca existentes, realizar

la cantidad posible de RMR (Rock Mass Rating) máximos, acompañados de la clasificación del GSI (Índice de Resistencia Geológica). Para los ensayos de laboratorio se obtuvo muestras tanto de la zonas alta, media y baja.

4.2. MAPEO GEOLÓGICO

La caracterización geológica se realizó con el mapeo lineal y mapeo por celdas, en las cinco zonas de estudio con 09 estaciones centrándose en los afloramientos rocosos, para las cuales consistió en levantar datos con la brújula en una ficha almacenando los datos necesarios que presenta el macizo rocoso y como también las filtraciones de agua que presenten la cual este dato ayudara a definir la capa freática subterránea del macizo rocoso, Anexo -3.

4.3. CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA

Consiste en determinar todas las características y propiedades que presente el macizo rocoso en el área de investigación tanto in situ como en laboratorio para con los hallado se puede realizar el análisis de la estabilidad de taludes. Los datos siguientes fueron realizados de los RMR en el área trabajado.

4.3.1. Orientación de las discontinuidades

Los valores de la orientación de las discontinuidades tanto el buzamiento y la dirección de buzamiento, hallados en las zonas donde se realizó los RMR se encuentran en las primeras dos columnas del cuadro del Anexo -4. Para esta evaluación fueron tomados por el método de mapeo por celdas.

4.3.2. Resistencia de la compresión

Para la determinación de los valores de la resistencia, se optó por considerar los datos obtenidos en laboratorio con ello tener valores más certeros, estos datos para mayor veracidad se muestran en el Anexo -5. Donde las cuales

serán datos del JCS (Resistencia a la Compresión de las Juntas), este dato será usado para la valoración del RMR y para la valoración geotécnica por el criterio de Barton – Bandis generalizado.

Tabla 20

Valores promedio del ensayo UCS

RESISTENCIA DE LA DISCONTINUIDAD	
ZONA	JCS (MPa)
(1)	16.44
(2)	27.43
(3)	43.90
(4)	24.01
(5)	72.87

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -5

Con los valores obtenidos, se afirma que el tipo de resistencia a la compresión del macizo rocoso es débil en la zona 1 y 4, siendo ellos más propensos a presentar fallas. Luego en la zona 2 y 3 siendo de resistencia media siendo estos no tan propenso a fallas, y en la zona 5 se presenta una roca resistente, por la cual se puede decir que no se presentarán fallas por su alta resistencia.

4.3.3. RQD (Rock Quality Designation)

Para el índice de calidad de la roca se realizó a partir por el método de Hunson (1989), línea de detalles en donde se traza una línea horizontal y que las discontinuidades las dividen. Y representados por las 05 zonas en el histograma 3D.

Tabla 21

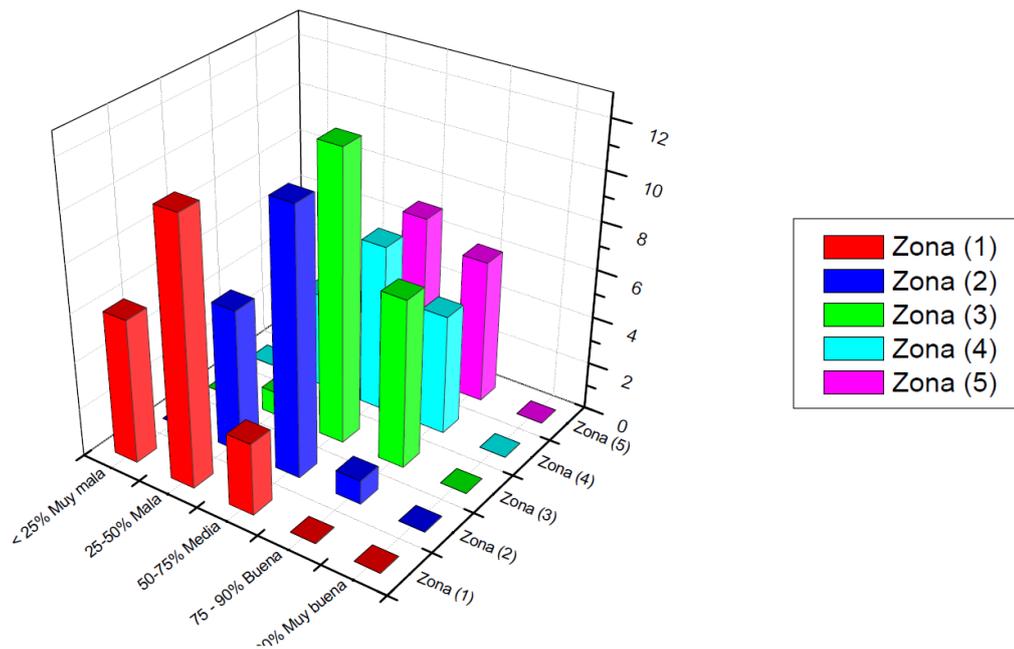
Datos recopilados del índice de calidad del macizo rocoso

RQD (ROCK QUALITY DESIGNATION)					
ZONA	1	2	3	4	5
90 - 100% Muy buena	0	0	0	0	0
75 - 90% Buena	0	1	7	5	6
50 - 75% Media	3	11	12	7	7
25 - 50% Mala	11	6	1	4	0
< 25% Muy mala	6	0	0	0	0

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo A-4.

Figura 60

Histograma 3D del RQD de las 05 zonas



Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -4

Se tiene en la zona 1 la calidad mala, con presencia de discontinuidades; zona 2, 3 y 4 con calidad media, con pocas discontinuidades, siendo una roca resistente y en la zona 5 predominante la calidad media, siendo esta misma una roca resistente.

4.3.4. Espaciamiento

Realizado en campo en los RMR (Rock Mass Rating) de las zonas de estudio con una cinta métrica y en una dirección perpendicular hacia las discontinuidades adyacentes del afloramiento del macizo rocoso como se muestran en el Anexo A-4.

Tabla 22

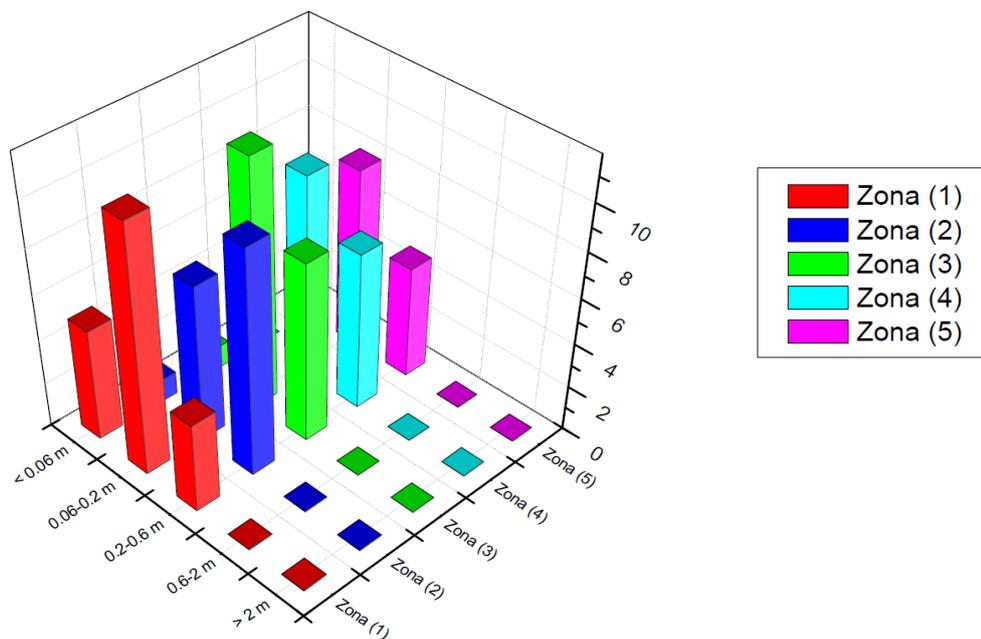
Datos recopilados del espaciamiento de las estructuras

ESPACIAMIENTO (m)					
ZONA	1	2	3	4	5
> 2 m	0	0	0	0	0
0.6-2 m	0	0	0	0	0
0.2-0.6 m	4	10	8	7	5
0.06-0.2 m	11	7	11	9	8
<0.06 m	5	1	1	0	0

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -4

Figura 61

Histograma 3D del espaciamiento de las 05 zonas



Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo A-4

4.3.5. Continuidad

Cuantificadas en campo a las longitudes de las discontinuidades del afloramiento del macizo rocoso como se muestran en el Anexo -4. Y representados por las 05 zonas en el histograma 3D.

Tabla 23

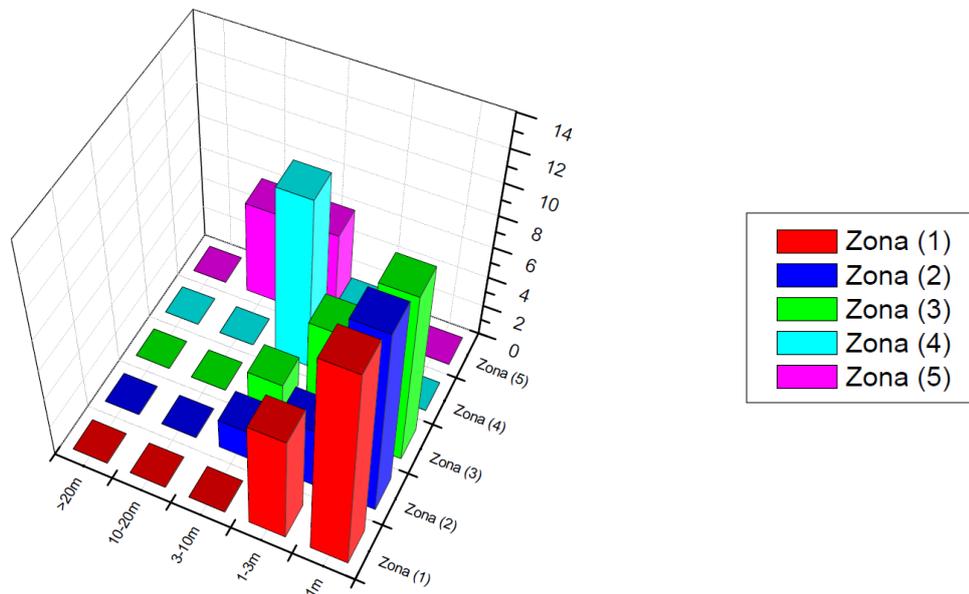
Datos recopilados de la continuidad de las estructuras

ZONA	CONTINUIDAD (m)				
	1	2	3	4	5
1m	13	12	11	0	0
1-3m	7	4	7	5	1
3-10m	0	2	2	11	6
10-20m	0	0	0	0	6
>20m	0	0	0	0	0

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -4

Figura 62

Histograma 3D de la continuidad de las 05 zonas.



Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -4

4.3.6. Abertura

Medidas perpendicularmente hacia otra discontinuidad cercana, como se muestran en el Anexo -1, la cual son representadas a más detalle en los siguientes histogramas.

Tabla 24

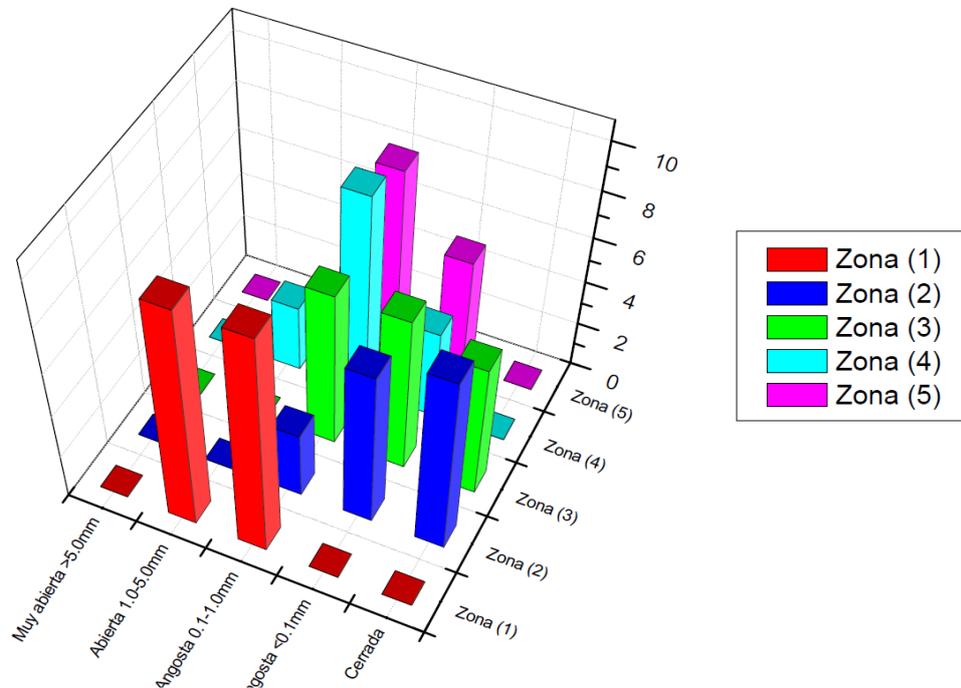
Datos recopilados de la abertura

ABERTURA					
ZONA	1	2	3	4	5
Cerrada	0	8	6	0	0
Muy angosta <0.1mm	0	7	7	4	5
Angosta 0.1-1.0mm	10	3	7	9	8
Abierta 1.0-5.0mm	10	0	0	3	0
Muy abierta >5.0mm	0	0	0	0	0

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -4

Figura 63

Histograma 3D de la abertura de las 05 zonas



Nota.: elaboración propia, adaptada del Anexo -4

4.3.7. Rugosidad

Determinada en las discontinuidades presentes en el Anexo -4, medidos de dos formas una según la tabla del Anexo mencionado y la otra con perfiles típicos dándole valor al (JRC) coeficiente de rugosidad de discontinuidad.

Tabla 25

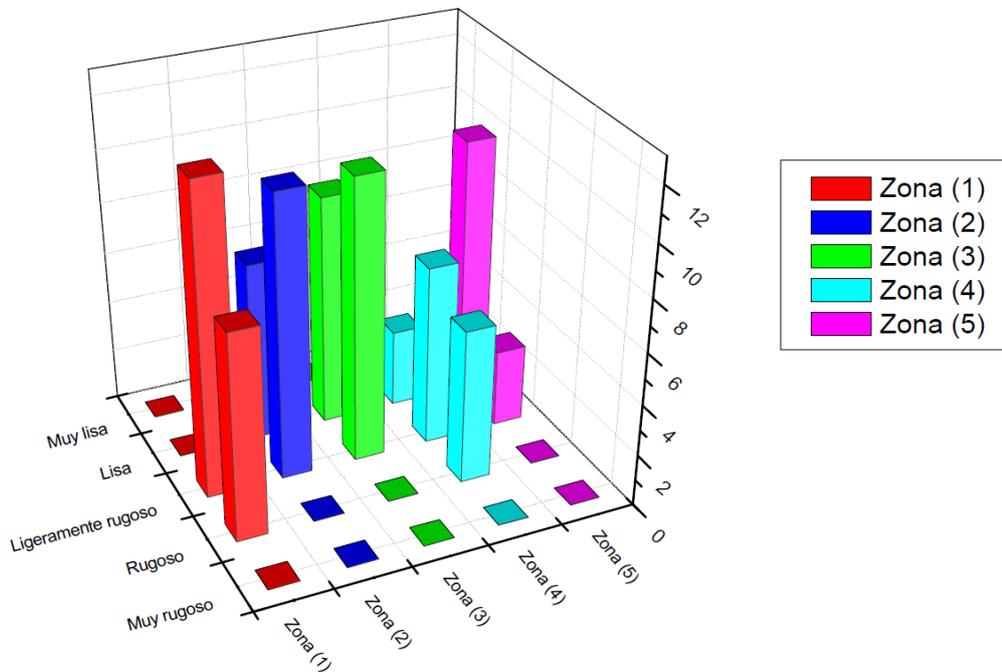
Datos recopilados de la rugosidad

RUGOSIDAD					
ZONA	1	2	3	4	5
Muy rugoso	0	0	0	0	0
Rugoso	8	0	0	6	0
Ligeramente rugoso	12	11	11	7	3
Lisa	0	7	9	3	10
Muy lisa	0	0	0	0	0

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -4

Figura 64

Histograma 3D de la rugosidad de las 05 zonas



Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -4

4.3.8. Relleno

Fueron reconocidos de un parámetro de 5 mm y con ello clasificarlos, estos presentes en las aberturas de las discontinuidades del macizo rocoso y adaptados del Anexo A-4. Predominando el relleno duro y relleno blando en algunas zonas pero en algunas zonas.

Tabla 26

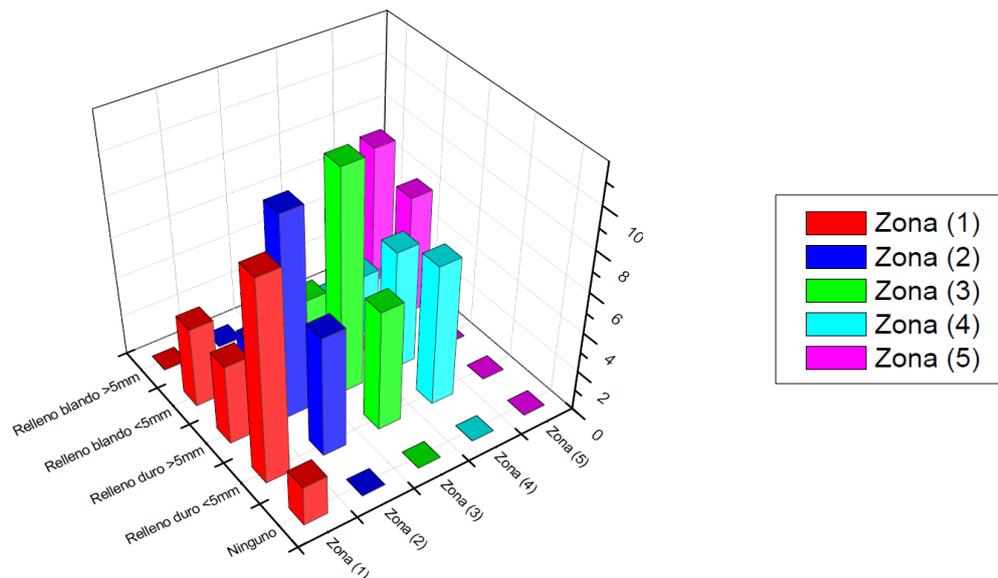
Datos recopilados del relleno

RELLENO					
ZONA	1	2	3	4	5
Ninguno	2	0	0	0	0
Relleno duro <5mm	10	6	6	7	0
Relleno duro >5mm	4	10	11	6	0
Relleno blando <5mm	4	2	3	3	6
Relleno blando >5mm	0	0	0	0	7

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -4

Figura 65

Histograma 3D del relleno en las discontinuidades de las 05 zonas



Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -4

4.3.9. Meteorización

El talud estudiado al ser natural y con poca intervención del hombre se presenta alteraciones para la cual fueron clasificados mediante la observación como la decoloración de la roca o la desintegración de la misma, recopilados del Anexo 4.

Tabla 27

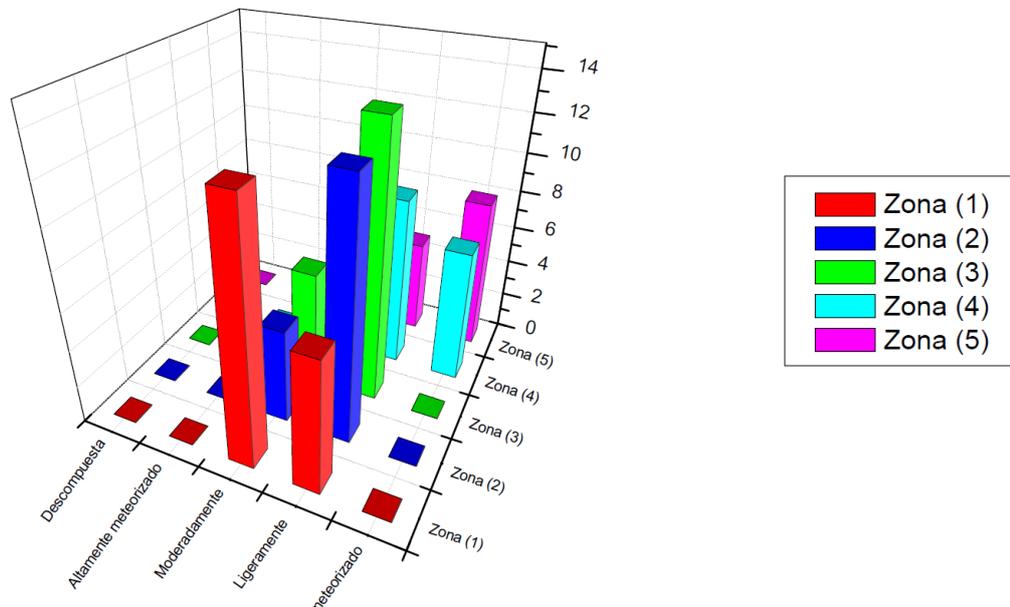
Datos recopilados de la meteorización del macizo

METEORIZACIÓN					
ZONA	1	2	3	4	5
No meteorizado	0	0	0	7	0
Ligeramente	7	13	14	9	4
Moderadamente	13	5	6	0	9
Altamente meteorizado	0	0	0	0	0
Descompuesta	0	0	0	0	0

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -4

Figura 66

Histograma 3D del relleno en las discontinuidades de las 05 zonas



Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -4

4.3.10. Condiciones hidrogeológicas

La presencia de agua es un parámetro importante para el análisis de taludes, por la cuales fue caracterizada junto al mapeo geológico Anexo -3, ya que con ello definiremos si analizar al talud en condiciones secas o saturadas.

Tabla 28

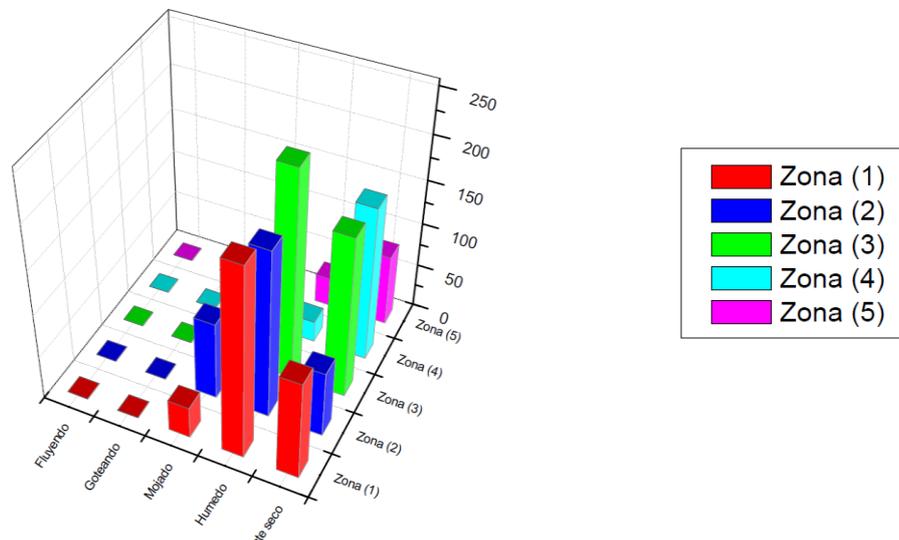
Datos recopilados de las condiciones hidrológicas del macizo rocoso

CONDICIONES HIDROLOGICAS					
ZONA	1	2	3	4	5
Completamente seco	112	75	184	176	81
Húmedo	217	191	238	24	33
Mojado	36	89	19	0	0
Goteando	0	0	0	0	0
Fluyendo	0	0	0	0	0

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -3

Figura 67

Histograma de las condiciones hidrológicas de las 05 zonas



Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -3

4.3.10. Coeficiente de rugosidad de las juntas

Parámetro fundamental para determinar una ponderación al macizo rocoso por el criterio de Barton - Bandis generalizado, con la cual se determinará el

ángulo de fricción dato fundamental para el análisis de estabilidad de taludes por el método cinemático. Para este dato se determinó mediante el cuadro de valores del JRC de la Figura 24. Adecuados del Anexo -4.

Tabla 29

Coefficiente de rugosidad de junta en cada zona.

ZONA	JRC
Zona 1	2-4 3
Zona 2	4-6 4
Zona 3	4-6 4
Zona 4	6-8 6
Zona 5	6-8 7

Nota: elaboración propia adaptada del Anexo -4

4.4. ENSAYOS DE LABORATORIO

Se realizó las pruebas de muestras de roca intacta del macizo rocoso obteniéndose 03 testigos por cada zona para el ensayo de compresión simple, 01 muestra por zona para el peso específico, y 03 testigos por zona para el ensayo de Tilt Test, realizándose en el laboratorio de mecánica de suelos de la escuela profesional cumpliendo con las normas respectivas de cada ensayo, Anexo -5.

4.4.1. Propiedades Físicas

Realizado a partir de la norma ASTM D-6473, obteniendo el peso específico, la porosidad, la absorción, datos que serán necesarios en el análisis de la estabilidad de taludes para los diferentes métodos.

Tabla 30*Resultado del ensayo de propiedades físicas*

ZONA	Densidad seca	Porosidad n%	Absorción	Peso específico aparente
Und.	(g/cm ³)	%		(KN/m ³)
Zona 1	2.42	5.39	2.18	23.76
Zona 2	2.57	3.81	1.46	25.24
Zona 3	2.63	1.11	0.42	25.82
Zona 4	2.55	1.43	0.56	24.99
Zona 5	2.60	0.91	0.35	25.47

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -5

Con los valores de peso específico que se muestran en la Tabla 30 se puede afirmar que son rocas por el valor numérico comparado con un suelo. Se tiene los valores de la zona 1 con 2.42 g/cm³ y la zona 2 con 2.57 g/cm³, estos valores están en el rango que Gonzales (2004) propone para una roca arenisca valores de 2.30 g/cm³ – 2.60 g/cm³, como también observando en campo torna de un color rojizo con componentes de arena fina. Para la zona 3 con 2.63 g/cm³ y la zona 4 con 2.55 g/cm³, según el mismo autor menciona que para una rudita (conglomerado) tiene valores de 2.40 g/cm³– 2.60 g/cm³, en campo se observa color rojizo con clastos redondeados tamaño grava. Y por último la zona 5 con 2.60 g/cm³ de peso específico estando dentro del rango, y teniendo un tono de color blanco.

4.4.2. Resistencia a la compresión simple

Realizado a partir de la norma ASTM D -2938, obteniéndose el valor de la resistencia de la compresión en los diferentes testigos cilíndricos para la cual se realizó con la prensa ADR 1500.

Tabla 31

Resultados del ensayo de resistencia a la compresión simple

ZONA	Número de testigos	UCS (MPa) promedio
Zona 1	3	16.44
Zona 2	3	27.43
Zona 3	3	43.90
Zona 4	3	24.01
Zona 5	3	72.87

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -5

Los valores obtenidos en este ensayo de la resistencia a la compresión simple, los que están en el rango de 5-25 MPa representan a la roca débil, los de rango 25-50 MPa representan roca media, y los de rango 50-100 MPa siendo rocas resistentes.

Como también los valores de la zona 1 y 2, están dentro del rango de valores que muestra Gonzales (2004) para una arenisca. La zona 3 y 4 son mayores a 20 MPa según Olmedo (2002) para un conglomerado debe estar mayor a 20 MPa y la zona 5 con 72.87 MPa que según Gonzales (2004) para una caliza debe estar por encima de los 60 MPa cumpliría dicho valor.

4.4.3. Tilt test

Realizado a partir de la norma ISMR (International Society for Rock Mechanics), y norma ASTM D-854/C127, se obtuvo el ángulo de fricción básico para las 05 zonas de estudio, inclinando tres testigos cilíndricos donde una de ellas desciende por encima de las otras dos, según la propuesta de Stimpson (1981).

Mencionando que el ángulo medido en laboratorio posteriormente se realizó una corrección como se ve en el Anexo A-5, para así ser considerado como ϕ_b ángulo de fricción básico encontrado en la Tabla 32.

Tabla 32

Resultados del ensayo de Tilt test

ZONA	N° testigos	ϕ_b
Zona 1	3	38.09
Zona 2	3	39.13
Zona 3	3	38.09
Zona 4	3	34.75
Zona 5	3	37.91

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -5

Con los valores obtenidos del ángulo de rozamiento se afirma que se tiene mayor fuerza de fricción de dos planos de la misma roca, y en la mayoría de rocas varia en un rango de 25 y 45°. Según Gonzales (2004) se tiene para areniscas valores de 30-50, conglomerados 35-50 y caliza 35-50. Estando los datos obtenidos en laboratorio dentro de estos rangos.

4.5. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO

4.5.1. Clasificación RMR (Rock Mass Rating)

La clasificación RMR de Bieniawski de 1989, determina la calidad del macizo rocoso. Con los parámetros de la tabla del Anexo -4. Con la cual se presenta los resultados siguientes:

Tabla 33*Resultados de valores RMR para cada zona*

ZONA	VALORACIÓN RMR	CALIDAD	CLASE	ESTABILIDAD
Zona - 1	50	Media	III	Normalmente estable
Zona - 2	52	Media	III	Normalmente estable
Zona - 3	51	Media	III	Normalmente estable
Zona - 4	49	Media	III	Normalmente estable
Zona - 5	63	Buena	II	Normalmente estable

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -4

Los valores obtenidos están con la medida de corrección de discontinuidades para taludes, y ello implica para las zonas 1, 2, 3 y 4 de calidad media, en este tipo de macizo rocoso pueden presentar fallas o como también ser estables, para corroborar esto se le sumara los valores de sus propiedades físicas y las discontinuidades que presenten para así determinar su estabilidad más exacta. Para la zona 5 se tiene de calidad del macizo rocoso en buena, la probabilidad de que ocurran fallas es baja.

4.5.2. Clasificación por el método GSI (Índice de Resistencia Geológica)

Los valores de GSI fueron obtenidos a partir de la carta para evaluar el índice de resistencia geológica propuesta por Marinós & Hoek (2000), utilizando la técnica de la observación cuidadosa en el macizo rocoso para la cual se tuvo los siguientes resultados.

Tabla 34

Resultados de valores GSI para cada zona

ZONA	GSI	CALIDAD	CLASE
Zona - 1	43	Regular	III
Zona - 2	45	Regular	III
Zona - 3	43	Regular	III
Zona - 4	42	Regular	III
Zona - 5	50	Regular	III

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -4

Los valores de GSI determinados, son de calidad regular para esta clasificación el factor principal son las discontinuidades que se observan, ya que en base a ellas se obtienen estos valores, y con ello se afirma que el macizo rocoso puede sufrir fallas a causa de sus discontinuidades.

4.6. VALORACIÓN GEOTÉCNICA DEL MACIZO ROCOSO

4.6.1. Criterio de resistencia generalizado de Hoek – Brown

Ya analizado las propiedades de la roca intacta y conocida la calidad de la misma en cada zona, con el criterio de resistencia de Hoek -Brown se determinará sus propiedades geomecánicas. Por la cual se realizó en el software RocData v.3.0 de la corporación Rocscience como se muestra en el Anexo -9.

Datos ingresados fueron: la resistencia a la compresión uniaxial (UCS), el índice de resistencia geológica (GSI), valor constante a la matriz rocosa dependiendo del tipo de roca (mi), y el valor de perturbación del macizo rocoso (D). Los valores determinados serán necesarios para el análisis de estabilidad de taludes por el método equilibrio limite, como también estos valores pueden ser realizados manualmente con las ecuaciones: 15, 16, 17 y 18 del presente trabajo.

Tabla 35

Datos introducidos para el criterio de Hoek – Brown generalizado

ZONA		UCS (MPa)	GSI	m_i	D	γ (MN/m ³)	Altura de talud
Zona - 1	Talud 1A	16.44	43	19	1	0.02376	39.16
	Talud 1B						49.00
Zona - 2	Talud 2A	27.43	45	19	1	0.02524	50.76
	Talud 2B						66.47
Zona - 3	Talud 3A	43.90	43	16	1	0.02582	81.24
	Talud 3B						76.05
Zona - 4	Talud 4A	24.01	42	16	1	0.02499	68.96
	Talud 4B						38.64
Zona - 5	Talud 5A	72.87	50	19	1	0.02547	30.14
	Talud 5B						30.00

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -9

Tabla 36

Datos obtenidos por el criterio de Hoek – Brown generalizado

ZONA		m_b	s	a
Zona - 1	Talud 1A	0.324	0.0001	0.509
	Talud 1B			
Zona - 2	Talud 2A	0.374	0.0001	0.508
	Talud 2B			
Zona - 3	Talud 3A	0.273	0.0001	0.509
	Talud 3B			
Zona - 4	Talud 4A	0.254	0.0001	0.510
	Talud 4B			
Zona - 5	Talud 5A	0.534	0.0002	0.506
	Talud 5B			

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -9

Tabla 37*Datos obtenidos de parámetros del macizo rocoso*

	ZONA	σ_{3max}	σ_t	σ_c	σ_{cm}	Em
Zona - 1	Talud 1A	0.6911	-0.0038	0.130	1.189	1354.94
	Talud 1B	0.8153				
Zona - 2	Talud 2A	0.958	-0.0077	0.256	2.148	1963.74
	Talud 2B	1.2244				
Zona - 3	Talud 3A	1.5543	-0.012	0.348	2.91	2214.13
	Talud 3B	1.4637				
Zona - 4	Talud 4A	1.1831	-0.006	0.174	1.528	1545.85
	Talud 4B	0.7222				
Zona - 5	Talud 5A	0.6625	-0.0328	1.077	6.741	4268.2
	Talud 5B	0.6597				

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -9

4.6.2. Criterio de resistencia de Barton – Bandis y Mohr - Coulomb

Al realizar el mencionado criterio de resistencia por discontinuidades por ambos criterios. Se obtendrá resultados como el ángulo de fricción y la cohesión, que utilizaran en el análisis cinemático para la estabilidad de taludes en las zonas 01, 02 y 03. Mientras que se conservaran los ángulos de fricción básicos para la zona 04 y 05, ya que se determinó que son de condiciones secas y no meteorizadas.



Tabla 38

Datos introducidos para el criterio de Barton – Bandis y Morh – Coulomb

ZONA		ϕ_b	JRC	JCS	γ (MN/m ³)	Altura de talud
Zona - 1	Talud 1A	38.09	3	16.44	0.02376	39.16
	Talud 1B					49.00
Zona - 2	Talud 2A	39.13	4	27.43	0.02524	50.76
	Talud 2B					66.47
Zona - 3	Talud 3A	38.09	4	43.90	0.02582	81.24
	Talud 3B					76.05
Zona - 4	Talud 4A	34.75	6	24.01	0.02499	68.96
	Talud 4B					38.64
Zona - 5	Talud 5A	37.91	7	72.87	0.02547	30.14
	Talud 5B					30.00

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -9

Tabla 39

Datos obtenidos del criterio de Barton – Bandis y Morh – Coulomb

ZONA		σ_{3max}	ϕ	c (Mpa)
Zona - 1	Talud 1A	1.3150	41.15	0.018
	Talud 1B	1.6090	40.88	0.022
Zona - 2	Talud 2A	1.8108	43.53	0.037
	Talud 2B	2.3061	43.11	0.046
Zona - 3	Talud 3A	2.8120	42.54	0.056
	Talud 3B	2.6504	42.64	0.053
Zona - 4	Talud 4A	2.3435	40.30	0.067
	Talud 4B	1.4011	41.64	0.042
Zona - 5	Talud 5A	1.2027	46.58	0.051
	Talud 5B	1.1977	46.59	0.051

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -9

4.7. EXPANSIÓN URBANA

4.5.1. Superficie urbanizada y metrado de carga

Se tiene las viviendas en la zona 04 y 05 con sus respectivas áreas y distribución de zapatas la cual ejercerán esfuerzos de carga distribuida que afectará directamente a la estabilidad del talud según el Anexo A-6 y A-7, con ello ver si afectará a las zonas 01, 02 y 03 del lugar de estudio este crecimiento de expansión de las viviendas que se da.

Tabla 40

Área urbanizada y carga de la zona 5 manzana "A"

MANZANA "A"					
LOTE	ÁREA (m ²)	CARGA (Tn)	LOTE	ÁREA (m ²)	CARGA (Tn)
A-01	270.78	65.26	A-17	134.61	0.30
A-02	55.95	20.15	A-18	74.70	37.55
A-03	200.29	61.89	A-19	118.16	0.30
A-04	233.18	95.73	A-20	78.56	34.66
A-05	172.88	61.18	A-21	41.62	12.72
A-06	191.32	52.33	A-22	79.68	16.16
A-07	140.21	54.87	A-23	135.80	29.04
A-08	265.39	30.92	A-24	49.66	20.97
A-09	296.84	46.69	A-25	58.70	16.81
A-10	171.71	79.59	A-26	44.86	18.07
A-11	110.00	52.21	A-27	43.84	13.85
A-12	218.70	45.43	A-28	63.48	25.80
A-12'	227.19	49.34	A-29	47.83	26.84
A-13	225.81	60.16	A-30	139.17	30.14
A-14	110.00	26.64	A-31	231.74	31.05
A-15	111.55	28.34	A-32	1613.78	70.00
A-16	166.33	57.55			

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -8

El esfuerzo de cada vivienda fue determinado mediante el Anexo A-7 denominado metrado de carga, en donde se determinó las cargas más críticas que realiza el contacto entre zapata y el macizo rocoso. Se optó la carga de las columnas centrales, ya que con ello se tiene el esfuerzo más crítico de contacto.

Para esta manzana las viviendas A-12, A-12', A-13, A-14, A-15, A-16, A-18, A-20 son las que afectarán al (Talud – 5A), y las viviendas A-06, A-32, A-31, A-30, A-29, A-28 son las que afectarán al (Talud – 5B), por la cual ejercerán esfuerzos, así como se representa en el Anexo -7. Ejerciendo una carga distribuida en representación a su zapata.

Tabla 41

Área urbanizada y carga de la zona 4 manzana "B"

MANZANA "B"					
LOTE	ÁREA (m ²)	CARGA (Tn)	LOTE	ÁREA (m ²)	CARGA (Tn)
B-01	74.35	23.05	B-14	98.85	38.73
B-02	31.93	0.30	B-15	147.54	42.18
B-03	56.35	29.31	B-16	164.47	59.87
B-04	130.12	36.52	B-17	194.62	56.47
B-05	175.24	76.09	B-18	64.53	45.09
B-06	81.57	19.01	B-19	44.97	32.56
B-07	87.85	39.67	B-20	45.53	20.42
B-08	70.23	29.08	B-21	81.16	38.47
B-09	185.79	62.80	B-22	23.92	17.17
B-10	167.29	61.64	B-23	58.28	29.25
B-11	34.96	0.15	B-24	64.45	22.12
B-12	113.77	32.31	B-25	30.45	20.98
B-13	75.32	29.42			

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -8

Tabla 42

Área urbanizada y carga de la zona 4 manzana "C"

MANZANA "C"					
LOTE	ÁREA (m ²)	CARGA (Tn)	LOTE	ÁREA (m ²)	CARGA (Tn)
C-01	31.00	0.15	C-08	28.16	0.15
C-02	76.54	25.35	C-09	64.27	25.56
C-03	33.52	0.15	C-10	165.14	30.47
C-04	24.54	0.15	C-11	44.06	47.05
C-05	49.79	24.05	C-12	50.92	0.15
C-06	66.67	19.86	C-13	47.70	39.96
C-07	98.28	46.38			

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -8

Tabla 43

Área urbanizada y carga de la zona 04 manzana "D"

MANZANA "D"					
LOTE	ÁREA (m ²)	CARGA (Tn)	LOTE	ÁREA (m ²)	CARGA (Tn)
D-01	80.44	26.97	D-07	89.83	0.15
D-02	71.83	0.15	D-08	47.39	14.59
D-03	70.27	25.94	D-09	67.15	30.58
D-04	42.81	0.15	D-10	90.04	0.15
D-05	45.13	0.15	D-11	46.10	18.58
D-06	73.52	28.39	D-12	22.99	0.15

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -8

Tabla 44*Área urbanizada y carga de la zona 4 manzana "E"*

MANZANA "E"					
LOTE	ÁREA (m ²)	CARGA (Tn)	LOTE	ÁREA (m ²)	CARGA (Tn)
E-01	64.72	0.15	E-05	55.01	0.15
E-02	86.04	29.68	E-06	94.54	24.85
E-03	51.21	15.13	E-07	76.11	21.53
E-04	45.07	10.64			

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -8

Tabla 45*Área urbanizada y carga de la zona 4 manzana "F"*

MANZANA "F"					
LOTE	ÁREA (m ²)	CARGA (Tn)	LOTE	ÁREA (m ²)	CARGA (Tn)
F-01	271.81	47.63	F-04	76.79	17.27
F-02	585.90	4.32	F-05	85.18	18.48
F-03	37.38	18.51			

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -8

Para esta manzana las viviendas *B-07, B-15, C-11, C-10, D-03, D-06, D-09, E-02, E-06, E-07* son las que afectarán al (Talud – 4A), y las viviendas *B-01, B-03, B-19, B-23, F-01, F-02, F-04* son las que afectarán al (Talud – 4B), por la cual ejercerán esfuerzos, así como se representa en el Anexo A-1. Ejerciendo una carga distribuida en representación a su zapata.

4.8. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

4.8.1. Método cinemático

En este método se determina los tipos de falla de un talud como planar, cuña, volteo por flexión o directo, parámetros necesarios el buzamiento, la dirección del buzamiento en las discontinuidades y del talud analizado, como se

visualiza en el Anexo A-9. donde se aprecia el mapeo geológico realizado tomado como 09 estaciones según el Anexo A-3, como también un dato principal es el ángulo de fricción del macizo rocoso según el Anexo A-8 determinado por el criterio de Barton – Bandis y Morh Coulomb.

Para la cual se trabajó en el software Dips v.7.0, donde se graficó el buzamiento y la dirección de buzamiento, representando ambos datos en un solo punto llamado polo las cuales generan un plano donde este mismo es representado en la falsilla de Schmidt.

Para las fallas cuña se usó el software Swedge v.4.0, donde representa una gráfica 3D de la falla en cuña, como también analiza las condiciones hidrológicas y sísmicas.

Para las fallas planares el software RocPlane v.2.0, donde representa una gráfica 3D de la falla planar, como también analiza las condiciones hidrológicas y sísmicas.

Donde se determinará el tipo de falla con mayor probabilidad y a ello obtener un valor de factor de seguridad determinístico.

Tabla 46

Datos introducidos para la estereografía de la zona – 01

DATOS ESTEREOGRAFIA ZONA - 01				
Descripción	Talud - 1A		Talud - 1B	
Totalidad de polos	176		189	
Buzamiento del talud	53°		60°	
Dirección de buzamiento del talud	179°		172°	
Ángulo de fricción	41°		41°	
	Buz.	Direc. buz.	Buz.	Direc. Buz.
Familia 01	57	141	60	155
Familia 02	52	232	58	223
Familia 03	74	198	76	312
Familia 04	81	98	-	-

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -10

Tabla 47

Datos obtenidos para la estereografía de la zona – 01

RESULTADOS ESTEREOGRAFIA ZONA - 01		
Modo de falla	Talud - 1A	Talud - 1B
Falla planar con límite de 20°		
Falla planar (total)	1.70%	7.41%
Falla planar (familia 01)	2.00%	25.00%
Falla planar sin límite		
Falla planar (total)	5.11%	15.34%
Falla planar (familia 01)	10.00%	41.67%
Falla planar (familia 02)	4.35%	11.76%
Falla por cuña		
Falla por cuña (total)	17.02%	21.60%
Falla por vuelvo		
Falla por vuelco Flexural (total)	0.00%	1.05%
Falla por vuelco Direct (total)	0.94%	2.47%

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -10

Tabla 48

Datos introducidos para la estereografía de la zona – 02

DATOS ESTEREOGRAFIA ZONA - 02				
Descripción	Talud - 2A		Talud - 2B	
Totalidad de polos	183		172	
Buzamiento del talud	55		56	
Dirección de buzamiento del talud	148		161	
Ángulo de fricción	43		43	
	Buz.	Direc. buz.	Buz.	Direc. buz.
Familia 01	48	163	54	157
Familia 02	70	242	61	234
Familia 03	50	295	82	102

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -10

Tabla 49

Datos obtenidos para la estereografía de la zona – 02

RESULTADOS ESTEREOGRAFIA ZONA - 02		
Modo de falla	Talud - 2A	Talud - 2B
Falla planar con límite de 20°		
Falla planar (total)	4.37%	11.05%
Falla planar (familia 01)	15.38%	40.00%
Falla planar sin límite		
Falla planar (total)	8.74%	16.28%
Falla planar (familia 01)	28.85%	44.44%
Falla por cuña		
Falla por cuña (total)	7.63%	20.02%
Falla por vuelvo		
Falla por vuelco Flexural (total)	0.55%	0.00%
Falla por vuelco Direct (total)	4.41%	1.34%

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -10

Tabla 50

Datos introducidos para la estereografía de la zona – 03

DATOS ESTEREOGRAFIA ZONA - 03				
Descripción	Talud - 3A		Talud - 3B	
	Buz.	Direc. buz.	Buz.	Direc. buz.
Totalidad de polos	198		243	
Buzamiento del talud	54		51	
Dirección de buzamiento del talud	137		143	
Ángulo de fricción	43		43	
Familia 01	52	147	65	79
Familia 02	54	295	45	162
Familia 03	67	350	72	242
Familia 04	56	253	-	-

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -10

Tabla 51

Datos obtenidos para la estereografía de la zona – 03

RESULTADOS ESTEREOGRAFIA ZONA - 03		
Modo de falla	Talud - 3A	Talud - 3B
Falla planar con límite de 20°		
Falla planar (total)	10.10%	4.12%
Falla planar (familia 01)	35.71%	14.93%
Falla planar sin límite		
Falla planar (total)	12.63%	6.58%
Falla planar (familia 01)	41.07%	23.88%
Falla por cuña		
Falla por cuña (total)	9.28%	9.73%
Falla por vuelvo		
Falla por vuelco Flexural (total)	0.00%	0.00%
Falla por vuelco Direct (total)	8.39%	3.17%

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -10

Tabla 52

Datos introducidos para la estereografía de la zona – 04

DATOS ESTEREOGRAFIA ZONA - 04				
Descripción	Talud - 4A		Talud - 4B	
Totalidad de polos	101		99	
Buzamiento del talud	49		48	
Dirección de buzamiento del talud	127		133	
Ángulo de fricción	35		35	
	Buz.	Direc. buz.	Buz.	Direc. buz.
Familia 01	42	117	57	94
Familia 02	78	290	61	217
Familia 03	-	-	69	141
Familia 04	-	-	59	183

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -10

Tabla 53

Datos obtenidos para la estereografía de la zona – 04



RESULTADOS ESTEREOGRAFIA ZONA - 04		
Modo de falla	Talud - 4A	Talud - 4B
Falla planar con límite de 20°		
Falla planar (total)	20.79%	0.00%
Falla planar (familia 01)	35.59%	
Falla planar sin límite		
Falla planar (total)	28.71%	0.00%
Falla planar (familia 01)	49.15%	
Falla por cuña		
Falla por cuña (total)	17.66%	15.70%
Falla por vuelco		
Falla por vuelco Flexural (total)	3.96%	0.00%
Falla por vuelco Direct (total)	0.71%	0.10%

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -10

Tabla 54

Datos introducidos para la estereografía de la zona – 05

DATOS ESTEREOGRAFIA ZONA – 05		
Descripción	Talud – 5A	
Totalidad de polos	114	
Buzamiento del talud	45	
Dirección de buzamiento del talud	113	
Ángulo de fricción	38	
	Buz.	Direc. buz.
Familia 01	2	12
Familia 02	281	30
Familia 03	81	26

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -10

Tabla 55

Datos obtenidos para la estereografía de la zona – 05

RESULTADOS ESTEREOGRAFIA ZONA - 05	
Modo de falla	Talud – 5A
Falla planar con límite de 20°	
Falla planar (total)	2.63%
Falla planar (familia 01)	7.32%
Falla planar sin límite	
Falla planar (total)	2.63%
Falla planar (familia 01)	7.32%
Falla por cuña	
Falla por cuña (total)	3.29%
Falla por vuelvo	
Falla por vuelco Flexural (total)	0.88%
Falla por vuelco Direct (total)	2.07%

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -10

Tabla 56

Factor de seguridad para cada talud de las 05 zonas

TALUD	MODO DE FALLA	FACTOR DE SEGURIDAD	SOFTWARE	CONDICIÓN
Talud - 1A	Cuña	1.521	Swedge	Estable
Talud - 1B	Cuña	1.526	Swedge	Estable
Talud - 2A	Cuña	2.010	Swedge	Estable
Talud - 2B	Planar	2.149	RocPlane	Estable
Talud - 3A	Planar	10.62	RocPlane	Estable
Talud - 3B	Cuña	1.556	Swedge	Estable
Talud - 4A	Planar	3.395	RocPlane	Estable
Talud - 4B	Cuña	3.148	Swedge	Estable
Talud - 5A	Cuña	-	Swedge	Estable

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -10

Los factores de seguridad determinados en la Tabla 56, fueron determinados con condiciones hidrológicas húmedas, considerado la fuerza sísmica horizontal del 50% de la aceleración $c=0.18$. Por tanto, son valores de factor de seguridad pseudoestáticos. Representadas en el Anexo A-9.

4.8.2. Método de equilibrio límite

Para este método se determinó 10 taludes de corte para su estudio, 02 por cada zona considerando altura, dirección y pendiente con ayuda de las curvas de nivel. Los factores intervinientes fueron la mayor sobrecarga generada por las viviendas (Anexo A-7), las condiciones hidrológicas (Anexo A-3) y la aceleración sísmica. Para la cuales se realizó por el tipo de falla circular y no circular, así obteniendo parámetros determinísticos del factor de seguridad.

Tabla 57

Datos introducidos para el equilibrio límite de la zona – 01

ZONA - 1		
Descripción	Talud - 1A	Talud - 1B
Altura del talud	39.16	49.00
γ (KN/m ³)	23.76	23.76
UCS (KPa)	16,440.00	16,440.00
GSI	43	43
m_i	19	19
D (factor de disturbancia)	1	1
m_b	0.324	0.324
s	0.0001	0.0001
a	0.509	0.509
Condición hidrológica	Húmedo	Húmedo
Coefficiente Sísmico	0.18	0.18

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -11

Tabla 58*Datos obtenidos por el equilibrio límite de la zona – 01*

ZONA - 1		
Descripción	Talud - 1A	Talud - 1B
Falla circular		
Bishop simplificado	1.365	1.376
Fellenius	1.304	1.311
Falla no circular		
Morgenstern - Price	1.319	1.320
Spencer	1.344	1.341
Condición	Inestable	Inestable
Promedio	1.33	

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -11

Tabla 59*Datos introducidos para el equilibrio límite de la zona – 02*

ZONA - 2		
Descripción	Talud - 2A	Talud - 2B
Altura del talud	50.76	66.47
γ (KN/m ³)	25.24	25.24
UCS (KPa)	27,430.00	27,430.00
GSI	45	45
m_i	19	19
D (factor de disturbancia)	1	1
m_b	0.374	0.374
s	0.0001	0.0001
a	0.508	0.508
Condición hidrológica	Húmedo	Húmedo
Coefficiente Sísmico	0.18	0.18

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -11

Tabla 60*Datos obtenidos por el equilibrio límite de la zona – 02.*

ZONA - 2		
Descripción	Talud - 2A	Talud - 2B
Falla circular		
Bishop simplificado	1.516	1.334
Fellenius	1.480	1.296
Falla no circular		
Morgenstern - Price	1.454	1.253
Spencer	1.474	1.298
Condición	Inestable	Inestable
Promedio	1.37	

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -11

Tabla 61*Datos introducidos para el equilibrio límite de la zona – 03*

ZONA - 3		
Descripción	Talud - 3A	Talud - 3B
Altura del talud	81.24	76.05
γ (KN/m ³)	25.82	25.82
UCS (KPa)	43,900.00	43,900.00
GSI	43	43
m_i	16	16
D (factor de disturbancia)	1	1
m_b	0.273	0.273
s	0.0001	0.0001
a	0.509	0.509
Condición hidrológica	Húmedo	Húmedo
Coefficiente Sísmico	0.18	0.18

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -11

Tabla 62*Datos obtenidos por el equilibrio límite de la zona – 03*

ZONA - 3		
Descripción	Talud - 3A	Talud - 3B
Falla circular		
Bishop simplificado	1.139	1.398
Fellenius	1.181	1.402
Falla no circular		
Morgenstern - Price	1.104	1.376
Spencer	1.142	1.415
Condición	Inestable	Inestable
Promedio	1.26	

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -11

Tabla 63*Datos introducidos para el equilibrio límite de la zona – 04*

ZONA - 4		
Descripción	Talud - 4A	Talud - 4B
Altura del talud	68.96	38.64
γ (KN/m ³)	24.99	24.99
UCS (KPa)	24,010.00	24,010.00
GSI	42	42
m_i	16	16
D (factor de disturbancia)	1	1
m_b	0.254	0.254
s	0.0001	0.0001
a	0.51	0.51
Condición hidrológica	seco	seco
Coefficiente Sísmico	0.18	0.18

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -11

Tabla 64*Datos obtenidos por el equilibrio límite de la zona – 04*

ZONA - 4		
Descripción	Talud - 4A	Talud - 4B
Falla circular		
Bishop simplificado	2.565	2.513
Fellenius	2.208	2.434
Falla no circular		
Morgenstern - Price	2.287	2.799
Spencer	2.308	2.832
Condición	Estable	Estable
Promedio	2.56	

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -11

Tabla 65*Datos introducidos para el equilibrio límite de la zona – 05*

ZONA - 5		
Descripción	Talud - 5A	Talud - 5B
Altura del talud	30.14	30.00
γ (KN/m ³)	25.47	25.47
UCS (KPa)	72,870.00	72,870.00
GSI	50	50
m_i	19	19
D (factor de disturbancia)	1	1
m_b	0.534	0.534
s	0.0002	0.0002
a	0.506	0.506
Condición hidrológica	seco	seco
Coefficiente Sísmico	0.18	0.18

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -11

Tabla 66

Datos obtenidos por el equilibrio límite de la zona – 05

ZONA - 5		
Descripción	Talud - 5A	Talud - 5B
Falla circular		
Bishop simplificado	1.916	1.679
Fellenius	1.915	1.679
Falla no circular		
Morgenstern - Price	2.060	1.658
Spencer	2.072	1.658
Condición	Estable	Estable
Promedio	1.86	

Nota: elaboración propia, adaptada del Anexo -11

Tabla 67

Resumen del Factor de seguridad

	FACTOR DE SEGURIDAD									
	Zona 1		Zona 2		Zona 3		Zona 4		Zona 5	
	Talud	Talud	Talud	Talud	Talud	Talud	Talud	Talud	Talud	Talud
	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B	5A	5B
Determinado	1.33	1.33	1.46	1.28	1.12	1.40	2.34	2.64	1.99	1.67
Promedio	1.33		1.37		1.26		2.56		1.86	
Suponiendo la										
expansión	1.00	0.93	1.00	1.15	1.18	1.18	-	-	-	-
urbana										
Promedio	0.97		1.08		1.18					

Nota: adaptado a partir del Anexo -12

En las zonas 01, 02 y 03, se tiene los taludes 1A, 1B, 2A, 2B, 3A y 3B, donde se les asume cargas distribuidas de viviendas de 02 y 03 niveles, con un peso de 24 tn y 39 tn con el valor promedio de 3 niveles de edificación. Y en la zona 3 con 62 tn equivaliendo a una edificación de 4 niveles con la finalidad de

comprobar el factor de seguridad como sigue bajando, la cual genera un riesgo por la expansión urbana.

4.9. VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS

a) Hipótesis general

Para la hipótesis general que es la expansión urbana sobre el macizo rocoso de la Circunvalación norte cuadras cuatro al ocho - Puno, genera riesgo en la estabilidad de taludes. Podemos afirmar que según las hipótesis específicas tienden por estar en la región de aceptación de la hipótesis nula (H_0), concluimos que la expansión urbana si genera riesgo en la estabilidad de taludes.

b) Hipótesis específica 1

La clasificación geomecánica del macizo rocoso varía entre regular y mala en la circunvalación norte cuadras cuatro al ocho – Puno.

- Hipótesis nula (H_0): La clasificación geomecánica del macizo rocoso varía entre regular y mala en la circunvalación norte cuadras cuatro al ocho – Puno.
- Hipótesis alternativa (H_1): La clasificación geomecánica del macizo rocoso no varía entre regular y mala en la circunvalación norte cuadras cuatro al ocho – Puno.

Para el proyecto de investigación se tomó un nivel de significancia de $\alpha = 5\% = 0.05$ y nivel de confianza al $\alpha = 95\%$ (teniendo el nivel de confianza de 95%) se usará $\alpha/2$ para tener misma región de rechazo y de acuerdo a la tabla de la distribución T-STUDEN. Se tiene muestras $Z_1=50, Z_2=52, Z_3=51, Z_4=49$ y $Z_5=63$ con promedio de $Z_{prom}=53, m=60$, teniendo $n=5$ siendo este el número de muestras, $S=5.701$ siendo el valor de la desviación estándar.

El grado de libertad siendo $G_l = n-1$; reemplazando a ello se tendría el valor $G_l = 5-1=4$.

Tabla 68

Tabla t-Student h1

Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321

Nota: adaptado a partir de Sealy W. (1908)

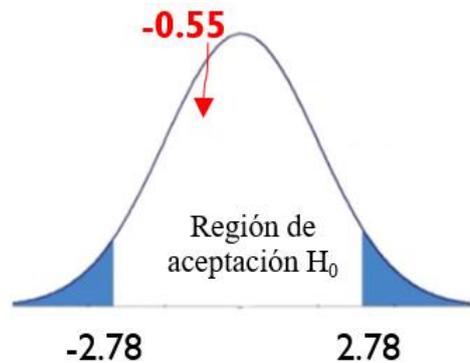
Hallando el valor de $t_0=2.7765$ luego determinamos el valor de t_1 . Con la siguiente ecuación:

$$t_1 = \frac{Z_{prom} - m}{S\sqrt{n}} \quad (54)$$

Reemplazando obtenemos el valor de $t_1 = -0.55$

Figura 68

Región de aceptación h1



Nota: elaboración propia

Concluimos que se acepta la hipótesis nula (H_0), donde la clasificación geomecánica del macizo rocoso varía entre regular y mala en la circunvalación norte cuardas cuatro al ocho – Puno.

c) Hipótesis especifica 2

La sobrecarga generada por la expansión urbana en el macizo rocoso de la Circunvalación Norte cuadras cuatro al ocho - Puno, es mayor a 20 tn/m^2 .

- Hipótesis nula (H_0): La sobrecarga generada por la expansión urbana en el macizo rocoso de la Circunvalación Norte cuadras cuatro al ocho - Puno, es mayor a 20 tn/m^2 .
- Hipótesis alternativa (H_1): La sobrecarga generada por la expansión urbana en el macizo rocoso de la Circunvalación Norte cuadras cuatro al ocho - Puno, es menor a 20 tn/m^2 .

Para el proyecto de investigación se tomó un nivel de significancia de $\alpha = 5\% = 0.05$ y nivel de confianza al $\alpha_1 = 95\%$ (teniendo el nivel de confianza de 95%) se usará $\alpha/2$ para tener misma región de rechazo y de acuerdo a la tabla de la distribución T-STUDEN. Se tiene muestras $Z_1=30.90$, $Z_2=26.20$, $Z_3=43.46$ y $Z_4=39.86$ con promedio de $Z_{\text{prom}}=35.13$, $m= 20$ de carga, teniendo $n =4$ siendo este el número de muestras, $S =7.927$ siendo el valor de la desviación estándar.

El grado de libertad siendo $G_l =n-1$; reemplazando a ello se tendría el valor $G_l=4-1=3$.

Tabla 69

Tabla t-Student h2

Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041

Nota: adaptado a partir de Sealy W. (1908)

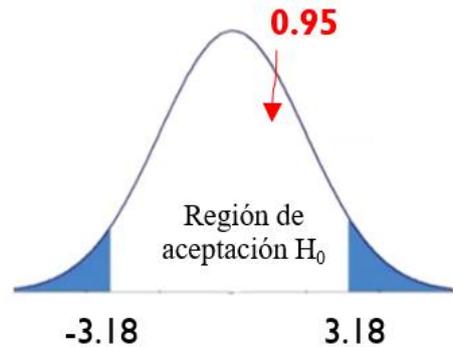
Hallando el valor de $t_0=3.1824$, luego determinamos el valor de t_1 . Con la siguiente ecuación:

$$t_1 = \frac{Z_{prom} - m}{S\sqrt{n}} \quad (55)$$

Reemplazando $t_1 = -0.95$

Figura 69

Región de aceptación h_2



Nota: elaboración propia

Concluyendo que se acepta la hipótesis nula (H_0), que la sobrecarga generada por la expansión urbana en el macizo rocoso de la Circunvalación norte cuadras cuatro al ocho – Puno, es mayor a 20 tn/m^2 .

d) Hipótesis específica 3

El factor de seguridad del macizo rocoso no garantiza la estabilidad de taludes en la Circunvalación Norte cuadras cuatro al ocho – Puno.

- Hipótesis nula (H_0): El factor de seguridad del macizo rocoso no garantiza la estabilidad de taludes en la Circunvalación Norte cuadras cuatro al ocho – Puno.
- Hipótesis alternativa (H_1): El factor de seguridad del macizo rocoso si garantiza la estabilidad de taludes en la Circunvalación Norte cuadras cuatro al ocho – Puno.

Para el proyecto de investigación se tomó un nivel de significancia de $\alpha = 5\% = 0.05$ y nivel de confianza al $\alpha 1 = 95\%$ (teniendo el nivel de confianza de 95%) se usará $\alpha/2$ para tener misma región de rechazo y de acuerdo a la tabla

de la distribución T-STUDEN. Se tiene muestras $Z_1 = 0.97$, $Z_2 = 1.08$ y $Z_3 = 1.18$ con promedio de $Z_{prom} = 1.076$, $m = 1.25$ del factor de seguridad, teniendo $n = 3$ siendo esta el número de muestras, $S = 0.105$ siendo el valor de la desviación estándar.

El grado de libertad siendo $Gl = n - 1$; reemplazando a ello se tendría el valor $Gl = 3 - 1 = 2$.

Tabla 70

Tabla t-Student h3

Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041

Nota: adaptado a partir de Sealy W. (1908)

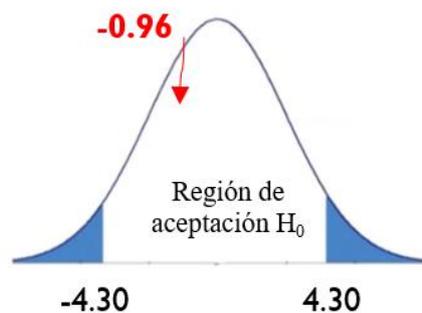
Hallando el valor de $t_0 = 4.3027$, luego determinamos el valor de t_1 . Con la siguiente ecuación:

$$t_1 = \frac{Z_{prom} - m}{S\sqrt{n}} \tag{56}$$

Reemplazando $t_1 = -0.96$

Figura 70

Región de aceptación h3



Nota: elaboración propia

Concluyendo que se acepta la hipótesis nula (H_0), que el factor de seguridad no garantiza la estabilidad de taludes en la Circunvalación Norte cuadras cuatro al ocho – Puno.

4.10. PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN PARA EL TALUD

Para la estabilización de los taludes en las zonas 1, 2 y 3. Primeramente se tuvo los siguientes factores de seguridad afectando al talud, la carga del peso de vivienda con una máximo de 620 KN/m² para las zonas 1 y 2 siendo esta equivalente a viviendas de 4 a 5 niveles, 850 KN/m² para el talud de la zona 3 B por ser una roca con características de buena, siendo equivalente a viviendas de 7 a 8 niveles.

Tabla 71

Factor de seguridad afectado por las cargas de las viviendas.

Factor de Seguridad					
Zona 1		Zona 2		Zona 3	
Talud 1A	Talud 1B	Talud 2A	Talud 2B	Talud 3A	Talud 3B
1.00	0.93	1.00	1.15	1.18	1.18

Nota: elaboración propia

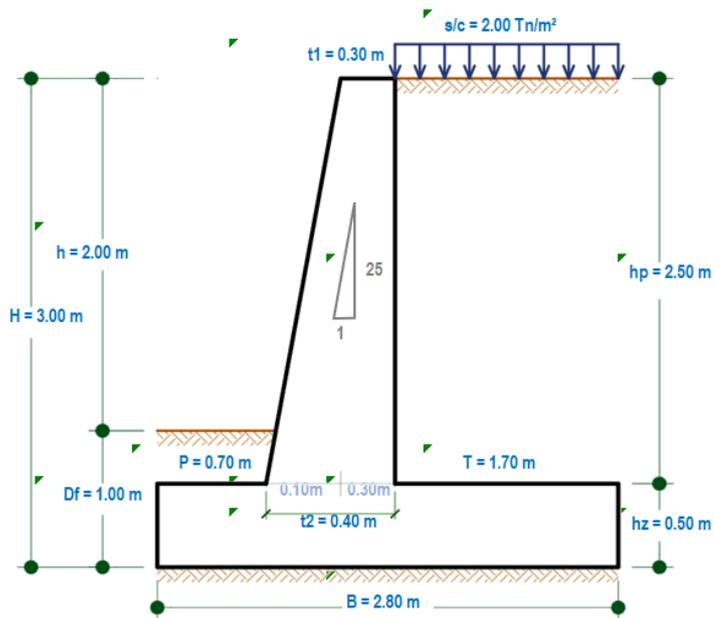
Con ello se planteó para la estabilización de muros de contención. Con el fin de reducir el factor de seguridad en los taludes de estudio. Como también por su factibilidad en costo, construcción y materiales. Para ello se tiene el Anexo A-13, el diseño de Muro de contención.

Se analizó para los 6 taludes inestables, utilizando factores ya calculados como son estos: tipo de roca, peso específico, capacidad portante, ángulo de fricción. Siendo los datos principales en lo que se determinó las dimensiones del muro: altura del muro de 3.00 m; corona de 0.30 m; ancho de 2.80 m; peralte de 0.50 m; punta de 0.70 m y el talón de 1.70 m.

Siendo estas dimensiones para las tres zonas.

Figura 71

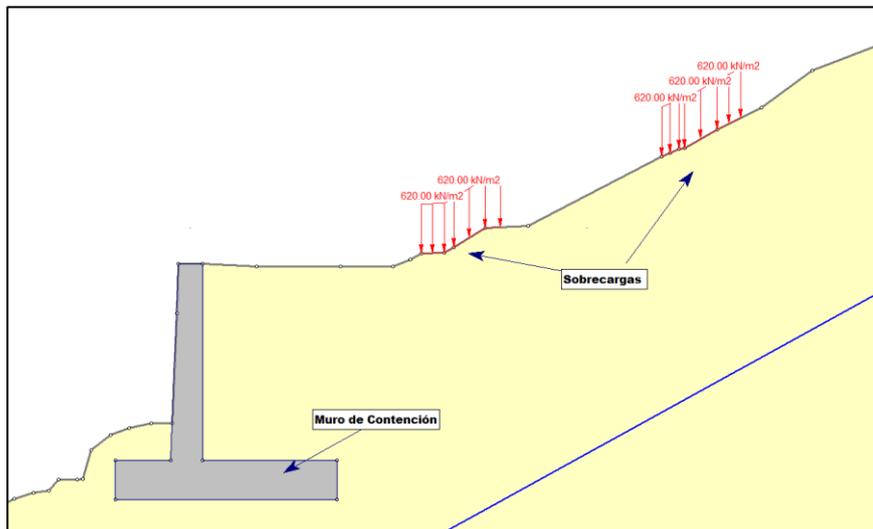
Dimensiones del muro de contención



Nota. Elaboración propia

Figura 72

Aplicación del muro de contención en el perfil analizado



Nota. Elaboración propia

Mencionando a ello que el diseño del muro es independiente con el análisis de las fallas en el talud. Se colocó en las cargas de viviendas donde se produce la falla, ocasionando esto un aumento directamente en el factor de seguridad.

Tabla 72

Factor de seguridad afectado con el muro de contención

Factor de Seguridad con el muro de contención					
Zona 1		Zona 2		Zona 3	
Talud 1A	Talud 1B	Talud 2A	Talud 2B	Talud 3A	Talud 3B
1.49	1.51	1.56	2.21	1.74	1.62

Nota: elaboración propia

4.11. DISCUSIÓN

Que según Espinoza (2019) determinó en sus 08 taludes de su zona de estudio eran inestables con valores menores a la unidad. Pero no realizó ensayos pseudoestáticos ni considero el valor de las condiciones hidrológicas siendo con ello un valor no confiable, en el caso presente de la investigación se consideró un análisis sísmico de constante de aceleración 0.18 y las condiciones hidrológicas según a las fichas del mapeo geológico a como se presentó. Mientras tanto Puma & Molle (2022) consideró inestable al talud con valores menores que 1.5 ya que en su estudio realizado fue un camino vecinal, por los transeúntes que utilizan la zona, evitó tener valores menores a lo mencionado.

Moreno (2021) determinó a su macizo de clase II de calidad buena con reconocimiento de 05 familias, mientras que en la presente investigación se determinó de calidad media a buena, pero con una máximo de 04 familias representativas y con posibles fallas no circulares. Valeriano (2019) concluye que el RMR de 48.8 y GSI de 43 a 72, con posibles fallas de tipo flexural con 15.74% y oblicuo con 31.19%, mientras que en la investigación presente se tiene un RMR promedio de 53 y GSI de 45 teniendo valores de



porcentajes de falla menores a 15% en planares, cuña y volteo, teniendo valores menores que Moreno, pero menos fallas presentadas en el método cinemático.

Según Carnero (2011) concluye con factor de seguridad adoptado de 1.30 para el cálculo estático y 1.00 para el cálculo pseudoestático la cual no debería ser así, ya que el valor en pseudoestático debe ser mayor a 1.25 o más ya que se tiene la consideración de vidas humanas, mientras que en la presente investigación se tomó al factor mayor de 1.37 inestable al talud, ya que están vidas humanas en medio. Por tanto, se debe tener un valor mucho más del valor mínimo que presente la norma. Puma (2022) considero solo 3 estaciones y determinó los factores de seguridad de frente con el software Swedge, mientras tanto. En la presente investigación se tomó como 9 estaciones y además de calcularlo en el software Swedge también se determinó en el software RocPlane y en método de equilibrio límite así tener un valor más confiable como también tener más escenarios de dicho valor.



V. CONCLUSIONES

- Se concluye que, la expansión urbana genera riesgo en la estabilidad de taludes en las zonas 01, 02 y 03, ya que contienen el valor de factor de seguridad por debajo de 1.25 al aplicarse fuerzas de 620 KN/m² equivalentes a viviendas de 4 a 5 niveles a más, y 850 KN/m² para el talud 3 B siendo equivalente a viviendas de más de 7 niveles.
- La calidad de la clasificación geomecánica del macizo rocoso tiene valores de: zona 1 con RMR de 50 y GSI de 43, zona 2 con RMR de 52 y GSI de 45, zona 03 con RMR de 51 y GSI de 43, zona 4 con RMR de 49 y GSI de 42 y zona 5 con RMR de 63 y GSI de 50. Teniendo una variación de calidad del macizo rocoso de Media con clase III y Buena con clase II.
- Se concluye que, la sobrecarga generada por la expansión urbana en el macizo rocoso en la zona 4 por zapata de mayor carga es de 24 tn/m² con zapatas de cimentación de 1.00 m por 1.00 m; y en la zona 5 de 39 tn/m² con zapatas de cimentación de 1.00 m por 1.00m.
- El factor de seguridad determinado en la zona 01 con 1.33; zona 02 con 1.37; zona 03 con 1.26 no garantiza la estabilidad de taludes y por la sobrecarga que genere la expansión urbana en dichos taludes disminuirá en la zona 01 con 0.97; zona 02 con 1.08; zona 03 con 1.18 y en la zona 04 con 2.56; la zona 05 con 1.86 si garantizan su estabilidad ya que están por encima del valor admitido.



VI. RECOMENDACIONES

- Que para la zona 1, zona 2 y zona 3 para edificaciones que se quieran construir mayor a 62 tn o 4 niveles a más, debe realizarse un análisis de estabilización al talud para su área de terreno, ya que si se construiría dichos niveles serán propenso a fallar el talud.
- Realizar zanjas de coronación sobre los taludes, para evacuar el agua de las precipitaciones que afecten al talud.
- Tener en cuenta a las cimentaciones cercanas de edificaciones a la cara del talud, por lo menos mayores a 3 metros.
- Realizar un análisis al nivel freático, ya que es un factor importante en la estabilidad de taludes, dato que ayudará a ver con más veracidad la falla a presentarse.
- Teniendo en cuenta a los parámetros geotécnicos determinados del macizo rocoso y de las discontinuidades se sugiere realizar el análisis de sensibilidad.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abramson, L., Lee, W., Sharma, S., & Boyce, G. (2001). *Slope stability and stabilization methods* (Second edition ed.). John Wiley & Sons.
- Albino Dextre, J. (2016). *Propuesta de un sistema de estabilización en el km 1+670 al 1+720 de la carretera Huaraz - Paria* [Tesis de grado, Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo"]. Repositorio institucional. Obtenido de <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/1450>
- Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación introducción a la metodología científica*. Caracas: Editorial Episteme, C.A.
- Azuarte M., D. (2004). *Caracterización geológica y geomecánica de los macizos rocosos de la sección Guatire-Caucagua de la autopista Rómulo Betancourt, Estado Miranda* [Tesis de grado, Universidad Central de Venezuela]. Repositorio institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10872/581>
- Barton, N., & Choubey, V. (1977). *The shear strength of rock joints in theory and practice*. Rock Mechanics. doi:<https://doi.org/10.1007/BF01261801>
- Bieniawski, Z. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications*. Canada: John Wiley & Sons.
- Budhu, M. (2007). *Soil mechanics and foundation*. New York: Editorial John Wiley and Sons.
- Carnero G., G. (2011). *Estudio geotécnico para la estabilidad de taludes en la carretera: Patahuasi - Yauri - Sicuani Tramo: el descanso - langui* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio institucional. Obtenido de https://biblioteca.unap.edu.pe/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=63247
- Carrillo G., M., Linkimer A., L., Rodríguez A., A., & Zúñiga M., H. (2002). *Clasificación geomecánica u análisis estabilidad de taludes del macizo rocoso Coris, Cartago, Costa Rica* [Artículo científico, Universidad de Costa Rica]. Repositorio institucional. Obtenido de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/view/8534/8089>



- Energía, S. N. (2004). *Manual de Geomecánica Aplicada a la Prevención de Accidentes por Caídas de Rocas en Minería Subterránea*. Lima: DCR Ingenieros S.R.Ltda.
- Espinoza Nieto, G. (2019). *Evaluación de taludes inestables en el tramo: km 100+000 al km 115+000 de la carretera Huánuco - La Unión* [Tesis de grado, Universidad Nacional "Hermilio Valdizan"]. Repositorio institucional . Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.13080/5116>
- Ewing, Reid, Pendall, R., & Chen, D. (2002). *Measuring Sprawl and Its Impract. Smart Growth America*. doi:[https://doi.org/Cited By \(since 1996\) 164](https://doi.org/Cited%20By%20(since%201996)%20164)\rExport Date 14 August 2012.
- Gerscocich, D. (2016). *Estabilidad de taludes*. San Pablo: Editorial conselho .
- Gómez, A., & Hortas, M. (2016). *The causes of urban sprawl in spanish urban areas: a spatial approach*. doi:<https://doi.org/10.1080/17421772.2016.1126674>
- Gonzales, L. (2004). *Ingeniería geológica*. Madrid: Person Educación, S.A. .
- Hernandez, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México: Mcgraw-Hill Interamericana Editores, S.A.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Herrera Alva , E., & Montañez Rosales , E. (2022). *Evaluación de la estabilidad de taludes de muros en el sector de Mullaca, Tarica , Huaraz, Ancash* [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/105685>
- Hudson, J. (1989). *Rock Mechanics Principles In Engineering Practice*. England: Construction Industry Research & Information Assoc.
- Instituto Geológico y Minero de España. (2006). *Manual de Ingeniería de Taludes*. Ministerior de Educación y Ciencia, Madrid.
- Jorda, B. (2013). *Clasificaciones Geomecánicas y Diseño Empírico de Sostenimiento*. Lima: Elite S.A.



- Kramer, S. (1996). *Geotechnical earthquake engineering*. Pearson Education India.
- Mancera, J. (2010). *Estudio para la Estabilización de Corte Ubicado en el Lado 236 Izquierdo de la Carretera Guadalajara-Salttillo - Ixtlahuacán del Río, Estado de Jalisco - México* [tesis pregrado, Universidad Nacional de Ecuador]. Repositorio institucional, México. Obtenido de <https://repositorio.une.mx/contenidos/estudio-para-estabilizacion-de-corte-239>
- Marcuson, W., & Franklin, A. (1983). *Seismic design, analysis, and remedial measures to improve stability of existing earth dams*.
- Marinos, P., & Hoek, E. (2000). *GSI – A geologically friendly tool for rock mass strength estimation*. Melbourne: Technomic Publishing Co.
- Marinos, V., Marinos, P., & Hoek, E. (2005). *The geological strength index: applications and limitations*. Bulletin of Engineering Geology and the Environment. doi:<https://doi.org/10.1007/s10064-004-0270-5>
- Morales, M. (2009). *Caracterización geotécnica y determinación de ángulos del talud en yacimiento Franke - Chile* [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio institucional. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103406>
- Moreno Suárez, M. (2021). *Estabilidad de taludes del macizo rocoso ubicado en el entorno de la carretera HU-6400, El Granado, Huelva* [Tesis de posgrado, Universidad Internacional de Andalucía]. Repositorio institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10334/5817>
- MTC. (2016). *Manual de Carreteras túneles, muros y obras complementarias*. Edición Lima. Obtenido de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_4%20TMyOC-2016.pdf
- Palmstrom, A. (1982). *The Volumetric Joint Count a Useful and Simple Measure of the Degree of Jointing*. Proceedings of 4th International Congress IAEG, New Delhi, 10-15 December.
- Pérez, E. A. (2005). *Estabilidad de Taludes*. España: Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona Tech - UPC.



- Plaza, D. (2005). *Geología Aplicada*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Puma Mamani, N. (2022). *Evaluación geomecánica de taludes de roca entre los kilómetros 229+000 al 231+000 de la carretera Sandia a Quiquira-Puno [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano]*. Repositorio institucional. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/18336>
- Puma Zevallos, L., & Molle Calderon, S. (2022). *Análisis de la estabilidad de taludes a partir de las características del suelo y plantear alternativas de solución más eficiente en el camino vecinal San Gaban - Carabaya - Puno [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano]*. Repositorio institucional. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/17730>
- Raffino, M. (2020). *Crecimiento Poblacional*. Obtenido de Concepto.de. Recuperado el 19 de Mayo de 2020: <https://concepto.de/crecimiento-poblacional/#ixzz6MvfV3x2w>
- Ragan, D. (2009). *Geología Estructural introducción a las técnicas geométricas*. New York: The Edinburgh Building, Cambridge CB2 8RU, UK.
- Ramírez, P., & Alejano, L. (2004). *Mecánica de rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes*. España: Universidad politécnica de Madrid.
- Read, J., & Stacey, P. (2009). *Guidelines for open pit slope design*. Australia: Csiro Publishing.
- Rodrigo Campos, L. (2017). *Análisis de estabilidad de taludes en la carretera Lajas - Ajipampa [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca]*. Repositorio institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/1411>
- Suarez, J. (2004). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Colombia: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Ingeniería de Suelos Ltda.
- Suárez, L. (2014). *Descripción del macizo rocoso introducción a la ingeniería de rocas de superficie y subterránea*. Medellín: Ed.
- Valeriano Nina, F. (2016). *Métodos para el análisis de estabilidad de taludes en roca y su interacción en el cerro espiral Juliaca [Tesis de grado, Universidad Nacional*



del Altiplano]. Repositorio institucional. Obtenido de
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/2968>

Villaescusa, E., & Brown. (1992). *E.T. Maximum likelihood estimation of joint size from trace length measurements. Rock Mech Rock Engng* 25, 67–87.
doi:<https://doi.org/10.1007/BF01040513>

Wassmer, R. (2008). Causes of Urban Sprawl in the United States: Auto reliance as compared to natural evolution, reliance. doi:<https://doi.org/10.1002/pam.20355>

Wyllie, D., & Mah, C. (2004). *Rock Slope Engineering: Civil and Minig.* (4. Edition, Ed.) London, Inglaterra: Taylor y Francis 456 p.

Zabala, B., & Rosado, M. (2011). *Riesgo geologico en la region de cajamarca.* Lima: INGEMMET. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12544/300>



ANEXOS

ANEXO 1: PANEL FOTOGRAFICO

ANEXO 2: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y PERFILES DE CORTE

ANEXO 3: FICHAS DEL MAPEO GEOLÓGICO

ANEXO 4: CLASIFICACIÓN DEL MACIZO

ANEXO 5: ENSAYOS DE LABORATORIO

ANEXO 6: LOTIZACIÓN DE LAS VIVIENDAS

ANEXO 7: DISTRIBUCIÓN DE CARGAS POR ÁREAS TRIBUTARIAS

ANEXO 8: METRADO DE CARGAS.

ANEXO 9: CRITERIOS DE RESISTENCIA DEL MACIZO ROCOSO.

ANEXO 10: ANÁLISIS DE ESTABILIDAD POR MÉTODO CINEMÁTICO

ANEXO 11: ANÁLISIS DE ESTABILIDAD POR MÉTODO EQUILIBRIO LÍMITE.

ANEXO 12: ANÁLISIS DE TALUDES INESTABLES

ANEXO 13: DISEÑO DE MURO DE CONTENCIÓN.

ANEXO 14: ESTABILIZACIÓN DEL TALUD CON MURO DE CONTENCIÓN.

ANEXO 15: PLANOS.



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Christian Yave Mamani Ancori
identificado con DNI 70225606 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Civil

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
"Riesgo en la estabilidad de Taludes del macizo rocoso por la expansión
urbana en la circunvalación norte cuadras cuatro al ocho - Puno"

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 16 de abril del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Christian Yave Mamani Ancori,
identificado con DNI 70225606 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Civil

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"Riesgo en la estabilidad de taludes del macizo rocoso por la expansión urbana en la circunvalación norte cuadras cuatro al ocho - Puno."

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 16 de abril del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella