# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

## Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE INESTABILIDADES Y PROPUESTA DE SOSTENIMIENTO DE TALUDES EN DOS SITIOS CRÍTICOS DE LA VÍA GUANGARCUCHO – PAUTE – GUALACEO

**PROYECTO INTEGRADOR**

**PREVIO LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

INTENIERO GEÓLOGO

PRESENTADO POR:

RUBEN ADOLFO GONZALEZ MENDOZA

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO: 2020

# DEDICATORIA

Dedicada especialmente para mis padres, Lorena Mendoza y Adolfo Gonzalez por su apoyo constante e incondicional a lo largo de mi carrera universitaria y más aun en el desarrollo de este proyecto.

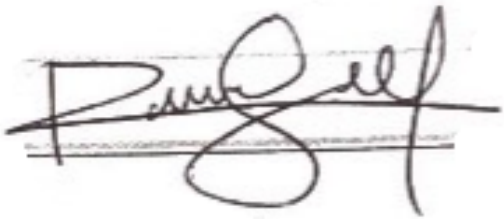
# AGRADECIMIENTOS

Agradecido con Dios y la vida por esta oportunidad.

Agradezco a la empresa de Geoestudios S.A. por su apoyo y constante guía en este proyecto, especialmente a la Ing. Alejandra Vera. También agradezco a todos mis amigos y profesores que de alguna u otra manera aportaron en el desarrollo de este proyecto y con mi formación profesional y humana a lo largo de la universidad.

# DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Ruben Adolfo Gonzalez Mendoza y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Ruben Adolfo Gonzalez Mendoza

# EVALUADORES

**Msc. Eva Rivas Pozo**

Profesor de la materia

**Msc. Jonny Encalada**

Profesor tutor

# RESUMEN

En un talud, cercano al puente de La Josefina en la vía Guangarcucho – Paute – Gualaceo, se registran deslizamientos debido al gran fracturamiento y meteorización del macizo rocoso, estos provocan daños en la carretera, cierre de la vía y pérdidas económicas. El objetivo del presente trabajo es analizar las condiciones de estabilidad de dos sitios críticos de la vía Gunagarcucho – Paute – Gualaceo mediante las características geológicas y geotécnicas del sector para la recomendación de medidas de sostenimiento.

Para conocer la estabilidad en el talud fue necesario aplicar métodos cinemáticos, empíricos y de equilibrio límite mediante el levantamiento de estaciones geomecánicas, ensayos de laboratorio y procesamiento de datos mediante software como Dips, ArcMap y Slide. Esto nos permitió clasificar el talud por tipo de rotura, calidad del macizo rocoso, superficie potencial de falla y factor de seguridad.

El análisis cinemático nos mostró que existe una mayor probabilidad de roturas por caídas de rocas. Mientras que los resultados de los métodos empíricos nos muestran que toda la parte central del talud tiene una calidad de mala a muy mala, y los sectores que se encuentran en los laterales del talud una calidad de media a mala. Los factores de seguridad, para condiciones secas, se encuentran en un rango de 1.20 a 1.45 y para condiciones sísmicas de 0.80 a 0.96.

En conclusión, el talud presenta una calidad y factor de seguridad desfavorable por lo cual es necesario aplicar medidas de sostenimiento, recomendándose utilizar mallas de alta resistencia con anclajes y cortinas de guiados.

Palabras Claves: Características Geológicas y Geotécnicas, SMR, Equilibrio Límite, Calidad de macizo rocoso, Sostenimiento.

# ABSTRACT

*On a slope, near the bridge of La Josefina on the Guangarcucho – Paute – Gualaceo road, slips are recorded due to the large fracturing and meteorization of the rock massif, these cause damage to the road, road closure and economic losses. The objective of this work is to analyze the stability conditions of two critical sites of the Gunagarcucho – Paute – Gualaceo track through the geological and geotechnical characteristics of the sector for the recommendation of support measures.*

*To know the stability of the slope it was necessary to apply kinematic, empirical and limit equilibrium methods through geomechanical stations, laboratory tests and data processing using software such as Dips, ArcMap and Slide. This allowed us to classify the slope by type of breakage, quality of the rock massif, potential fault surface and safety factor.*

*The kinematic analysis showed us that there is a higher probability of breakage from rock fall. While the results of empirical methods show us that the entire central part of the slope has a bad to very bad quality, and the sectors that are on the sides of the slope a quality of medium to bad. Safety factors, for dry conditions, are in a range of 1.20 to 1.45 and for seismic conditions from 0.80 to 0.96.*

*In conclusion, the slope has an unfavourable quality and safety factor for which it is necessary to apply support measures, recommending the use of high strength meshes with anchors and guiding curtains.*

*Keywords: Geological and geotechnical characteristics, SMR, Limit equilibrium, Rock Massif Quality, support.*

# ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES ..... V
RESUMEN ..... VI
ABSTRACT ..... VII
ÍNDICE GENERAL ..... VIII
ÍNDICE DE FIGURAS ..... XIII
ÍNDICE DE TABLAS ..... XVI
ABREVIATURAS ..... XVIII
SIMBOLOGÍA ..... XIX
1. Introdución ..... 20
1.1 Preámbulo ..... 20
1.2 Planteamiento del problema ..... 20
1.3 Justificación del problema ..... 21
1.4 Objetivos ..... 22
1.4.1 Objetivo general ..... 22
1.4.2 Objetivos Específicos ..... 22
1.5 Área de estudio ..... 23
1.5.1 Ubicación ..... 23
1.5.2 Clima y Vegetación ..... 25
1.5.3 Precipitación ..... 26
1.6 Cronograma ..... 27
2. Marco geológico ..... 29
2.1 Geología regional ..... 29
2.1.1 Estratigrafía de la cordillera real ..... 30
2.2 Geología local ..... 35
2.2.1 Unidad alao – paute ..... 35
2.2.2 Unidad El Pan ..... 36

2.2.3 Unidad Maguazo ..... 36
2.2.4 Unidad Peltetec ..... 37
2.2.5 Geología de la zona de estudio ..... 38
3. Marco teórico ..... 39
3.1 Definición de conceptos ..... 39
3.1.1 Discontinuidades ..... 39
3.1.2 Diaclasas ..... 40
3.1.3 Talud ..... 40
3.1.4 Deslizamiento ..... 41
3.1.5 Rotura tipo planar ..... 43
3.1.6 Rotura tipo cuña ..... 43
3.1.7 Rotura tipo rotacional ..... 45
3.1.8 Rotura tipo volcamiento ..... 45
3.2 Parámetros geomecánicos ..... 47
3.2.1 Características de la matriz y macizo rocoso ..... 47
3.2.2 Resistencia y Deformabilidad de la matriz rocosa. ..... 49
3.2.3 Criterio de rotura Hoek y Brown del macizo rocoso ..... 50
3.3 Análisis de estabilidad de talud ..... 53
3.3.1 Métodos empíricos ..... 54
3.3.2 Método de equilibrio límite, Bishop Simplificado ..... 60
3.3.3 Estabilizaciones en pendientes de roca ..... 62
3.4 Estado del Arte ..... 66
3.5 Estudios Previos de la Zona de Interés ..... 69
4. Metodología ..... 70
4.1 Metodología propuesta ..... 70
4.2 Recopilación de información ..... 74
4.2.1 Recopilación bibliográfica ..... 74

4.2.2 Reconocimiento previo del área de estudio ..... 74
4.2.3 Relación con el cliente ..... 74
4.3 Informe geológico – geotécnico ..... 76
4.3.1 Caracterización geológica ..... 76
4.3.2 Caracterización geotécnica ..... 78
4.4 Cálculo de estabilidad ..... 82
4.4.1 Análisis cinemático ..... 83
4.4.2 Análisis mediante métodos empíricos ..... 85
4.4.3 Análisis mediante método de Bishop simplificado ..... 87
5. RESULTADOS ..... 89
5.1 Caracterización Geológica ..... 89
5.2 Caracterización Geotécnica ..... 90
5.2.1 Estaciones Geomecánicas ..... 97
5.2.2 Medidas estructurales ..... 99
5.3 Análisis de estabilidad ..... 104
5.3.1 Análisis cinemático ..... 104
5.3.2 Análisis métodos empíricos ..... 106
5.4 Análisis de equilibrio límite ..... 120
5.4.1 Perfil A’ - A ..... 123
5.4.1 Perfil B’ - B ..... 123
5.4.1 Perfil C’ - C ..... 123
5.4.1 Perfil D’ - D ..... 123
5.4.2 Factor de seguridad ..... 123
6. Analisis de resultados ..... 125
6.1 Análisis Cinemático ..... 125
6.2 Rock Mass Rating ‘RMR’ ..... 125
6.3 Slope Mass Rating ‘SMR’ ..... 126

6.4 Factor de seguridad ..... 126
6.5 Recomendaciones de sostenimiento ..... 127
7. Conclusiones y recomendaciones ..... 131
7.1 Conclusiones ..... 131
7.2 Recomendaciones ..... 132
8. Anexos ..... 133
8.1 Entrevista Desing Thinking ..... 133
8.2 Columnas estratigráficas ..... 134
8.2.1 PP-17 ..... 134
8.2.2 PP-18 ..... 135
8.2.3 PSC-01 ..... 137
8.3 Laminas Delgadas ..... 139
8.3.1 PP-17 ..... 139
8.3.2 PP-18 ..... 141
8.3.3 PSC-01 ..... 143
8.4 Estaciones geomecánicas ..... 145
8.4.1 Sitio crítico 1 ..... 145
8.4.2 Sitio crítico 2 ..... 154
8.5 Estereogramas de tipos de roturas ..... 165
8.5.1 Rotura planar ..... 165
8.5.2 Rotura en cuña ..... 166
8.5.3 Rotura por volcamiento o caída de bloques ..... 168
8.6 Perfiles Geológicos – Geotécnicos ..... 170
8.6.1 Perfil A’ – A ..... 170
8.6.2 Perfil B’ – B ..... 171
8.6.3 Perfil C’ – C ..... 172
8.6.4 Perfil D’ – D ..... 173

8.7 Factores de seguridad y superficies de falla ..... 174

8.7.1 Perfil A’ - A ..... 174

8.7.2 Perfil B’ - B ..... 175

8.7.3 Perfil C’ - C ..... 176

8.7.4 Perfil D’ - D ..... 177

9. Bibliografía ..... 178

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Foto en perspectiva de la parte baja del cerro 'tubón' de los 2 sitios críticos, Fuente: Geoestudios S.A. ..... 25
Figura 1.2 Foto en perspectiva de la parte alta del cerro 'Tubón' de los 2 sitios críticos, Fuente: Geoestudios S.A. ..... 26
Figura 2.1 Terrenos principales de la Cordillera Real formados por procesos tectónicos de compresión, Fuente: (J. A. Aspden and Litherland 1992) ..... 31
Figura 2.2 Geología de la zona de estudio, Fuente: IGEE ..... 38
Figura 3.1 Familia de diaclasas, J1, J2 y J3 representan las familias de diaclasas; Fuente: Ruben Gonzalez. ..... 39
Figura 3.2 Ladera vertical; Fuente: (Gonzales de Vallejo, 2002) ..... 40
Figura 3.3 Talud, Fuente: Floresypantas.net ..... 40
Figura 3.4 (A) Geometría para deslizamientos planares, (B) Proyección estereográfica y determinación de zona critica según parámetros geométricos, Fuente: (Duncan, C WyllieChristopher 2004) ..... 43
Figura 3.5 Rotura en cuña y la línea de intersección de discontinuidades, Fuente: (Duncan, C WyllieChristopher 2004) ..... 44
Figura 3.6 (A) Vista de ángulos respecto a la línea de intersección, (B) Proyección estereográfica y determinación de zona critica según parámetros geométricos , Fuente: (Duncan, C WyllieChristopher 2004) ..... 44
Figura 3.7 Roturas tipo rotacional; Fuente: (Gonzales de Vallejo 2002) ..... 45
Figura 3.8 Bloques en caída por flexión, Fuente: (Duncan, C WyllieChristopher 2004) ..... 46
Figura 3.9 (A) Caída de bloques por flexión (B) Proyección estereográfica y determinación de zona critica considerando parámetros geométricos, Fuente: (Duncan, C WyllieChristopher 2004) ..... 47
Figura 3.10 Ensayo uniaxial, Fuente: Geoestudios s.a. ..... 49
Figura 3.11 Ensayo de resistencia triaxial, Fuente:(Gonzales de Vallejo 2002) ..... 50
Figura 3.12 Gráfica para obtener el valor de α; Fuente: (Gonzales de Vallejo 2002) ..... 61
Figura 3.13 Estimación del valor de Mi(α); Fuente: (Gonzales de Vallejo 2002) ..... 61

Figura 3.14 Medidas de estabilización de pendientes de roca mediante refuerzos, Fuente: (Duncan, C WyllieChristopher 2004) ..... 64
Figura 3.15 Malla de alta resistencia con anclajes, Fuente: Geobrugg. ..... 64
Figura 3.16 Cortinas de guiado, Fuente: Geobrugg. ..... 65
Figura 3.17 Medidas de estabilización de pendientes de roca mediante remoción de material, Fuente: (Duncan, C WyllieChristopher 2004) ..... 66
Figura 4.1 Diagrama de flujo de la metodología realizada en el proyecto, Fuente: Ruben Gonzalez M. ..... 73
Figura 4.2 Datos de entrada para análisis cinemático en software DIPS. Fuente: RocScience ..... 84
Figura 4.3 Datos de entrada para cálculo del índice SMR, Fuente: SMRTool ..... 86
Figura 4.4 Resultados de software SMRTool, Fuente: SMRTool ..... 86
Figura 4.5 Datos de entrada y resultados en software RocLab, Fuente: RocScience ..... 88
Figura 5.1 Zonas de meteorización vista en planta ..... 95
Figura 5.2 Perfil vista frontal de zonas de meteorización ..... 96
Figura 5.3 Estereograma zona 1 ..... 99
Figura 5.4 Estereograma zona 2. ..... 99
Figura 5.5 Estereograma zona 3 ..... 100
Figura 5.6 Estereograma zona 4. ..... 100
Figura 5.7 Estereograma zona 5. ..... 101
Figura 5.8 Estereograma zona 7. ..... 101
Figura 5.9 Estereograma zona 8. ..... 102
Figura 5.10 Estereograma zona 9. ..... 102
Figura 5.11 Estereograma sitio crítico 1 ..... 103
Figura 5.12 Estereograma sitio crítico 2 ..... 104
Figura 5.13 Ángulos de fricción de referencia, Fuente:(Gonzales de Vallejo 2002) ..... 105
Figura 5.14 Clasificación del RMR por calidad del sitio crítico 1 y 2 ..... 111
Figura 5.15 Clasificación de SMR por clase del sitio crítico 1 y 2 ..... 116
Figura 6.1 Recomendación de ubicación del sostenimiento ..... 130
Figura 8.1 Columna estratigráfica PP-17 ..... 134
Figura 8.2 Columna estratigráfica PP-18 ..... 136
Figura 8.3 Columna estratigráfica PSC-01 ..... 138

Figura 8.4 Perfil A’ – A ..... 170
Figura 8.5 Perfil B’ - B ..... 171
Figura 8.6 Perfil C’ - C ..... 172
Figura 8.7 Perfil D’ - D ..... 173
Figura 8.8 Condiciones sismicas perfil A’ - A ..... 174
Figura 8.9 Condiciones secas perfil A’ - A ..... 174
Figura 8.10 Condiciones secas perfil B’ - B ..... 175
Figura 8.11 Condiciones sismicas perfil B’ - B ..... 175
Figura 8.12 Condiciones sismicas perfil C’ - C ..... 176
Figura 8.13 Condiciones secas perfil C’ - C ..... 176
Figura 8.14 Condiciones secas perfil D’ - D ..... 177
Figura 8.15 Condiciones sismicas perfil D’ - D ..... 177

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Precipitaciones anuales desde el año 2009 al 2013, Fuente: Geoportal INAMHI ..... 27
Tabla 1.2 Cronograma de actividades..... 28
Tabla 2.1 Resumen de la Geología Pre-Cretácica de la Cordillera Real y Zona Subandina, Fuente:(J. A. Aspden and Litherland 1992; Litherland 1994) ..... 34
Tabla 3.1 Tipos de movimientos de masa; Fuente: (Gonzales de Vallejo 2002) ..... 42
Tabla 3.2 Valor D sugerido según el tipo de alteración, Fuente: (Hoek and Corkum 2002) ..... 52
Tabla 3.3 Ponderación de los parámetros para la obtención del RMR (Bieniawski 1979), Fuente: (Gonzales de Vallejo 2002)..... 56
Tabla 3.4 Clasificación geomecánica de taludes SMR, Fuente: (Gonzales de Vallejo 2002). ..... 58
Tabla 3.5 Gráfico de GSI básico, Fuente: (Marinos and Hoek 2000) ..... 60
Tabla 3.6 Resumen de principales sistemas de clasificación para pendientes, Fuente: (Pantelidis 2009)..... 67
Tabla 4.1 Metodologías de análisis para estabilidad de taludes..... 72
Tabla 4.2 Restricciones y recursos ..... 75
Tabla 4.3 Factores influyentes en la inestabilidad de taludes..... 76
Tabla 4.4 Características para la descripción de muestras macroscópicas y microscópicas..... 77
Tabla 4.5 Ficha para levantamiento geomecánico, Fuente: (Gonzales de Vallejo 2002) ..... 79
Tabla 4.6 Ficha para levantamiento geomecánico, Fuente: (Gonzales de Vallejo 2002) ..... 80
Tabla 4.7 Parámetros del macizo y matriz rocosa con su respectivo método, Fuente: (Duncan, C WyllieChristopher 2004)..... 81
Tabla 4.8 Estimación de la constante ‘mi’ según el tipo de roca, Fuente: (Duncan, C WyllieChristopher 2004). ..... 82
Tabla 4.9 Valoración RMR, Cohesión y ángulo de rozamiento según método de RMR, Fuente: (Gonzales de Vallejo 2002)..... 85

Tabla 4.10 Datos de entrada en software Slide ..... 87
Tabla 5.1 Ubicación de perforaciones ..... 90
Tabla 5.2 Descripción de zonas de meteorización ..... 93
Tabla 5.3 Estaciones geomecánicas sitio crítico 1 ..... 98
Tabla 5.4 Estaciones geomecánicas sitio crítico 2 ..... 98
Tabla 5.5 Porcentaje de tipos de rotura zona 1 y 2 ..... 105
Tabla 5.6 Porcentaje de tipos de rotura zona 3 y 4 ..... 105
Tabla 5.7 Porcentaje de tipos de rotura zona 5 y 6 ..... 106
Tabla 5.8 Porcentaje de tipos de rotura zona 7, 8 y 9 ..... 106
Tabla 5.9 Valoraciones sitio crítico 1 ..... 110
Tabla 5.10 Valoraciones sitio crítico 2 ..... 110
Tabla 5.11 Resultado de valoración del SMR ..... 113
Tabla 5.12 Recomendaciones de método de sostenimiento ..... 115
Tabla 5.13 Resultados de valoraciones del GSI ..... 117
Tabla 5.14 Valores de compresión aproximados con el esclerómetro ..... 121
Tabla 5.15 Datos de entrada por zonas de meteorización ..... 124
Tabla 5.16 Datos de entrada por perforaciones ..... 124
Tabla 5.17 Factor de seguridad condiciones secas y sísmicas ..... 124
Tabla 6.1 Ventajas y desventajas de metodos de sostenimiento en calidad de macizo media/mala ..... 129
Tabla 6.2 Ventajas y desventajas de metodos de sostenimiento en calidad de macizo muy mala ..... 129

# ABREVIATURAS

| | |
|---|---|
| RQD | Rock Quality Designation |
| RMR | Rock Mass Rating |
| SMR | Slope Mass Rating |
| GIS | Geological Strength Index |
| UTM | Universal Transverse Mercator |
| IGEE | Instituto de Investigación Geológico y Energético del Ecuador |
| MTOP | Ministerio de Transporte y Obras Publicas |

# SIMBOLOGÍA

| | |
|---|---|
| cm | Centímetros |
| m | Metros |
| $m^2$ | Metros Cuadrados |
| Km | Kilómetros |
| ° | Grados |
| °C | Grados centígrados. |

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCIÓN

### 1.1 Preámbulo

La vía Guangarcucho – Paute – Gualaceo es una de las principales vías de conexión entre algunas ciudades de la Provincia del Azuay con las de Morona Santiago. En ella se registran constantes deslizamientos, principalmente en las épocas invernales. Estos provocan daños a la vía, señaléticas y en algunos casos pueden llegar a cerrar la vía por varios días, generando pérdidas económicas a los diferentes sectores productivos como el sector turístico, agrícola, transportista, entre otros. Además, los deslizamientos son una amenaza constante para los conductores y peatones que transitan la vía. Por lo que, es necesario realizar un estudio adecuado y recomendar medidas de sostenimiento en la zona.

El presente trabajo tiene como finalidad dar recomendaciones de sostenimiento, para dos sitios críticos cercanos al puente de La Josefina, en la vía anteriormente mencionada. Esto se realizará mediante la combinación de métodos cinemáticos, empíricos y de equilibrio límite, que nos permiten conocer la calidad y estabilidad actual del talud, para posteriormente dar recomendaciones de sostenimiento.

El documento se divide en ocho capítulos. En el primer capítulo corresponde a la introducción, en el segundo se plantean las teorías que se van a utilizar. En el tercer capítulo se presenta la descripción de la geología regional y local de la zona de estudio. El cuarto detalla la metodología que se llevó a cabo. En el quinto, se presentan los resultados. En el sexto los análisis de resultados obtenidos en el capítulo anterior, detallando las recomendaciones de sostenimiento para cada sitio crítico. En el séptimo se encuentran las conclusiones y recomendaciones, para finalmente tener la sección de anexos como ultimo capitulo.

### 1.2 Planteamiento del problema

En la vía Guangarcucho – Paute – Gualaceo se han registrado diferentes deslizamientos cerca del cerro El Tahual y Tubón. Uno de los más grandes deslizamientos ocurridos fue en marzo el 1$^{ro}$ de Mayo del 1993, a la altura del puente

de La Josefina, donde un volumen aproximado 27 millones de metros cúbicos de material pétreo del cerro Tamuga provoco la formación de un dique en la unión de los Ríos Jadan y Cuenca llegando a formar una gran laguna en esta zona (Domínguez Zeas 1999). El 1ro de Mayo del 1993 se dio el gran desfogue en dirección de la ciudad de Paute afectando vías, ciudades, fincas, haciendas, plantaciones, infraestructuras de explotación de material pétreo y un saldo de 7000 personas afectadas y 75 personas entre muertos y desaparecidos (Domínguez Zeas 1999; Josefina | I. Municipalidad de Gualaceo n.d.). Las posibles causas de este gran deslizamiento fueron las fuertes lluvias en la época invernal y de canteras mineras de extracción de material pétreo cercanas al cerro Tamuga, que indujeron una inestabilidad en el sector. Actualmente se registran deslizamientos de mucho menor magnitud que el ocurrido en 1993, sin embargo, estos provocan daños en la vía, pérdidas económicas y pone en riesgo la vida de los conductores y peatones que transitan en ella.

## 1.3 Justificación del problema

El estudio de estabilidad de talud en la vía Guangarcucho – Paute – Gualaceo, es de vital importancia porque en ella transitan miles de vehículos diariamente, permitiendo la movilización de los diferentes sectores productivos entre las Provincias del Azuay y Morona Santiago. En la vía se han registrado múltiples deslizamientos, por lo cual, es necesario conocer el tipo de rotura que puede ocurrir, la calidad del macizo rocoso y la superficie potencial de falla con su respectivo factor de seguridad, considerando las características geológicas y geotécnicas del sector, para poder dar recomendaciones de sostenimiento y de esta forma evitar daños y perdidas en la vía.

El presente estudio corresponde a una fase preliminar para los trabajos de estabilidad de talud, y que estos se lleven a cabo ayudarán a evitar o reducir el número de deslizamientos y su impacto en la vía. Donde los principales beneficiarios son las comunidades, ciudades y diferentes sectores productivos de la zona**.**

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo General

- Analizar las condiciones de estabilidad de dos sitios críticos de la vía Gunagarcucho – Paute – Gualaceo mediante las características geológicas y geotécnicas del sector para la recomendación de medidas de sostenimiento.

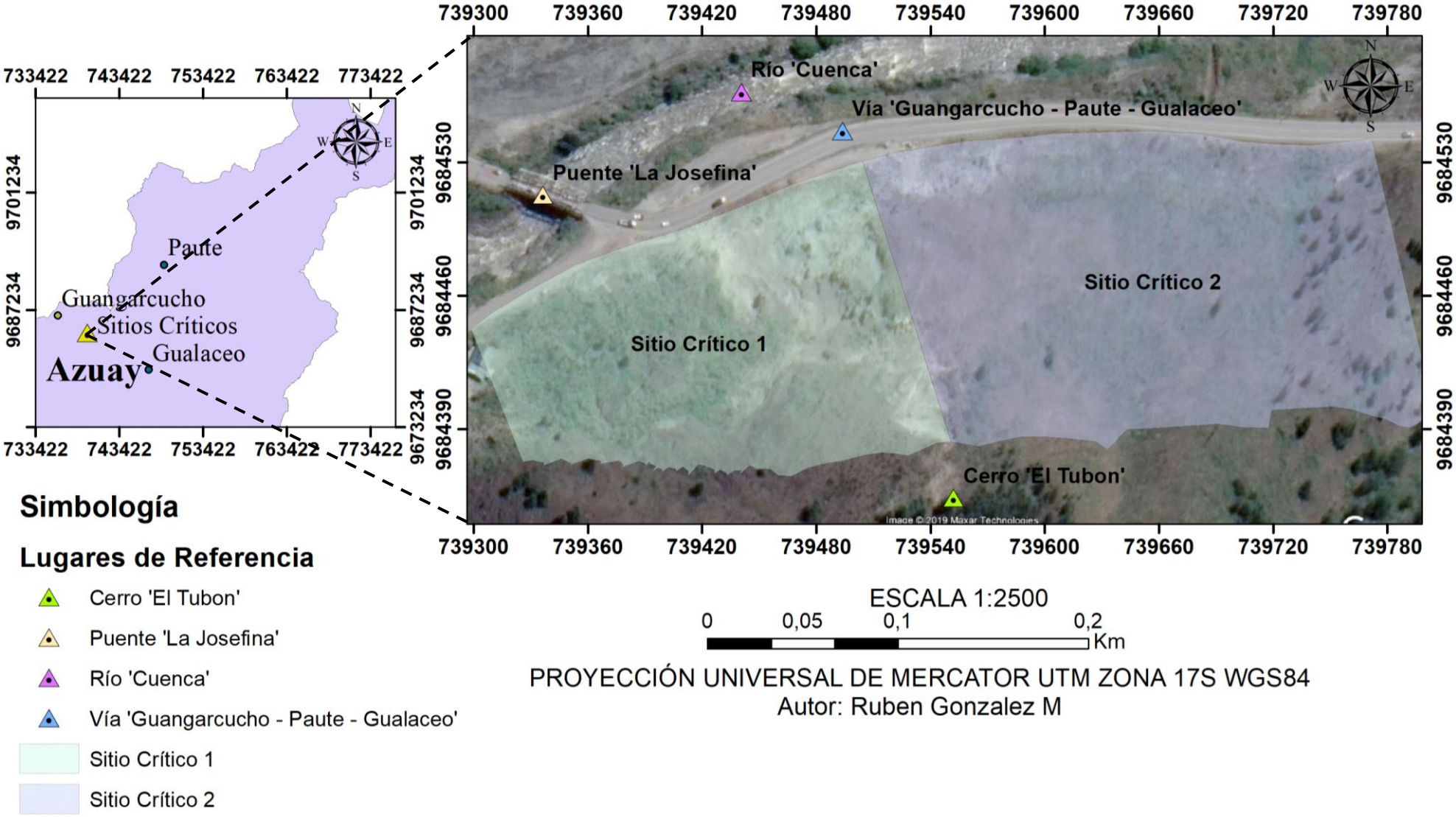
### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar los tipos de rocas y sus parámetros geomecánicos mediante la toma de muestras y análisis de laboratorio para su procesamiento en software como Dips, ArcMap y Slide.
- Evaluar la calidad del macizo rocoso mediante la aplicación de métodos empíricos y de equilibrio límite para la recomendación de sostenimiento en el talud.
- Realizar un levantamiento geológico y geotécnico mediante búsqueda bibliográfica, visitas de campo, descripciones morfológicas y estaciones geomecánicas para la recopilación de diferentes características que tienen influencia con los deslizamientos.

## 1.5 Área de Estudio

### 1.5.1 Ubicación

La zona de estudio se encuentra a orillas de la vía Guangarcucho – Paute – Gualaceo a la altura del puente de La Josefina en el Cerro 'El Tubón', la zona se divide en 2 sitios críticos el primero de un área aproximada de 28.000 $m^2$ y el segundo de 40.000 $m^2$ , tal como se muestra en el Mapa 1.1. Las cotas de estos 2 sitios críticos varían de 2311 hasta los 2485 m sobre el nivel del mar.




**Mapa 1.1 Zona de estudio**

### 1.5.2 Clima y Vegetación

El sector de La Josefina pertenece a la parroquia de San Cristóbal del cantón Paute. El sector se caracteriza por poseer climas templados a subtropical, especialmente en las partes bajas, y climas más fríos en las partes altas. Posee temperaturas variadas donde la máxima es de 22°C que comúnmente es en el día y la mínima de -2°C en la noche, con temperatura media es de 15.9°C a los 19°C. Los meses donde la temperatura disminuye más son en junio y julio, mientras que los meses con temperaturas más altas son los de noviembre y diciembre (Rodriguez 2014).

La vegetación es muy variada debido a su clima, en su mayoría dominan los pastos, vegetación arbórea, cultivos, bosques nativos y suelos en rotación, este último se refiere a suelos que están desnudos para que posteriormente los agricultores realicen un nuevo cultivo. Sin embargo, la zona de estudio de los dos sitios críticos se encuentra en su gran mayoría descubierta, donde el macizo rocoso se muestra tal cual. Existen pequeñas plantas que han crecido entre las fisuras, pero estas no son representativas para considerar vegetación en la zona (Figura 1.1). En la parte más alta de la zona de estudio, es decir, en la cima del cerro 'El Tubón', se logran observar mayor cantidad de árboles, sin embargo, no se ve una cantidad muy representativa de ellos (Figura 1.2).

**Figura 1.1 Foto en perspectiva de la parte baja del cerro 'Tubón' de los 2 sitios críticos, Fuente: Geoestudios S.A.**

**Figura 1.2 Foto en perspectiva de la parte alta del cerro 'Tubón' de los 2 sitios críticos, Fuente: Geoestudios S.A.**

### 1.5.3 Precipitación

El cantón Paute presenta precipitaciones anuales promedio de 790 mm, según informe de gobierno autónomo descentralizado del Cantón Paute. Las lluvias varían a lo largo del cantón con isoyetas que van desde los 500 – 2500 mm. Las zonas que tienen una mayor precipitación son las que se encuentran hacia el norte cerca del cantón Sevilla de Oro, mientras que las más bajas se encuentran hacia el sur cerca del cantón Cuenca.

Informes meteorológicos anuales recopilados desde al año 2009 hasta el 2013 del Geoportal del INAMHI, Tabla 1.1 , muestra las máximas precipitaciones del día en un mes, esta muestra que los meses de octubre, noviembre y diciembre presentan las máximas precipitaciones por día llegándose a registrar hasta 41.20 mm, en el mes de octubre. Mientras que las precipitaciones más bajas se dan en los meses de julio, agosto y septiembre, estos meses son considerados los más secos (Rodriguez 2014).

Cabe mencionar que en la zona donde se encuentran los sitios críticos no se conocen las precipitaciones exactas debido a que no existen estaciones meteorológicas por la zona. Sin embargo, existe evidencia que ocurren lluvias intensas debido a los

registros de anteriores deslizamientos en épocas invernales, pero en nuestro proyecto no se ha considerado el factor de precipitaciones debido a que no se tiene un modelo hidrogeológico que nos indique donde se encuentra la superficie de saturación por la infiltración del agua debido a grandes lluvias.

**Tabla 1.1 Precipitaciones anuales desde el año 2009 al 2013, Fuente: Geoportal INAMHI**

| | CANTÓN PAUTE | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | AÑO | | | | | |
| | Precipitación (mm) máxima en el día | | | | | |
| **MES** | **2009** | **2010** | **2011** | **2012** | **2013** | **POMEDIO** |
| Enero | 21.00 | 16.20 | 15.80 | 20.50 | - | **18.38** |
| Febrero | 13.10 | 10.50 | 32.80 | 23.40 | 30.00 | **21.96** |
| Marzo | 27.70 | 9.30 | 24.90 | 17.10 | 12.60 | **18.32** |
| Abril | 22.00 | 23.60 | 19.60 | 18.00 | 10.50 | **18.74** |
| Mayo | 17.50 | 16.40 | 18.40 | 8.70 | 26.80 | **17.56** |
| Junio | 7.50 | 29.30 | 11.40 | 10.50 | 12.50 | **14.24** |
| Julio | 4.30 | 24.50 | 29.10 | 6.50 | 12.20 | **15.32** |
| Agosto | 7.00 | - | 12.70 | 7.80 | 9.40 | **9.23** |
| Septiembre | 4.00 | 8.10 | 18.90 | 6.00 | 7.10 | **8.82** |
| Octubre | - | 16.50 | 26.70 | 72.70 | 48.90 | **41.20** |
| Noviembre | 8.60 | - | 16.40 | 24.10 | 78.20 | **31.83** |
| Diciembre | 24.80 | 33.30 | 37.10 | 15.20 | 12.10 | **24.50** |

## 1.6 Cronograma

Se ha dividido en 7 principales actividades, las cuales se llevaron a cabo en un total de 17 semanas (Tabla 1.2). El siguiente cronograma muestra en color azul que semanas son las que se utilizaron para cada actividad, cabe mencionar que estas actividades tienen otras más específicas, por ejemplo, en metodología existen actividades como ensayos de laboratorio, salidas de campo, procesamiento, entre otras, que se engloba con la actividad principal.

**Tabla 1.2 Cronograma de actividades.**

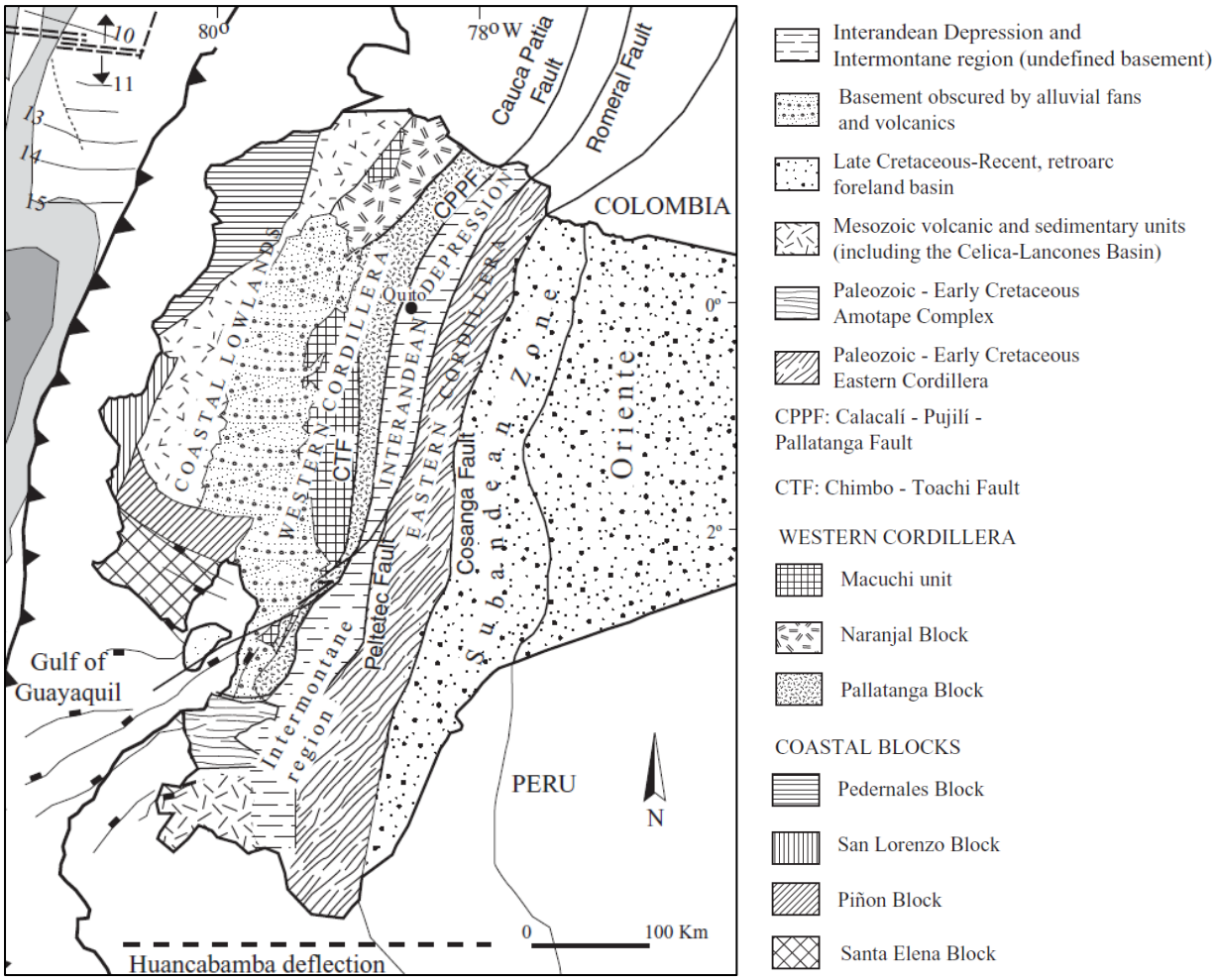
| Actividades | MES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Octubre | | | | Noviembre | | | | Diciembre | | | | Enero | | | | Febrero | | | |
| | Semanas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Propuesta de proyecto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Busqueda bibliográfica | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Introducción | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Marco Teórico | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Metodología | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Análisis de resultados | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Conclusiones y recomendacione | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

# CAPÍTULO 2

## 2. MARCO GEOLÓGICO

### 2.1 Geología Regional

El Ecuador se divide en 5 principales regiones morfotectónicas (Mapa 2.1), las cuales se caracterizan por tener diferentes edades de formación, litología y ubicación. Además, existe una diversidad de estructuras y morfologías que caracterizan cada región.




**Mapa 2.1 Configuración geológica del Ecuador, Fuente:(Vallejo et al. 2009)**

La primera división son las llanuras de la costa que tienen cotas cercanas al nivel del mar, se compone de un basamento máfico cristalino se encuentra cubierto por depósitos del paleógeno al neógeno del antearco (Vallejo et al. 2009), estos

corresponden a la Fm. Piñón que tiene una edad de 123 a 89 M.A (Reynaud et al. 1999).

En ella también se evidencia, según (Luzieux 2007), que rocas se encuentran yuxtapuestas con fragmentos de arcos de islas, placa oceánica y acreción de rocas sedimentarias, que corresponden a depósitos de arcos continentales. La segunda división es la Cordillera Occidental, se conforma de materiales volcánicos máficos a intermedios con rocas intrusivas, las cuales se encuentran yuxtapuesta con depósitos turbidíticos de una edad Cretácica tardía al Oligoceno (Vallejo et al. 2009). Seguidamente se encuentra la Depresión Interandina, esta se encuentra limitada con la Cordillera Occidental al oeste donde se encuentra la falla Calacalí - Pujilí y al este con la Cordillera Real cortándose por la falla Peltetec. Se conforma de depósitos volcánicos de edad del Plioceno al Pleistoceno, esta depresión se extiende desde el norte de Colombia hasta cerca de la parte sur de la Provincia de Chimborazo (Vallejo et al. 2009). Más hacia el este encontramos la cuarta región que es la Cordillera Real, se conforma de materiales metamórficos de una edad paleozoica a jurásica y de granitoides de edad mesozoica. En el noroeste limita con la depresión interandina mientras que en suroeste limita con la Región Intermítame y al este está limitada por la falla Cosanga. Cabe mencionar que en la Zona de estudio se encuentra en la parte Sur de la Cordillera Real. Por último, la quinta región es la Cuenca Oriente que incluye a la Zona Subandina, la edad es del Cretácico a Holoceno tardío.

### 2.1.1 Estratigrafía de la Cordillera Real

La Cordillera Real se extiende a lo largo del Ecuador en dirección NE-SO y se divide en 5 principales terrenos los cuales son: división Guamote, Alao, Loja, Salado y Zamora (Figura 2.1), los cuales se encuentran limitados por grandes fallas como la Peltetec, Llanganates y Cosanga, así como el frente Baños (J. A. Aspden and Litherland 1992). En la Tabla 2.1 se muestra un resumen de las divisiones de la cordillera real con sus divisiones litológicas, estado tectonico-metamorfico, edad e interpretación respectiva. Además, se muestran que fallas son las que limitan cada uno de estos terrenos.

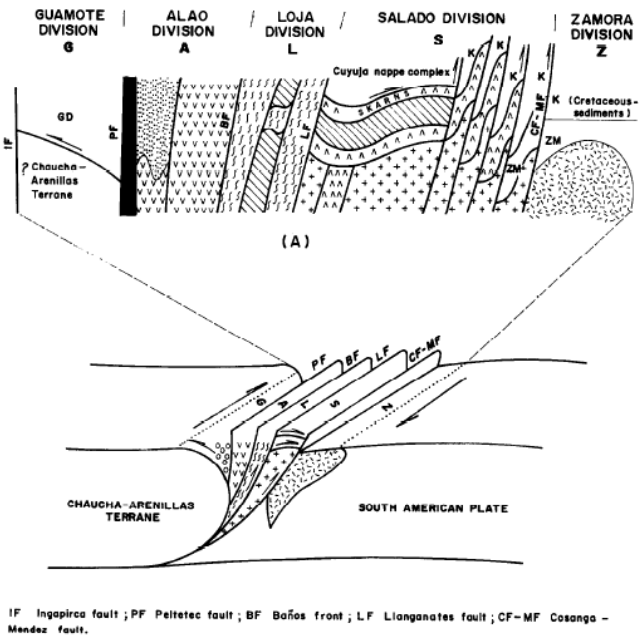



**Figura 2.1 Terrenos principales de la Cordillera Real formados por procesos tectónicos de compresión, Fuente: (J. A. Aspden and Litherland 1992)**

#### 2.1.1.1 División Guamote

Esta división es la que se encuentra más al oeste de la Cordillera Real, se extiende desde Riobamba en el norte hasta Azogues al sur, donde coincide con la falla de Ingapirca del lado oeste y con la falla Peltetec al este. Esta división corresponde a secuencias derivadas de ortocuarzitas con intercalaciones de filitas o pizarras de bajo grado de metamorfismo. Las cuarcitas son feldespáticas en algunos casos variando de tamaño de grano de medio a grueso, en ciertos casos se presenta un cuarzo azul (J. A. Aspden and Litherland 1992).

Esta división se comprende de 3 unidades las cuales son:

- Unidad Punín, se conforma de cuarcitas y filitas en menor cantidad,
- Cebadas y Guasuntos, se compone de filitas negras y también de pizarras con un menor porcentaje de cuarcitas (Litherland 1994).

Generalmente se presentan pequeños fragmentos fósiles de amonite, definiendo al terreno como una posible secuencia marina de una edad Jurásica inferior a Cretácica inferior (Litherland 1994).

#### 2.1.1.2 División Alao

La división o terreno Alao se desarrolla a lo largo del lado oeste del margen de la Codillera Real, más específicamente se localiza al norte de Ambato hasta Cuenca en el sur. Esta limitada estructuralmente al este por el frente Baños y la División Metamórfica de Loja, mientras que al Oeste con la falla Peltetec y por el terreno Jurásico Guamote (J. A. Aspden and Litherland 1992). Esta división está compuesta de materiales de rocas meta-volcánicas y meta-sedimentarias, las cuales pertenecen a las unidades metamórficas las cuales son: Peltetec, Alao-Paute, El Pan y Maguazo de una edad Jurásica. El Terreno Alao se lo ha definido como un cinturón de rocas verdes con un protolito volcánico que tiene un ancho de hasta 35 km.

#### 2.1.1.3 División Loja

Las rocas de la división Loja pueden ser trazadas a lo largo de toda la Cordillera Real, pero particularmente son extensas en el área entre Cuenca y la Frontera Peruana. Se encuentra limitada al oeste por el frente Baños y en el este, al norte de 4°S, está en contacto tectónico y estructuralmente sobrepuesto con la división Salado. Más al sur se entra la falla Palanda que se subduce hacia el oeste sobre la división Zamora. Al norte de Baños, la principal falla que separa la división Loja de la del Salado es la falla Llanganates (J. A. Aspden and Litherland 1992).

La división se compone de 2 subdivisiones principalmente las cuales son Lagunas y Sabanilla, la primera se compone de granitos masivos que tienen una composición monzogranita-granodiorita de un grano que va de medio a grueso, además presenta mega-cristales de feldespatos alcalinos grises, cuarzos azules o grises, plagioclasas y biotitas (J. Aspden et al. 1990). La subdivisión Sabanilla se compone de un conjunto de orto-paragneiss y esquistos de un grado de metamorfismo medio a alto, en algunos casos estos llegan a ser gneis migmatiíticos (J. Aspden et al. 1990)

#### 2.1.1.4 División Salado

Esta división se extiende al norte de 3°S, pero al sur esta se elimina tectónica y probablemente también estratigráficamente. Al norte, su límite oriental coincide regionalmente con las fallas Cosanga y Méndez. Presenta dos principales

subdivisiones, El Plutónico de Azafrán y el Volcán-Sedimentario Upano (J. A. Aspden and Litherland 1992).

El Plutónico de Azafrán constituye un cinturón de granitoides los cuales se encuentran deformados, se representa al norte por los plutones de Chingual, Sacha y en el sur por Azafrán. Se compone de granodioritas, tonalitas hornblendicas y biotitas de un grano medio a grueso. Además, están presentes dioritas, hornblendas y gabros de forma subordinada. Las edades varían entre 170-128 M.A. determinado por métodos de datación de K-Ar (J. A. Aspden and Litherland 1992).

La subdivisión de Upano es una secuencia mixta de volcano – sedimentaria la cual incluye, andesitas, tobas y aglomerados metamorfoseados, grises, mármoles, cuarticas impuras y filitas negras. Se presenta una secuencia de mármol en el 'Cerro Hermoso' que tiene más de 500 m de espesor (J. Aspden et al. 1990).

#### 2.1.1.5 División Zamora

La división Zamora se encuentra al este de la Cordillera Real, cerca de lo que se considera el borde occidental del cratón amazónico. Esta subdivisión comprende de 3 divisiones principales, la plutónica Abitagua y la volcánica Misahualli, que se consideran ampliamente contemporáneas y equivalentes en edad con la división Salado (J. A. Aspden and Litherland 1992).

La división Abitagua se comprende de tres batolitos calco-alcalinos no deformados. Los batolitos son de norte a sur, Rosa Florida, Abitagua y Zamora. El batolito de Zamora tiene una forma elongada con una extensión de 200 km de largo y 50 km de ancho, se compone principalmente de granodioritas y dioritas con edades que varían de los 120 – 200 M.A. (Litherland 1994). En el norte la división de Misahualli consiste en aglomerados y tobas verdes intruidas por rocas subvolcánicas y plutónicas del Plutón Rosa Florida que varía de una composición de sienita de cuarzo a monzonita de cuarzo. La división Misahualli se compone de basaltos verdes a grises, traquitas, tobas rosadas y brechas tobáceas s interestratificadas con lutitas rocas, areniscas y conglomerados (Litherland 1994).

**Tabla 2.1 Resumen de la Geología Pre-Cretácica de la Cordillera Real y Zona Subandina, Fuente:(J. A. Aspden and Litherland 1992; Litherland 1994)**

| **División Oeste – Este** | **Guamote** | **Falla Peltetec** | **Alao** | **Frente Baños** | **Loja** | **Falla Llanganates** | **Salado** | **Falla Cosanga -Méndez** | **Zamora** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Unidades/ Litologías** | *Punín:* Cuarcitas de color marrón con poca presencia de lutitas negras y pizarras negras *Cebadas y Guasuntos*: Pizarras negras con poca presencia de cuarcitas | | *Peltetec:* Ofiolitas desmembradas *Maguazo:* metaturbiditas *Alao – Paute*: Metandesitas, esquistos verdes, tobas y sedimentos. *El Pan:* Cuarzo, Calcita, clorita, esquistos verdes y flitas cuarzo-sericítica. | | *Tres Lagunas:* Biotita (Granate), granito y ortogneis. *Sabanilla:* Ortognéisses y Paragnéisses | | *Azafrán:* Cadena de batolitos Calco-alcalinos (Diorita/Granodiorita). *Upano:* Esquistos verdes andesiticos, tobas y filitas negras, greywackes y mármol menor. | | *Abitagua:* Cadena de batolitos Calco-alcalinos. *Misahualli:* Andesitas, dacitas, basaltos y aglomerados. |
| **Estado Tectonico-Metamorfico** | Muy bajo grado, rocas cabalgan hacia el oeste | | Bajo grado, pliegues verticales y fabricas escarpadas. | | Bajo a medio grado, rocas empujan hacia el E con imbricaciones. | | Bajo grado, las rocas empujan hacia el este con imbricaciones, Skarnificacion de alto nivel y kibles de serpentina | | No deformada y no metamorfoseada. |
| **Edad** | ¿Jurásico Superior? | | Jurásico Superior (Oxfordiano – Calloviano) | | Plutones Triásicos? y Sedimentos Paleozoicos? | | Jurásica, posibles elementos Pre-Jurásicos | | Isimanchi: Triásico. Rocas ígneas: Jurásico. |
| **Interpretación** | Sedimentos continentales/ Cuña clástica | | Fondo oceánico, antearco y arco volcánico o cuencas marginales. | | Granitos tipo – S en sedimentos derivados del continente. | | Plutones de tipo – I en secuencia volcano – sedimentaria | | Arco volcánico plutónico continental tipo I. |

## 2.2 Geología Local

La zona de estudio se encuentra ubicada en la División o Terreno Alao, esta metamórfica – tectoestratigráfica unidad se compone de rocas meta-volcánicas y meta-sedimentarías que se subdividen en las unidades las cuales son:

- Alao – Paute
- El Pan
- Maguazo
- Peltetec

El terreno Alao es esencialmente un cinturón de greenstone de hasta 35 Km de ancho que crece a lo largo de las laderas occidentales de la cordillera real (Litherland 1994). La mayor parte del terreno está enterrado por depósitos volcánicos del cenozoico, especialmente en el norte y sur de la cordillera. El terreno de Alao está limitado al este por la falla de Baños y por el terreno metamórfico de Loja y al oeste está limitado por la falla Peltetec y por el terreno Guamote de edad Jurásica. Más al sur se encuentran los terrenos Chaucha y Amotape de edad Paleozoica a Triásico (Litherland 1994). A continuación, se describen cada una de las unidades del terreno Alao.

### 2.2.1 Unidad Alao – Paute

Esta unidad describe principalmente cinturón de greenstone del terreno Alao. Se encuentra bien expuesto en ciertas secciones de carreteras como son; Río Alao, Paute y Pastaza, y en Gualaceo – SigSig (Litherland 1994).

En el área del Rio Paute entre el Descanso, Gualaceo y al Norte de Pindilig existen afloramientos de lava masiva, amigdaloides en ciertos lugares, aglomerados y bandas de filitas verdes de origen probablemente tobáceas. Sobre el área accesible, (Litherland 1994), describe que algunas de las lavas masivas son esencialmente no metamórficas y contrastan fuertemente con las greenstone y esquistos verdes de más al este y al norte, esta observación da una pista de la separación como una unidad joven o como un estado metamórfico de transición definido por (Bristow 1973). En el resto del afloramiento de la unidad se encuentra un grado de metamorfismo alto con incremento de venillas de cuarzos y carbonatos, en ellas afloran lavas

metamorfoseadas como greenstone e intercalaciones de esquistos verdes, esquistos grafiticos, esquistos pelíticos, cuarcitas y mármol (Litherland 1994).

El ensamble mineral de esas rocas es típicamente de facies de esquistos verdes. Las greenstone y los esquistos verdes contienen, cuarzo, clorita, albita, carbonatos, epidota, actinolita y biotita, mientras que las rocas más pelíticas contienen minerales como moscovita y clorita.

### 2.2.2 Unidad El Pan

Esta unidad se conforma de facies volcano-sedimentarias metamorfoseadas, según descripciones de (Litherland 1994), establece que hay carencia de greenstone masivas. La unidad tiene una elongación de aproximadamente 70 Km de largo y hasta 7 km de ancho que abarca el sector de tendencias andinas del curso del Río Paute ((Litherland 1994).

La litología de esta unidad comprende de esquistos verdes con presencia de cuarzo-calcita-clorita, también existen esquistos grafiticos y filitas cuarzo-sericítica con menor presencia de cuarcitas, esquistos cuarzo-albita-epidota-clorita, esquistos actinolita-clorita, mármol negro, rocas enriquecidas en epidota y calco-silicatos, y rocas clinozoicitas - tremolitas (J. A. Aspden and Litherland 1992; Litherland 1994).

La unidad de El Pan puede ser de un ambiente de una secuencia marina tras-arco o un arco de islas oceánicas Alao-Paute. No hay evidencia de formaciones masivas de turbiditas como en la unidad Maguazo (Litherland 1994).

### 2.2.3 Unidad Maguazo

Esta unidad corresponde al cinturón metamórfico turbidítico y de rocas volcánicas trazadas desde más cerca de San José de Paoló en el norte, hasta el Rio Paute en el sur, que tienen una distancia de 200 km. Afloramientos se encuentran cerca del puente Maguazo a lo largo del Río Alao y en carreteras de Peniple-Rio Blanco, Guamote-Atillo y Guasuntos-Zula. Así como en la vía de Cuenca – Gualaceo. El cinturón tiene de 5 a 10 km de ancho y se exhibe en contacto tectónico con las ofiolitas

de la unidad de Peltetec al oeste y con la unidad Alao-Paute a lo largo del este de la falla de San Antonio.

La unidad registra importantes restos fósiles según (Aspden and Ivimey-Cook 1992). Cabe mencionar que un bloque fluvial de filita calcárea y chert, en tramos del Río Jadan de la carretera Cuenca Gualaceo, proveen un fósil llamado 'acritarchs' de color marrón oscuro con una edad del Ordovícico, junto con polen, sporas y 'dinoflagellate cysts' del Mesozoico. El estudio de (Litherland 1994) detalla los nombres y características de los fósiles encontrados en la unidad.

La unidad del Maguazo es dominada ligeramente por una secuencia metamórfica de basaltos turbidíticos-andesiticos. Las turbiditas son de grano fino y silíceas en el Río Maguazo, pero son más volcanoclasticas en la Quebrada Tortora Yacu (Río Paute) donde se puede observar una primera fase de un sinclinal.

Las litologías menores de esta unidad incluyen Filitas negras y moradas, Ferruginoso o piritico en ciertos lugares, filitas grises de origen tobaceo, reddish, ortocuarzitas de grano fino y cherts.

La unidad puede ser interpretada como una posible secuencia marina de antebrazo de un arco de isla oceánico de Alao-Paute. La presencia de turbiditas retrabajadas agrietadas pueden indicar un ambiente de alta energía y una proximidad de un metamorfismo de bajo grado de rocas del Ordovícico(Litherland 1994).

### 2.2.4 Unidad Peltetec

Esta unidad corresponde a un cinturón de greenstone, delimita al oeste con rocas de bajo buzamiento del Terreno Guamote y al este con la unidad Maguazo, donde se presenta como un mélange tectónico y se puede reconocer en afloramientos de la vía Licto-Alao, la litología que se presenta es de meta gabros y meta basaltos, estos más al este de la vía. Estos también se asocian a bloques rodados que son rocas ígneas maficas como serpentinas y conglomerados pretectónicos de serpentina. Más al norte de la ciudad de Peltetec se encuentra la secuencia ofiolitica que se puede reconocer a lo largo del Río Quishpe y alrededor de Penipe. También existen afloramientos en Río Blanco, se presentan meta basaltos, serpentinitas, piroxenita, Hornblenditas, filitas negras y rocas volcanoclasticas (Litherland 1994).

### 2.2.5 Geología de la zona de estudio

El mapa geológico del Instituto de Investigación Geológico y Energético del Ecuador (IGEE) a escala 1:50.000, muestra las unidades litológicas en la zona de estudio. La estrella de color rojo de la Figura 2.2 es donde se realizará el estudio de estabilidad de talud, y como se puede observar la zona se encuentra ubicada en la Unidad Maguazo, descrita anteriormente y en la parte superior del talud se encuentra la Fm. Huayrapungu, conformada de tobas de composición andesitica a daciticas bien alteradas, con una meteorización esferoidal e intercalaciones esporádicas de dacitas. Al noroeste de la zona de estudio se encuentra una formación de rocas intrusivas llamada Diorita El Descanso, mientras que, al norte de la zona de estudio se encuentra de color amarillo un depósito coluvial perteneciente a los materiales del deslizamiento de La Josefina del 1993.

Cerca de la zona de estudio al noroeste se encuentra la Falla Santana – Tahual, la cual tiene una dirección NE – SO. Esta falla dio como resultado el cabalgamiento de la Formación Yunguilla sobre sedimentos de la Formación Quingueo, mientras que en dirección sureste de la zona de estudio se encuentra la falla San Antonio, considerada una falla de basamento que separa a la unidad Maguazo de la Alao – Paute.

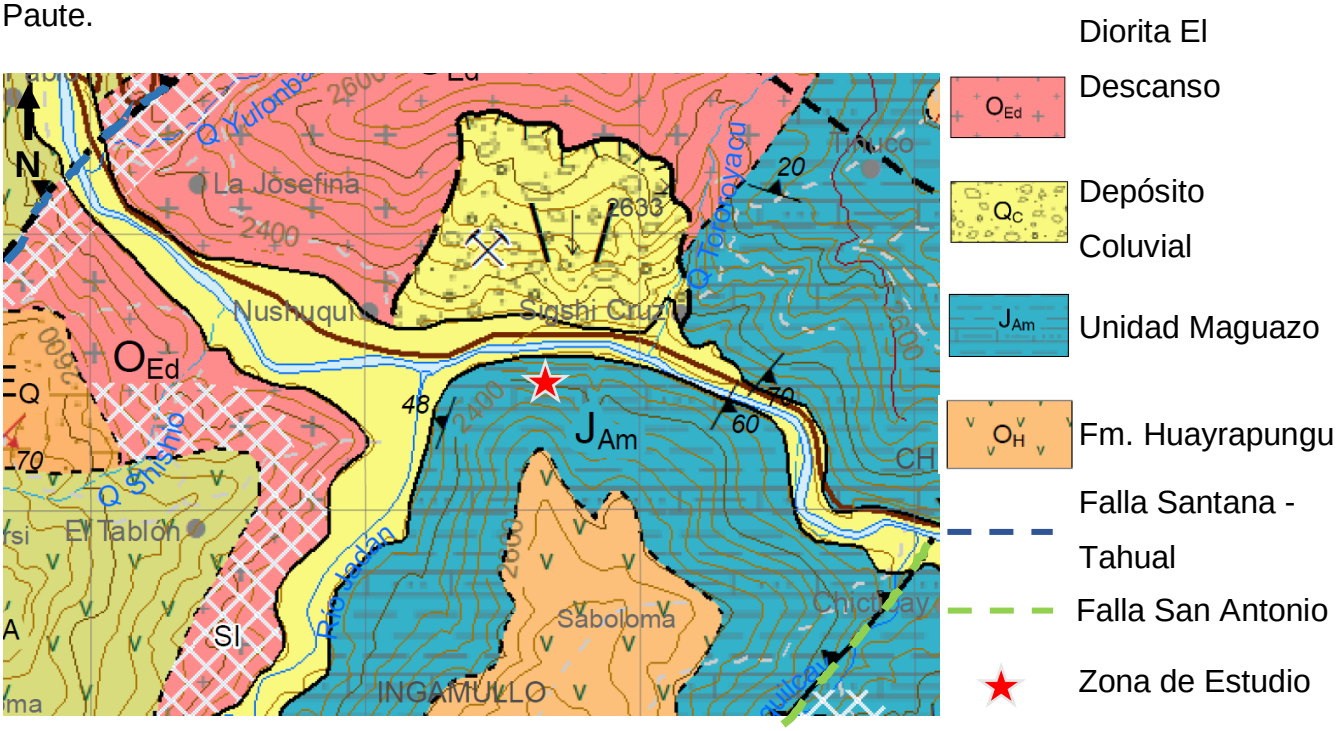



**Figura 2.2 Geología de la zona de estudio, Fuente: IGEE**

# CAPÍTULO 3

## 3. MARCO TEÓRICO

### 3.1 Definición de conceptos

#### 3.1.1 Discontinuidades

Definido Geotécnicamente, una discontinuidad son aquellas superficies que presentan debilidad, por lo que son zonas que hacen que el macizo rocoso tenga propiedades anisotropícas con respecto a la resistencia. Estas pueden tener diferentes nombres dependiendo de características más específicas dividiéndose en diaclasas, fallas, foliaciones, estratificaciones y esquistosidad. En ocasiones pueden llegar a formar diferentes familias de discontinuidades (Figura 3.1), estas dependerán de si existen varios planos que tengan la misma dirección y buzamiento. En macizos rocosos menos resistentes, por lo general, no existen familias de discontinuidad ya que se alteran fácilmente y el material que los compone, que por lo regular son limos, arenas o arcillas, no forman planos bien marcados. También, se debe tener en cuenta que la resistencia de las discontinuidades siempre será menor que la de la roca intacta del macizo rocoso.

**Figura 3.1 Familia de diaclasas, J1, J2 y J3 representan las familias de diaclasas; Fuente: Ruben Gonzalez.**

### 3.1.2 Diaclasas

Las diaclasas se definen como un plano de discontinuidad, fractura o donde existe una separación de la roca claramente definida sin que exista un movimiento relativo entre los bloques superiores ni inferiores. Generalmente las diaclasas suelen estar en familias, es decir, que un grupo de diaclasas tienen la misma dirección siendo paralelas entre ellas. La formación de las diaclasas puede darse durante la formación de la roca o posteriormente debido a factores tectónicos de esfuerzos.

Las diaclasas pueden ser primarias o secundarias, esta clasificación dependerá de la frecuencia y longitud (persistencia) de las mimas. Las diaclasas primarias son aquellas que suelen ser más frecuentes y de mayor longitud, mientras que las diaclasas secundarias suelen aparecer esporádicamente incluso estas, en algunos casos, no llegan a formar una familia (ISRM 1981).

### 3.1.3 Talud

Se define como talud a una superficie de material, ya sea de suelo o roca, la cual tiene una inclinación respecto a la horizontal o incluso pueden llegar a ser verticales. Si el talud se formó naturalmente, sin que exista la intervención del hombre, se denomina ladera (Figura 3.2). Si el talud es realizado por el hombre se denominan cortes o taludes (Figura 3.3), los cuales pueden ser formados con materiales de construcción o naturales.

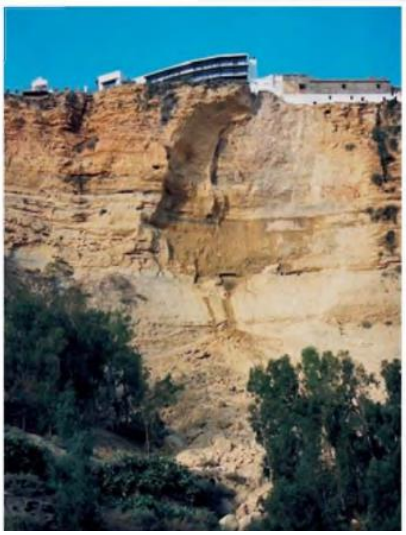


**Figura 3.2 Ladera vertical; Fuente: (Gonzales de Vallejo, 2002)**

**Figura 3.3 Talud, Fuente: Floresypantas.net**

Las laderas de rocas y suelos son aquellas en las que se realizan estudios de estabilidad, ya que, para su formación no existe un diseño previo a diferencia de los taludes o cortes, los cuales son realizados respecto a su uso, geometría y características del sector.

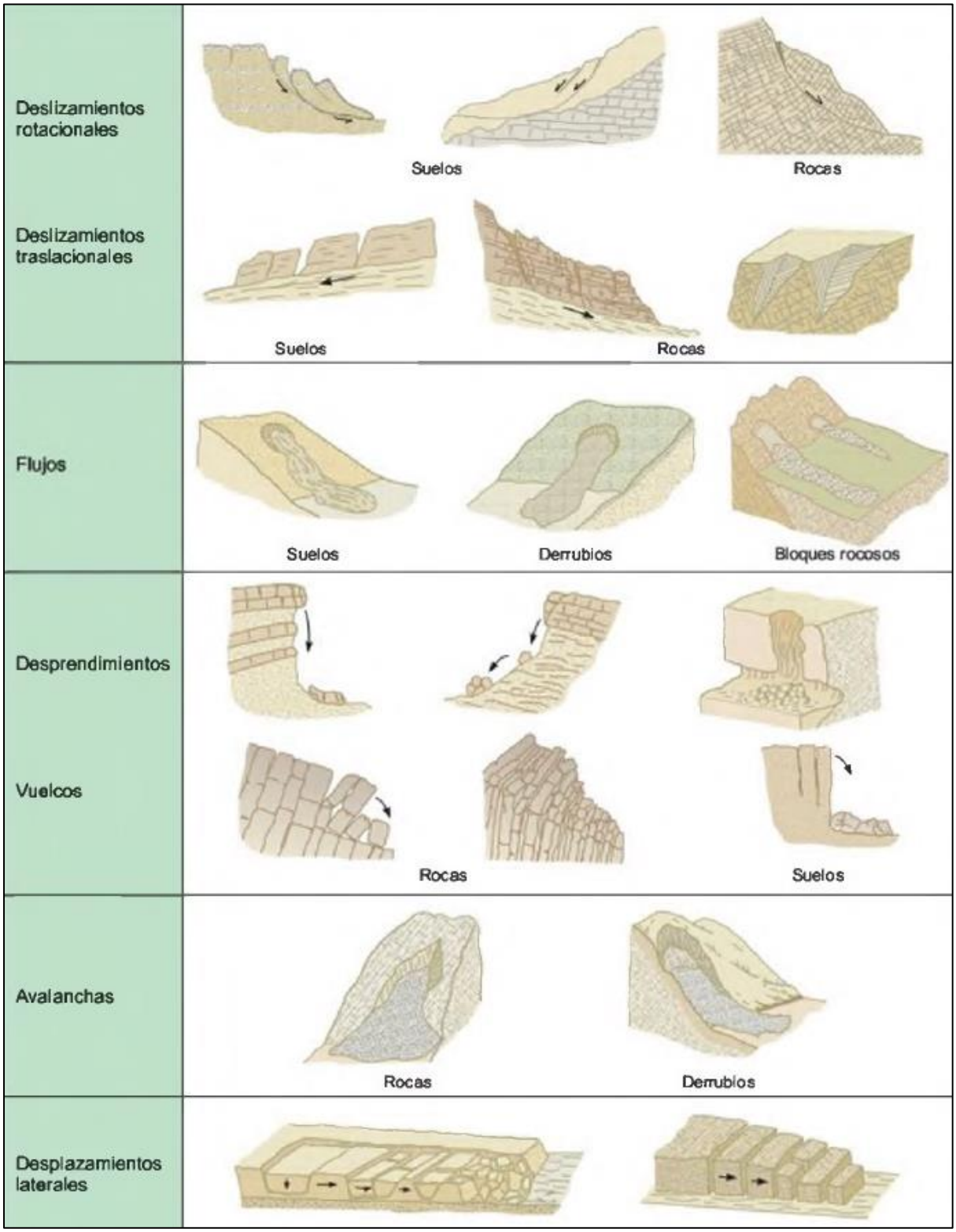
### 3.1.4 Deslizamiento

Los deslizamientos son remociones de masas que se mueven relativamente respeto a un sustrato, luego de que se supere la resistencia al corte de las superficies. Pueden tener diferentes orígenes, ya sean por agentes gravitacionales, agua, aire, hielo, movimientos sísmicos, entre otros. Estos pueden ocurrir en superficie terrestre o debajo del agua y suelen alcanzar grandes velocidades en un corto periodo de tiempo.

El estudio de zonas susceptibles a deslizamientos es muy importante, ya que, con ello se pueden evitar futuros desastres, así como, recomendar medidas de sostenimiento.

Existen diferentes clasificaciones para los deslizamientos, esta dependerá principalmente de su geometría y material. En la Tabla 3.1 se muestran los diferentes tipos.

**Tabla 3.1 Tipos de movimientos de masa; Fuente: (Gonzales de Vallejo 2002)**



### 3.1.5 Rotura tipo planar

El tipo de rotura planar es poco común en las pendientes, ya que se necesita que se cumplan diferentes condiciones geométricas del talud y las discontinuidades las cuales se describen a continuación:

- El plano de deslizamiento debe de tener un rumbo paralelo o muy cercano al de la pendiente (± 20° de diferencia).
- El buzamiento de la pendiente debe ser un poco mayor al del plano de rotura, y este debe ser mayor al Angulo de fricción de este plano, tal como se muestra en la Figura 3.4.
- La parte superior de la superficie de rotura debe de cruza con la pendiente de la parte superior, de esta forma el bloque se corta de la parte superior.
- Deben de existir superficies de liberación, estas son aquellas que proporcionan una resistencia insignificante al deslizamiento en los límites laterales del bloque.

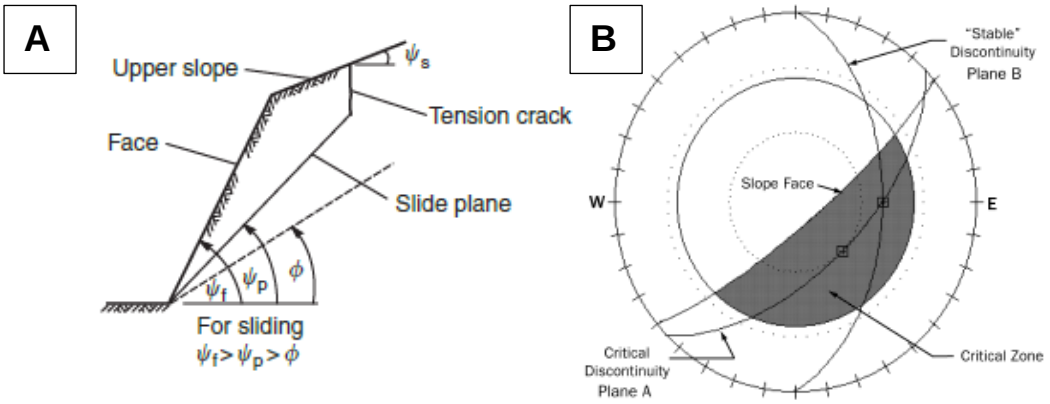



**Figura 3.4 (A) Geometría para deslizamientos planares, (B) Proyección estereográfica y determinación de zona critica según parámetros geométricos, Fuente: (Duncan, C WyllieChristopher 2004)**

El software más adecuado para este tipo de deslizamiento es el de Rocscience llamado RocPlane.

### 3.1.6 Rotura tipo cuña

Este tipo de Rotura ocurre en macizos rocosos con rocas de resistencia media a alta los cuales están afectados por familias de diaclasas o fallas. Es un tipo de

deslizamiento traslacional controlado por dos o más discontinuidades, estas son más comunes en minas a cielo abierto y en zonas montañosas.

Al igual que la rotura tipo planar, se deben de cumplir ciertas condiciones geométricas para que exista este tipo de rotura los cuales se detallan a continuación:

- Dos planos deben siempre interceptar formando una línea, esto es posible ver cuando graficamos los planos en el estereograma representado por un punto, como se muestra en la Figura 3.5.

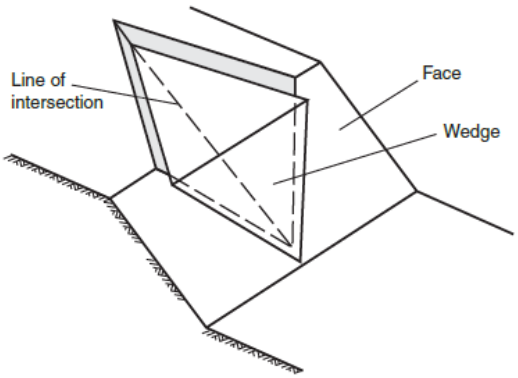



**Figura 3.5 Rotura en cuña y la línea de intersección de discontinuidades, Fuente: (Duncan, C WyllieChristopher 2004)**

- El rumbo de la línea de intersección debe ser cercano al buzamiento de la pendiente.
- En buzamiento de la línea de intersección debe ser menor al del buzamiento del talud, pero este debe de ser un poco mayor al del ángulo de fricción, tal como se muestra en la Figura 3.6.

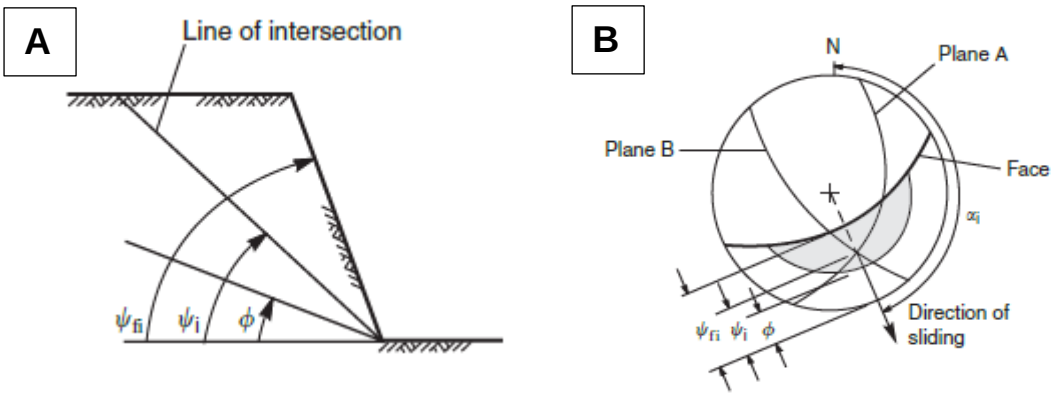



**Figura 3.6 (A) Vista de ángulos respecto a la línea de intersección, (B) Proyección estereográfica y determinación de zona critica según parámetros geométricos , Fuente: (Duncan, C WyllieChristopher 2004)**

El software más adecuado para este tipo de deslizamientos es el de Rocscience llamado Swedge.

### 3.1.7 Rotura tipo rotacional

Se da en materiales con una resistencia baja, altamente erosionados o roca muy fracturada. Las anteriores roturas descritas presentan una geometría respecto a las discontinuidades y el talud, en este caso no existe un patrón estructural estrictamente definido, por lo tanto, la superficie de deslizamiento es libre de buscar una línea de menor resistencia en la pendiente. Ciertas observaciones y estudios siguieren que este tipo de deslizamientos tienen forma de círculos en su parte basal (Figura 3.7).

Por lo general este tipo de rotura suele tener un relleno de suelo y fallará en modo circular cuando las dimensiones de la pendiente sean sustancialmente mayores que las dimensiones de los fragmentos de roca. En un material de 'suelo', que generalmente consiste de arena, limo y partículas de grano fino puede darse un deslizamiento de superficie circular incluso en pendientes de solo unos pocos metros de altura, existen varias metodologías para el estudio de estas roturas planteadas en el libro de (Duncan, C WyllieChristopher 2004). El software más adecuado para este tipo de roturas es el de Rocscience llamado Slide.

**Figura 3.7 Roturas tipo rotacional; Fuente: (Gonzales de Vallejo 2002)**

### 3.1.8 Rotura tipo volcamiento

Este tipo de rotura suele ocurrir cuando el rumbo del plano de la discontinuidad coincide con el del plano de talud y también el buzamiento del plano de las discontinuidades va hacia adentro del macizo rocoso.

Existen unas clasificaciones propuestas por Goodman y Barry en 1976. Describieron diferentes tipos de roturas por vuelco encontradas en el campo. Es importante conocer qué tipo de rotura de vuelco es, ya que, existen 2 diferentes métodos de análisis de estabilidad ya sea vuelco de bloques o por flexión.

- Caída de bloque

La caída de bloque se da cuando columnas individuales están formadas por familias de discontinuidades, las cuales buzan abruptamente hacia el macizo rocoso. Además, un segundo grupo de familias de discontinuidades se encuentran ortogonales a las anteriores ampliamente espaciadas lo cual define la altura del bloque. Condiciones geológicas típicas que puede ocurrir este tipo de rotura son en estratificaciones de areniscas o columnas de basaltos (Duncan, C WyllieChristopher 2004).

- Caída por flexión

Se da en columnas continuas de roca bien espaciadas con un abrupto buzamiento de las discontinuidades, rompiéndose en flexión mientras se inclinan hacia adelante. A diferencia de la caída de bloque, en estas no existe una familia de discontinuidades bien marcada que corta en el tope a las columnas, sino que, al momento de inclinarse hacia la dirección de la pendiente, estas tienden a fracturarse como se muestra en la Figura 3.8.

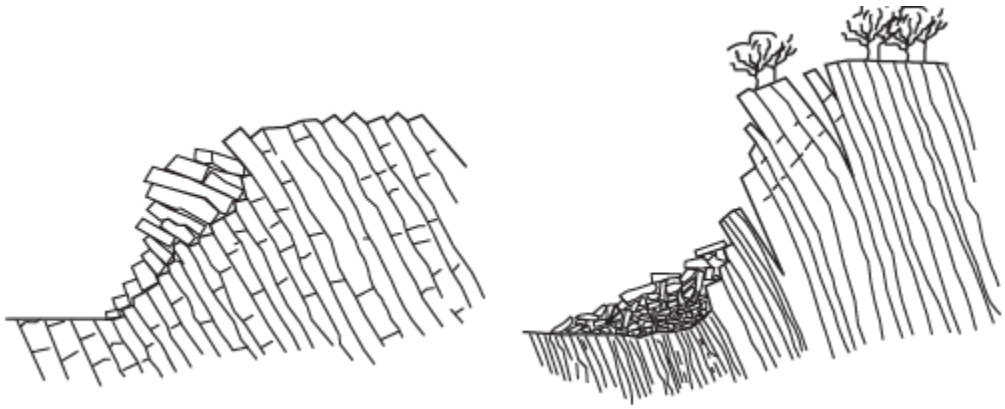


**Figura 3.8 Bloques en caída por flexión, Fuente: (Duncan, C WyllieChristopher 2004)**

- Caída de bloques por flexión

Se caracteriza por tener columnas de flexiones, pero no son como las anteriormente descritas, ya que, estas se encuentran divididas por numerosas juntas que las cortan

ortogonalmente a las columnas. En lugar de la rotura por flexión de las columnas continuas, el derrumbe se da por la acumulación de desplazamiento de las juntas que cortan a las columnas, como se muestra en la Figura 3.9.

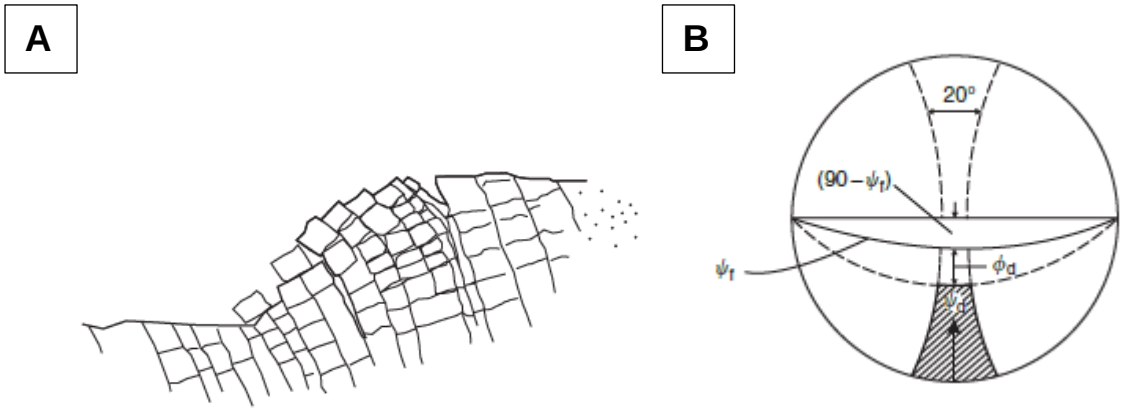



**Figura 3.9 (A) Caída de bloques por flexión (B) Proyección estereográfica y determinación de zona critica considerando parámetros geométricos, Fuente: (Duncan, C WyllieChristopher 2004)**

En general, existen también criterios cinemáticos que se deben de cumplir para que exista este tipo de rotura los cuales se detallan a continuación:

- Las discontinuidades deben de buzar hacia dentro del talud.
- El azimut del talud debe ser aproximadamente igual al de la discontinuidad (± 30°)
- Cumplirse la condición de cizalla definida por, $(\mathbf{90}° - \boldsymbol{\delta}) < \boldsymbol{\alpha} - \boldsymbol{\varphi}$, Donde δ, es el buzamiento de la discontinuidad, α es el buzamiento del talud y φ es el ángulo normal a las capas con respecto a la pendiente.

## 3.2 Parámetros geomecánicos

### 3.2.1 Características de la matriz y macizo rocoso

La matriz rocosa o roca intacta, es aquella que no presenta discontinuidades, sin embargo, a pesar de que se considera como un medio continuo, suele presentar un comportamiento heterogéneo y anisotrópico, debido a su microestructura mineral y otras propiedades. Por lo cual, es importante realizar una identificación y clasificación de esta, determinando las siguientes características:

- Composición mineralógica.
- Fabrica y textura

- Tamaño de grano
- Color
- Porosidad
- Peso especifico
- Permeabilidad
- Alterabilidad

También es necesario conocer las propiedades mecánicas como:

- Resistencia a la compresión simple
- Resistencia a la tracción
- Cohesión
- Angulo de fricción
- Coeficiente de elasticidad
- Poisson

Cada una de estas propiedades tienen diferentes metodologías, ya sea mediante técnicas de laboratorio, ensayos o descripciones, las cuales se describen en el capítulo de metodología.

Un macizo rocoso se caracteriza por ser un conjunto de bloques de roca intacta con la presencia de discontinuidades que lo afectan. Se caracterizan por ser medios, anisotrópicos, discontinuos, heterogéneos y con una resistencia a la tracción casi nula (Gonzales de Vallejo 2002).

El macizo rocoso tiene un conjunto de características que son importantes para su clasificación y análisis tales como:

- Matriz rocosa
- Características de las discontinuidades
- Número y orientación de familias de discontinuidades
- Tamaño de bloques y grado de fracturación
- Grado de meteorización

Es importante que además de conocer estas características, tanto de la matriz como del macizo rocoso, es necesario conocer la resistencia y deformabilidad de cada uno. Esto se lo describe en el siguiente apartado.

### 3.2.2 Resistencia y Deformabilidad de la matriz rocosa.

La resistencia de la matriz rocosa nos ayuda a conocer cuanto esfuerzo es capaz de soportar la roca cuando está sometida a deformaciones. Para conocer el esfuerzo de compresión que tiene la roca, es necesario realizar ensayos de resistencia uniaxial o compresión simple (Figura 3.10) en probetas de roca sin confinar. Cabe mencionar que las rocas, por lo general, se rompen respecto a planos de fallas o fracturas, por lo tanto, una forma indirecta de medir la resistencia al corte es realizando el ensayo de compresión.

El ensayo de compresión simple, también nos ayuda a determinar parámetros de deformabilidad como lo son el módulo de elasticidad (E), que se define como la relación lineal elástica entre el esfuerzo aplicado y la deformación que se produce en la dirección que se aplica el esfuerzo, y el coeficiente de Poisson (ν), que se define como la relación entre la deformación transversal y axial (Gonzales de Vallejo 2002).

**Figura 3.10 Ensayo uniaxial, Fuente: Geoestudios s.a.**

La Cohesión (c) y el ángulo de fricción interna (ϕ), son parámetros de la resistencia de un material. El primero nos indica la fuerza de unión que existe entre las partículas minerales que forman la roca, mientras que el segundo nos indica el ángulo de rozamiento entre dos planos de la roca. Los dos parámetros se los pueden obtener mediante ensayos de compresión triaxial (Figura 3.11).

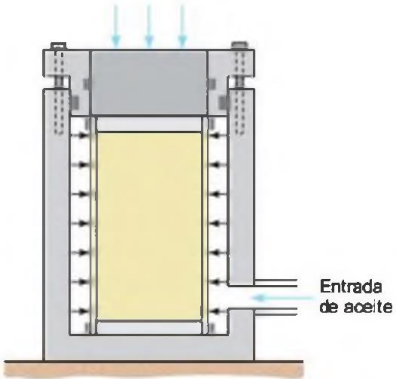



**Figura 3.11 Ensayo de resistencia triaxial, Fuente:(Gonzales de Vallejo 2002)**

El criterio no lineal propuesto por (Hoek y Brown, 1980), es el más adecuado para evaluar la resistencia de una matriz roca isotrópica en condiciones triaxiales y se expresa mediante la (3.1. Esto se representa mediante una gráfica de esfuerzos principales y porcentaje de deformación axial, en la cual se dibujan los círculos de Mohr que nos ayuda a determinar los parámetros de (c) y (ϕ).

$$\delta \mathbf{1} = \delta \mathbf{3} + \sqrt{\boldsymbol{mi}\, \delta \mathbf{ci} \delta \mathbf{3} + \delta \mathbf{ci}^{\mathbf{2}}} \qquad \textbf{(3.1)}$$

Donde:

δ1, Esfuerzo principal mayor de rotura.

δ3, Esfuerzo principal menor de rotura

δci, Resistencia a la compresión simple.

Mi, Constante que depende de la matriz.

Todas estas variables anteriormente mencionadas son obtenidas mediante ensayos triaxiales, a excepción de la resistencia de compresión simple.

Por último, la resistencia a la tracción es la máxima fuerza traccional uniaxial que puede soportar la roca antes de fracturarse, este valor puede ser determinado por ensayos de rección directa o indirectamente (Gonzales de Vallejo 2002).

### 3.2.3 Criterio de rotura Hoek y Brown del macizo rocoso

La resistencia de un macizo rocoso depende del máximo esfuerzo que este puede soportar, a determinadas condiciones, y está en función de la resistencia al corte de

la matriz rocosa y discontinuidades. El criterio de rotura propuesto por (Hoek and Corkum 2002), es un criterio empírico el cual nos ayuda a determinar los parámetros como ángulo de fricción y cohesión.

La (3.2, es la original planteada por Hoek y Brown en términos de esfuerzos principales. En este caso utiliza se utiliza la clasificación geomecánica 'RMR' como elemento de relación para las observaciones geológicas de campo.

$$\delta 1' = \delta 3' + \delta \mathbf{ci}(\boldsymbol{m}\frac{\delta 3'}{\delta \mathbf{ci}} + \boldsymbol{s})^{0.5} \qquad \textbf{(3.2)}$$

Donde:

**δ'1 yδ'3**, Esfuerzos principales efectivos mayor y menor en el momento de rotura

**δci,** Resistencia a la compresión simple.

**m y s,** Constantes del material, **s = 1** para casos de roca intacta.

Los valores para m y s pueden determinarse por las (3.3**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** para macizos rocosos sin alterar y no afectado por voladuras. Y las (3.5**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**,para aquellos macizos que se encuentran alterados o afectados por voladuras. En ambas ecuaciones el valor de 'mi' depende de la matriz rocosa, y este es posible determinar en ensayos de compresión triaxial.

$$\boldsymbol{m} = \boldsymbol{mi}\,\mathbf{exp}\frac{\boldsymbol{RMR} - \mathbf{100}}{\mathbf{28}} \qquad \textbf{(3.3)}$$

$$\boldsymbol{S} = \mathbf{exp}\frac{\boldsymbol{RMR} - \mathbf{100}}{\mathbf{9}} \qquad \textbf{(3.4)}$$

$$\boldsymbol{m} = \boldsymbol{mi}\,\mathbf{exp}\frac{\boldsymbol{RMR} - \mathbf{100}}{\mathbf{14}} \qquad \textbf{(3.5)}$$

$$\boldsymbol{S} = \mathbf{exp}\frac{\boldsymbol{RMR} - \mathbf{100}}{\mathbf{6}} \qquad \textbf{(3.6)}$$

La aplicación de criterio de rotura original era muy limitada, ya que, se considera para macizos rocosos isotrópicos, fracturados sin alteraciones y una matriz rocosa resistente. Además, se asume que los bloques de rocas se encuentran en contacto entre ellos y que la resistencia del macizo es controlada por la resistencia de las discontinuidades. Por lo tanto, para casos donde el macizo rocoso es muy fracturado

y de mala calidad, se utiliza el método de Hoek y Brown generalizado (Hoek and Corkum 2002) expresado por la (3.7.

$$\delta 1' = \delta 3' + \delta \mathbf{ci}(\boldsymbol{mb}\frac{\delta 3'}{\delta \mathbf{ci}} + \boldsymbol{s})^{\boldsymbol{a}} \qquad \textbf{(3.7)}$$

En este caso el valor de ‘mb’, es un valor reducido de ‘mi’ y se define mediante la (3.8.

$$\boldsymbol{mb} = \boldsymbol{mi}\,\mathbf{exp}\frac{\boldsymbol{GSI} - \mathbf{100}}{\mathbf{28} - \mathbf{14}\,\boldsymbol{D}} \qquad \textbf{(3.8)}$$

Para determinar los valores de s y a se emplea el Índice de Resistencia Geológica GSI mediante las (3.9 y (**3.10** respectivamente. Este método de clasificación es más adecuado para macizos rocosos muy fracturados y alterados.

$$\boldsymbol{s} = \mathbf{exp}\left(\frac{\boldsymbol{GSI} - \mathbf{100}}{\mathbf{9} - \mathbf{3}\boldsymbol{D}}\right) \qquad \textbf{(3.9)}$$

$$\boldsymbol{a} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2}} + \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{6}}\,(\boldsymbol{e}^{-\frac{\boldsymbol{GSI}}{\mathbf{15}}} - \boldsymbol{e}^{-\frac{\mathbf{20}}{\mathbf{3}}}) \qquad \textbf{(3.10)}$$

D es un factor que dependerá del grado de alteración el cual el macizo rocoso ha sido sometido ya sea por efectos de explosivos o relajación de tenciones. En la Tabla 3.2, tomada del articulo (Hoek and Corkum 2002), se muestran los diferentes valores con respecto a las características de excavación.

**Tabla 3.2 Valor D sugerido según el tipo de alteración, Fuente: (Hoek and Corkum 2002)**

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

El módulo de deformación es otra característica importante en el macizo rocoso, este viene dado por la (3.11 cuando σci ≤ 100 MPa, mientras que la (3.12, se utiliza cuando σci > 100 MPa. (Hoek and Corkum 2002) y dependerá del GSI, Resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta y del factor de alteración 'D'.

$$\boldsymbol{Em\ (GPa) = \left(1 - \frac{D}{2}\right)\sqrt{\frac{\delta ci}{100}} * 10^{\frac{GSI-10}{40}}} \qquad \textbf{(3.11)}$$

$$\boldsymbol{Em\ (GPa) = \left(1 - \frac{D}{2}\right) 10^{\frac{GSI-10}{40}}} \qquad \textbf{(3.12)}$$

## 3.3 Análisis de estabilidad de talud

Los métodos que se aplicaron en nuestro proyecto para el análisis de estabilidad de talud son los empíricos y de equilibrio límite. Existen muchos más métodos de análisis, pero se han seleccionado estos debido a la información que se tiene y el procesamiento que se le pueden dar a estos datos.

Para el desarrollo del método de equilibrio límite, es necesario conocer previamente qué tipo de rotura ocurre en el talud y los parámetros mecánicos de la roca, para posteriormente aplicar un criterio de rotura adecuado y obtener la superficie potencial de falla con su respectivo factor de seguridad (Gonzales de Vallejo 2002).

El factor de seguridad se lo determina mediante una relación de las fuerzas estabilizadoras, respecto a las desestabilizadoras. Diferentes autores han propuestos metodologías para determinar el factor de seguridad mediante el método de equilibrio límite, en nuestro caso se considera la metodología para taludes de rocas, denominado el método de Bishop simplificado.

Las clasificaciones geomecánicas son metodologías empíricas que evalúan la estabilidad de una excavación. Estas toman en cuenta características del macizo rocoso como datos estructurales de las juntas y el talud, grado de alteración, rugosidad, presencia de agua, entre otras. La clasificación del 'SMR' (Romana 1985), es una de las más utilizadas para taludes, la cual nos permite clasificar el talud, respecto a su calidad, estabilidad y el tipo de tratamiento o sostenimiento. La sección 3.3.1 se detallan cada uno de los sistemas de clasificación aplicados en nuestro estudio.

### 3.3.1 Métodos empíricos

#### 3.3.1.1 Rock Mass Rating 'RMR'

La clasificación fue planteada por (Bieniawski 1979). Esta se determinó mediante métodos empíricos de cientos de pruebas en diferentes macizos rocosos en África del Sur. Es una de las clasificaciones más importantes y básicas para temas de estabilidad de macizos rocosos ya que de ella se basan otras clasificaciones más.

El índice del RMR, evalúa la calidad del macizo rocoso por medio de 5 características como son; resistencia a la compresión, Rock Quality Designation (RQD), espaciamiento de las juntas, naturaleza de las juntas y presencia de agua. La ponderación de estos cinco factores representa el RMR básico. El sexto factor es un parámetro de corrección respecto a la dirección de las discontinuidades y el túnel, talud o cimentaciones, que nos permite obtener un RMR general. A continuación, se

describe cada una de las características para determinar el RMR básico (Gonzales de Vallejo 2002) .

- Resistencia a la compresión simple de la roca, se puede determinar por medio de ensayos de laboratorio o ensayos directamente en el afloramiento con el martillo de Schmidt.
- RQD: Existen diferentes formas para determinar este parámetro, ya sea por el método cubico, linear o por medio de núcleos de perforación.
- Espaciamiento de las juntas: es el espacio que existe entre cada plano de discontinuidad, falla, diaclasa, entre otros.
- Naturaleza de las juntas: Este parámetro describe características específicas de las juntas las cuales se enlistan a continuación.
    - Apertura entre labios de la discontinuidad
    - Continuidad o persistencia.
    - Rugosidad de los labios de la discontinuidad
    - Relleno
    - Alteración
- Presencia de agua: dependerá de si el nivel freático se encuentra por encima del macizo rocoso o la presencia de precipitaciones.

Cada uno de estos parámetros tiene una ponderación como se muestra en la siguiente Tabla 3.3.

**Tabla 3.3 Ponderación de los parámetros para la obtención del RMR (Bieniawski 1979), Fuente: (Gonzales de Vallejo 2002)**

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Resistencia de la matriz rocosa (MPa) | Ensayo de carga puntual | > 10 | 10-4 | 4-2 | 2-1 | Compresión simple (MPa) | | |
| | | Compresión simple | > 250 | 250-100 | 100-50 | 50-25 | 25-5 | 5-1 | < 1 |
| | Puntuación | | 15 | 12 | 7 | 4 | 2 | 1 | 0 |
| 2 | RQD | | 90 %-100 % | 75 %-90 % | 50 %-75 % | 25 %-50 % | < 25 % | | |
| | Puntuación | | 20 | 17 | 13 | 6 | 3 | | |
| 3 | Separación entre diaclasas | | > 2 m | 0,6-2 m | 0,2-0,6 m | 0,06-0,2 m | < 0,06 m | | |
| | Puntuación | | 20 | 15 | 10 | 8 | 5 | | |
| 4 | Estado de las discontinuidades | Longitud de la discontinuidad | < 1 m | 1-3 m | 3-10 m | 10-20 m | > 20 m | | |
| | | Puntuación | 6 | 4 | 2 | 1 | 0 | | |
| | | Abertura | Nada | < 0,1 mm | 0,1-1,0 mm | 1-5 mm | > 5 mm | | |
| | | Puntuación | 6 | 5 | 3 | 1 | 0 | | |
| | | Rugosidad | Muy rugosa | Rugosa | Ligeramente rugosa | Ondulada | Suave | | |
| | | Puntuación | 6 | 5 | 3 | 1 | 0 | | |
| | | Relleno | Ninguno | Relleno duro < 5 mm | Relleno duro > 5 mm | Relleno blando < 5 mm | Relleno blando > 5 mm | | |
| | | Puntuación | 6 | 4 | 2 | 2 | 0 | | |
| | | Alteración | Inalterada | Ligeramente alterada | Moderadamente alterada | Muy alterada | Descompuesta | | |
| | | Puntuación | 6 | 5 | 3 | 1 | 0 | | |
| 5 | Agua freática | Caudal por 10 m de túnel | Nulo | < 10 litros/min | 10-25 litros/min | 25-125 litros/min | > 125 litros/min | | |
| | | Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor | 0 | 0-0,1 | 0,1-0,2 | 0,2-0,5 | > 0,5 | | |
| | | Estado general | Seco | Ligeramente húmedo | Húmedo | Goteando | Agua fluyendo | | |
| | Puntuación | | 15 | 10 | 7 | 4 | 0 | | |

**Corrección por la orientación de las discontinuidades**

| Dirección y buzamiento | | Muy favorables | Favorables | Medias | Desfavorables | Muy desfavorables |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Puntuación | Túneles | 0 | −2 | −5 | −10 | −12 |
| | Cimentaciones | 0 | −2 | −7 | −15 | −25 |
| | Taludes | 0 | −5 | −25 | −50 | −60 |

### 3.3.1.2 Slope Mass Rating 'SMR'

Esta metodología planteada por (Romana 1985), la cual se aplica especialmente para taludes, permitiendo realizar una evaluación empírica de la estabilidad de una excavación. Se basa a partir del RMR básico y considera 4 factores de ajustes que toman en cuenta la orientación de las discontinuidades.

El primer factor F1, depende del paralelismo que puede existir entre la dirección de las discontinuidades con respecto al plano del talud expresada en la (3.13.

$$\boldsymbol{F1 = (1 - sen(\alpha j - \alpha s))^2} \qquad \textbf{(3.13)}$$

Donde, αj y αs es el ángulo de la dirección de la discontinuidad y del talud respectivamente (Romana 1985).

El segundo factor F2, depende del buzamiento de la discontinuidad expresada por la (3.14.

$$\boldsymbol{F2 = Tg^2(\beta j)} \qquad \textbf{(3.14)}$$

Donde βj es el buzamiento de la juta.

El factor F3 es la relación entre los buzamientos de las discontinuidades con respecto al talud, mientras que el último factor F4 dependerá del método de excavación del talud.

En la Tabla 3.4, se muestra los valores que tendrán cada uno de los factores de ajuste dependiendo del resultado de las operaciones matemáticas entre las direcciones y buzamientos de los taludes y discontinuidades, además de los métodos de sostenimiento sugeridos.

**Tabla 3.4 Clasificación geomecánica de taludes SMR, Fuente: (Gonzales de Vallejo 2002).**

## Clasificación geomecánica de taludes SMR

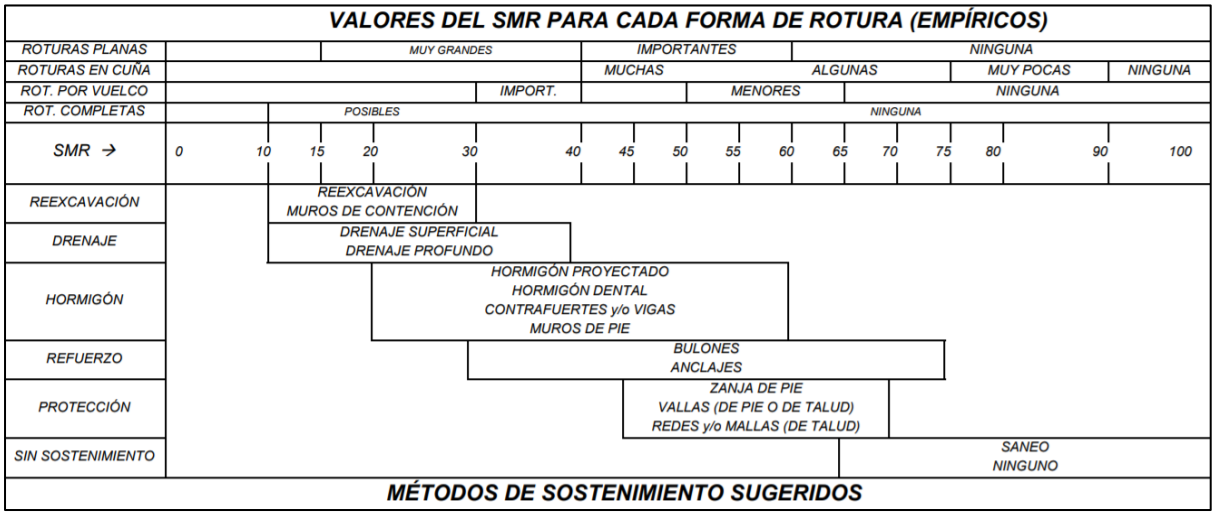
| Factores de ajuste por la orientación de las juntas ($F_1$, $F_2$ y $F_3$) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Caso | | Muy favorable | Favorable | Normal | Desfavorable | Muy desfavorable |
| P<br>T | $\lvert\alpha_j - \alpha_s\rvert$<br>$\lvert\alpha_j - \alpha_s - 180^\circ\rvert$ | $> 30^\circ$ | $30^\circ - 20^\circ$ | $20^\circ - 10^\circ$ | $10^\circ - 5^\circ$ | $< 5^\circ$ |
| P/T | $F_1$ | 0,15 | 0,40 | 0,70 | 0,85 | 1,00 |
| P | $\lvert\beta_j\rvert$ | $< 20^\circ$ | $20^\circ - 30^\circ$ | $30^\circ - 35^\circ$ | $35^\circ - 45^\circ$ | $> 45^\circ$ |
| | $F_2$ | 0,15 | 0,40 | 0,70 | 0,85 | 1,00 |
| T | $F_2$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| P<br>T | $\beta_j - \beta_s$<br>$\beta_j + \beta_s$ | $> 10^\circ$<br>$< 110^\circ$ | $10^\circ - 0^\circ$<br>$110^\circ - 120^\circ$ | $0^\circ$<br>$> 120^\circ$ | $0 - (-10^\circ)$<br>— | $< -10^\circ$<br>— |
| P/T | $F_3$ | 0 | −6 | −25 | −50 | −60 |

| Factor de ajuste por el método de excavación ($F_4$) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Método | Talud natural | Precorte | Voladura suave | Voladura o excavación mecánica | Voladura deficiente |
| $F_4$ | + 15 | + 10 | + 8 | 0 | − 8 |

| Clases de estabilidad | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Clase | V | IV | III | II | I |
| SMR | 0 − 20 | 21 − 40 | 41 − 40 | 61 − 80 | 81 − 100 |
| Descripción | Muy mala | Mala | Normal | Buena | Muy buena |
| Estabilidad | Totalmente inestable | Inestable | Parcialmente estable | Estable | Totalmente estable |
| Roturas | Grandes roturas por planos continuos o por masa | Juntas o grandes cuñas | Algunas juntas o muchas cuñas | Algunos bloques | Ninguna |
| Tratamiento | Reexcavación | Corrección | Sistemático | Ocasional | Ninguno |

P: rotura plana — $\alpha_s$: dirección del talud — $\beta_s$: buzamiento del talud
T: rotura por vuelco — $\alpha_j$: dirección de las juntas — $\beta_j$: buzamiento de las juntas

(Romana, 1997)

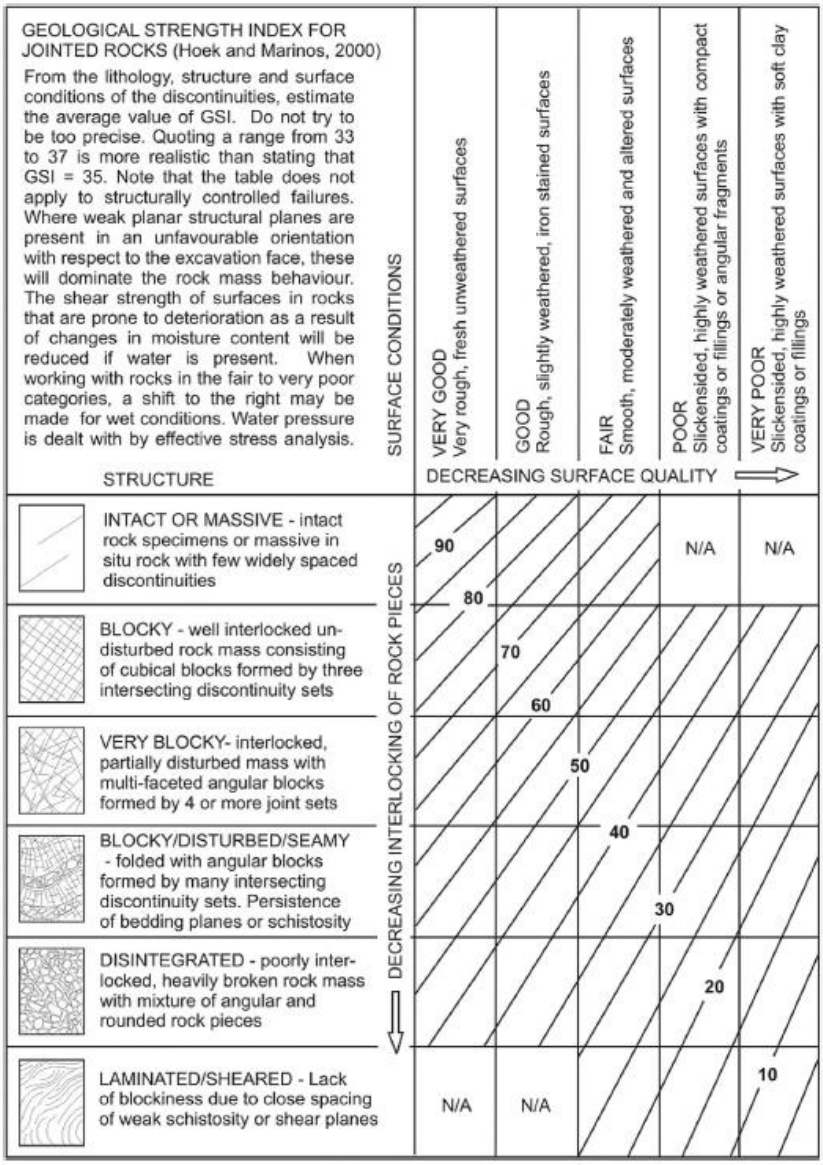


#### 3.3.1.3 Geological Strength Index 'GSI'

Este factor fue propuesto por (Hoek, Kaiser, and Bawden 1995), se estableció para poder abordar 2 factores que se consideran que tengan influencias muy importantes en las propiedades mecánicas de un macizo rocoso, es decir, la estructura y el estado de las juntas.

El sistema fue pensado para manejar macizos rocosos compuestos de bloques angulares entrelazados, en donde el proceso de rotura es dominado por bloques deslizantes y de rotación. Posteriormente (Marinos and Hoek 2000), publicaron una nueva tabla del GSI realizando algunos ajuste teniendo una visión más extensa tal como se muestra en la Tabla 3.5 .Las principales modificaciones fue que agregaron gráficos para las ofiolitas y rocas tectónicamente no perturbadas.

**Tabla 3.5 Gráfico de GSI básico, Fuente: (Marinos and Hoek 2000)**




### 3.3.2 Método de equilibrio límite, Bishop Simplificado

Los métodos de equilibrio son los más utilizados en la actualidad en los trabajos de estabilización de taludes, se caracterizan por determinar una superficie teórica de rotura y un factor de seguridad (FS).

En el caso de roturas circulares se recomienda el uso de la metodología de Bishop simplificada para macizos rocosos isotrópicos, baja resistencia, altamente alterados o intensamente fracturados (Gonzales de Vallejo 2002).

Este método considera las siguientes hipótesis para su análisis:

- Rotura circular

- El talud es dividido en n columnas.
- Se establece un equilibrio de momentos de las fuerzas que actúan en cada columna respecto al centro del circulo.
- Se obtienen las fuerzas normales N, de cada columna y se sustituye en la ecuación resultante de equilibrio de momentos.
- Las fuerzas de contacto entre cada columna no influyen.
- Se obtiene un factor de seguridad F expresado por la (3.15.

$$\boldsymbol{F = \frac{\sum[cA * cos\alpha + (W - Ucos\alpha)tg\emptyset][1/Mi(\alpha)]}{\sum Wsen\alpha}} \qquad \textbf{(3.15)}$$

Donde:

A; área del plano de rotura

c; cohesión

W; peso de la columna

α; Angulo entre una recta vertical y una recta hacia el centro de la columna en la superficie de rotura circular Figura 3.12.

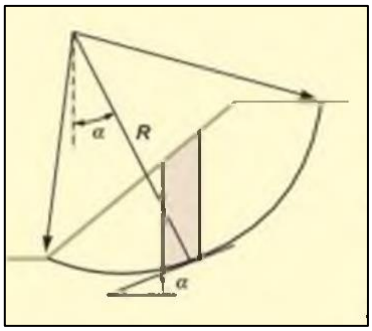



**Figura 3.12 Gráfica para obtener el valor de α; Fuente: (Gonzales de Vallejo 2002)**

Mi (α); se estima mediante el ábaco de la Figura 3.13.

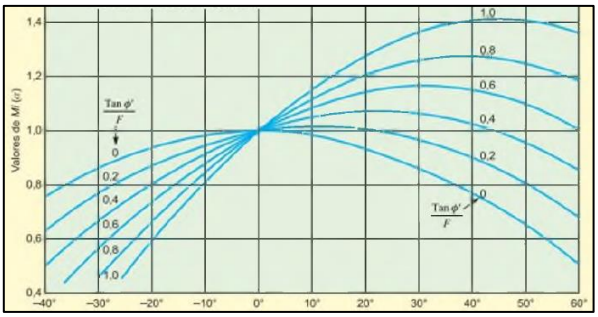



**Figura 3.13 Estimación del valor de Mi(α); Fuente: (Gonzales de Vallejo 2002)**

El menor FS se lo determina mediante un proceso iterativo, donde se va calculando cada valor para cada superficie de rotura. La interacción para el cálculo del FS puede ser realizada mediante softwares como el de Slide, el cual nos presenta las superficies de rotura potencial con su respectivo FS.

El factor de seguridad (FS) es muy importante, ya que, dependiendo de la obra y de las necesidades de estas se puede modificar o no. Cuando el FS > 1, las condiciones serán estables y si el FS < 1, las condiciones serán inestables. En nuestro proyecto únicamente se ha calculado el factor de seguridad y respecto a ello se recomienda o no medidas de estabilización, debido a que si el factor de seguridad es muy elevado (FS > 1.5), no es necesario aplicar medidas de sostenimiento, y si este está muy cercano a 1 si es viable aplicar un tipo de sostenimiento para elevar el F.S.

### 3.3.3 Estabilizaciones en pendientes de roca

Para la estabilización de un talud es necesario conocer las propiedades y comportamiento geomecánico del terreno, mecanismo y tipología de rotura, y los factores geológicos, así como hidrogeológicos que influyen en la inestabilidad.

Para ello es necesario realizar trabajos in situ y complementarlos con ensayos de laboratorio, para que de esta manera permita la definición de las propiedades y parámetros geotécnicos de los materiales (Gonzales de Vallejo 2002).

Existen dos principales grupos de estabilización para taludes de roca, estos se dividen en remoción de material y refuerzos.

Existen muchos tipos de estabilización mediante refuerzos, pero para nuestro proyecto únicamente se ha considerado los anclajes de rocas, muros de reacción, malla de alta resistencia con anclajes y cortinas de guiado tal como se muestran en las Figura 3.14Figura 3.15Figura 3.16 respectivamente (Duncan, C WyllieChristopher 2004). A continuación, una descripción de cada tipo de sostenimiento.

- **Anclajes de roca (2,3, Figura 3.14):** Los anclajes de roca pueden ser barras rígidas o múltiples cables flexibles unidos en paquete. Este tipo sostenimiento se trata de evitar el deslizamiento de bloques o cuñas de rocas en las discontinuidades que salen de la parte frontal del talud. Sin embargo, la función

principal de este soporte es modificar las fuerzas normales y de corte que actúan sobre los planos deslizantes.

- **Muro de reacción (3, Figura 3.14):** El sostenimiento se aplica en fallas tipo deslizantes donde las rocas se encuentran muy fracturadas. Si se aplican únicamente pernos de anclaje, estos pueden degradarse y desgarrarse lo que provocaría una pérdida de la tensión de los pernos, por lo tanto, se sugiere en estos casos construir un muro de hormigón armado para cubrir el área de la roca fracturada, funcionando como medida de protección para el desmoronamiento de la roca. Posteriormente se procede a perforar para instalar los anclajes y tensarlos contra la pared.
- **Mallas de alta resistencia con anclajes (Figura 3.15):** Este tipo de sostenimiento se compone de una malla construida con un alambre de alta resistencia la cual es adjuntada a la roca con anclajes tensados que atraviesan el macizo hasta llegar a la roca sana. El sostenimiento funciona muy bien en macizos rocosos fracturados, donde los bloques tienen un tamaño considerable y se encuentran medianamente alterados.
- **Cortinas de guiado (Figura 3.16):** Las cortinas de guiados se compone de una malla de alta resistencia la cual es anclada en la parte superior del talud. Este sostenimiento es muy utilizado en taludes donde se presentan caídas de rocas, ya que, evita la invasión de estos materiales en la vía acumulándolos en la parte inferior del talud lo que permite una fácil remoción.

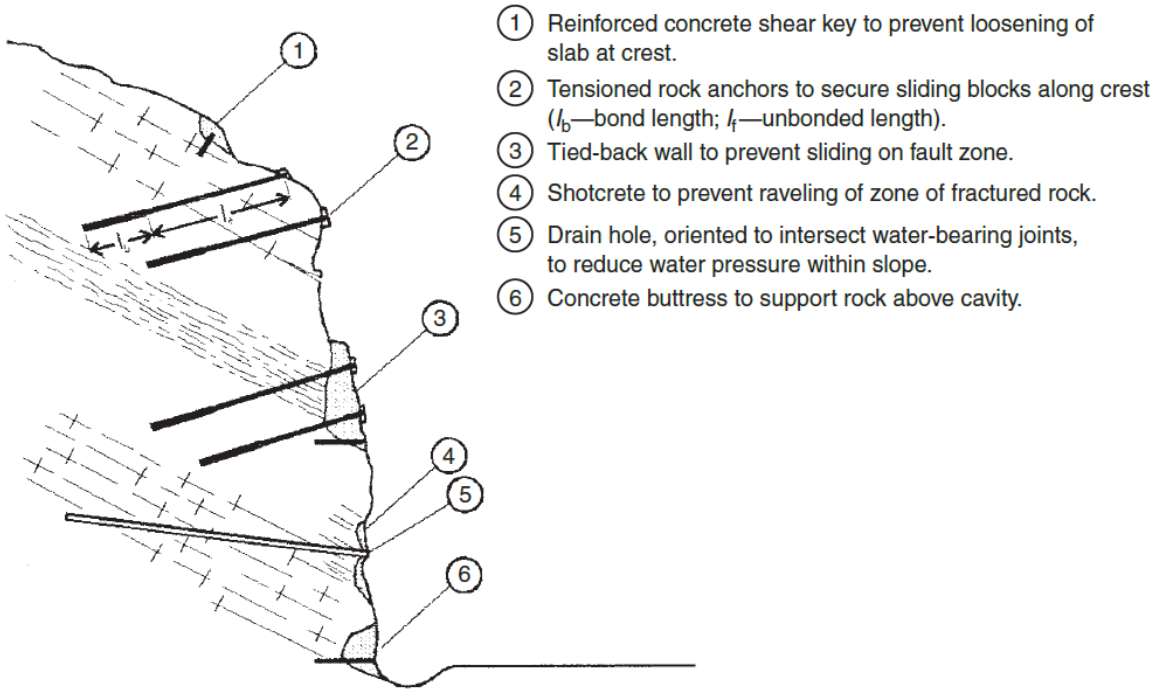



**Figura 3.14 Medidas de estabilización de pendientes de roca mediante refuerzos, Fuente: (Duncan, C WyllieChristopher 2004)**

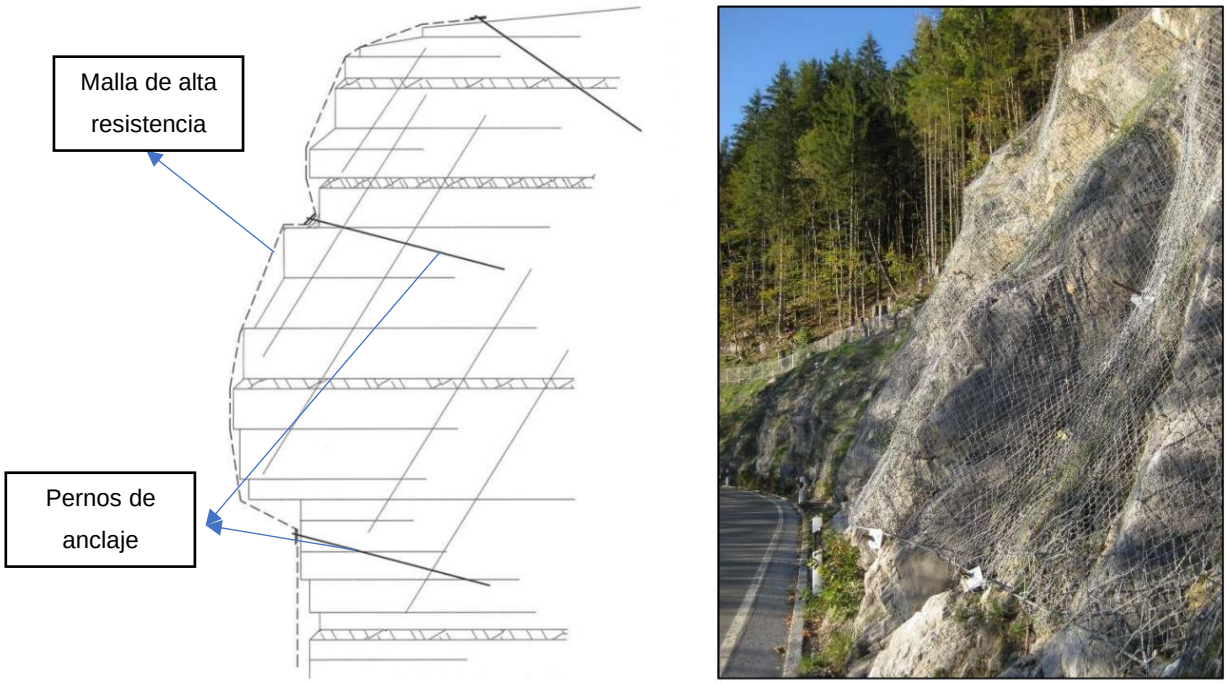



**Figura 3.15 Malla de alta resistencia con anclajes, Fuente: Geobrugg.**

**Figura 3.16 Cortinas de guiado, Fuente: Geobrugg.**

Las medidas de estabilización mediante la remoción de rocas se dividen en 4 (Figura 3.17) (Duncan, C WyllieChristopher 2004). A continuación, se describe el método que se utiliza en muestro proyecto.

- **Descarga de material del cabecero o reexcavación (1, Figura 3.17):** Este método se lleva a cabo cuando es necesario remover material en la parte superior del talud y modificar el campo de tensiones. Para realizarlo se trata de realizar un corte con el ángulo más plano dejando la roca competente en la parte inferior. Sin embargo, se debe de tener mucho cuidado con el análisis previo, ya que al remover el material se puede inducir un deslizamiento si es que el cálculo del volumen deslizante no es el correcto.

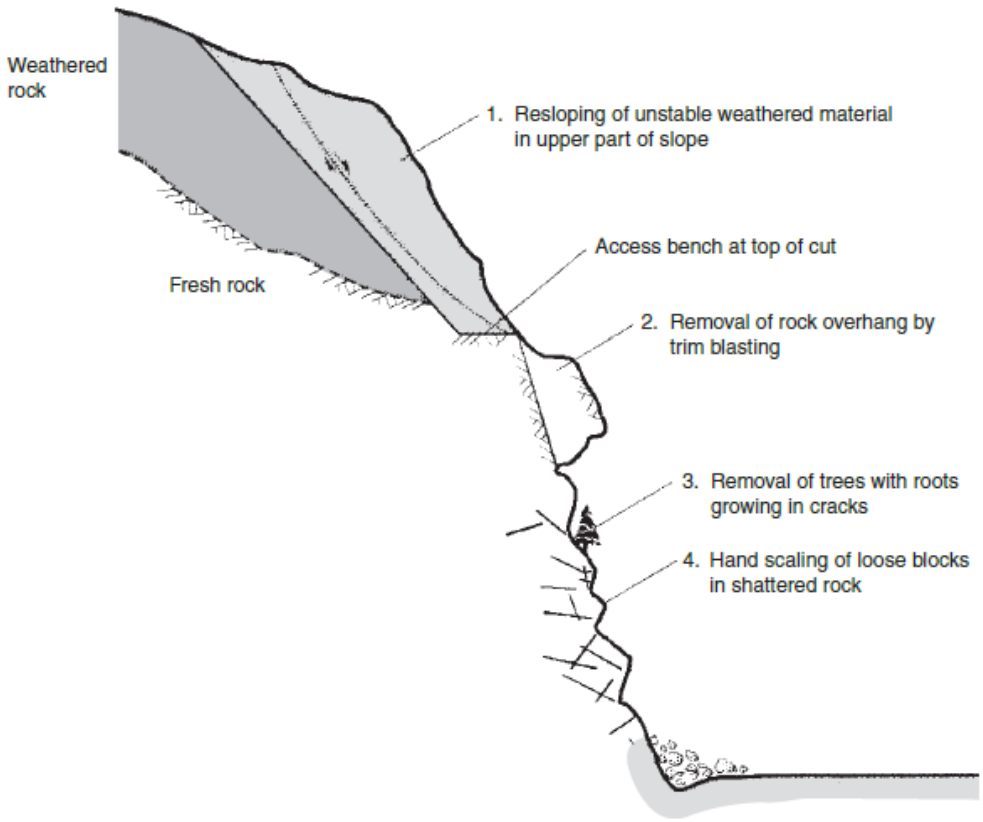



**Figura 3.17 Medidas de estabilización de pendientes de roca mediante remoción de material, Fuente: (Duncan, C WyllieChristopher 2004)**

## 3.4 Estado del Arte

Los deslizamientos de taludes y laderas han sido ampliamente estudiados por diferentes investigadores, donde han planteado una diversidad de metodologías para la predicción y análisis de zonas susceptibles a deslizamientos, así como que sostenimiento es el más adecuado.

Las metodologías más utilizadas son las empíricas, determinísticas, probabilísticas y numéricas en el estudio de estabilidad de taludes. La aplicación más adecuada dependerá de las características que tenga nuestra zona de estudio y que datos son los que se pueden obtener.

Bieniawski Z.T. en 1989 propuso una de las metodologías más utilizadas actualmente conocida como 'Rock Mass Rating' (RMR) para determinar la calidad del macizo rocoso, a partir de esta se dividen otros sistemas de clasificación que se basan en la metodología anteriormente mencionada.

Para taludes, la clasificación más utilizada es la que propuso (Romana 1985) conocida como 'SMR', esta metodología se basa en el RMR, donde su principal objetivo es evaluar las estabilidad de una excavación mediante un índice y determinar empíricamente el método de estabilización. Por otro lado, el 'Chinese Slople Mass Rating' es una clasificación propuesta por (Chen 1995) como un factor de ajuste para el sistema SMR, respecto a las condiciones de las discontinuidades y altura del talud. Existen más clasificaciones que se aplican en taludes, las cuales se presentan en la Tabla 3.6, que dependiendo de las condiciones que se presenten en el proyecto se deberá escoger la más adecuada.

**Tabla 3.6 Resumen de principales sistemas de clasificación para pendientes, Fuente: (Pantelidis 2009)**

| Nombre de sistema | Abreviación | Autor | Características |
|---|---|---|---|
| Rock Mass Rating | RMR | (Bieniawski 1979) | Para la aplicación en pendientes, determina calidad de macizo rocoso y da recomendaciones de sostenimiento. |
| Rock Mass Strength | RMS | (Moon and Selby 1983; Selby 1980) | Para escarpes de una variedad de litologías y pendientes. |
| Slope Mass Rating | SMR | (Romana 1985) | Basada en el RMR, es una de las clasificaciones más utilizadas para pendientes. |
| Slope Rock Mass Rating | SRMS | (Robertson 1988) | Basada en el RMR, se centra en materiales débiles y alterados macizos rocosos de núcleos de perforación. |
| Chinese Slope Mass Rating | CSMR | (Chen 1995) | Factor de ajustamiento aplicado en el SMR para condiciones de discontinuidades y pendientes altas. |
| Geological Strength Index | GSI | (Hoek, Kaiser, and Bawden 1995) | Basada en RMR, para macizos rocosos muy fracturados. |
| Rockslope Deterioration Assessment | RDA | (Nicholson and Hencher 1997) | Para pendientes superficiales, descomposición debido a la intemperie de la excavación en pendientes de roca. |
| Slope Stability Probability Classification | SSPC | (Hack, Price, and Rengers 2003) | Evaluación probabilística de diferentes mecanismos de falla independientes. |

Como se mencionó anteriormente existen métodos determinísticos para evaluar la estabilidad de talud. Incluso pueden realizarse una combinación de diferentes métodos como el que aplico (Sari 2019), el cual utiliza métodos empíricos, cinemáticos, numéricos y límites de equilibrio. El objetivo de su estudio fue analizar las condiciones de estabilidad en el corte de una carretera por diferentes aspectos. El autor determina diferentes parámetros del macizo mediante softwares especializados como RocLab por el método de Hoek-Brown y Mohr-Coulom para determinar la cohesión, ángulo de fricción, esfuerzos tangenciales, cortantes y el módulo de elasticidad. Para el análisis empírico determina el SMR y el análisis cinemático mediante proyecciones estereográficas, finalmente aplica el método de Bishop simplificado y realiza un análisis de elementos finitos. Sin embargo, el estudio mediante elementos finitos tiene un grado de complejidad alta debido a compresión y sensibilidad al ingresar parámetros que al final nos pueden dar resultados erróneos.

Otro estudio plantea un análisis de estabilidad de pendientes probabilístico con elementos finitos (Griffiths and Fenton 2004), utiliza un método probabilístico avanzado llamado 'random finite-elements method (RFEM)', donde usa la elastoplacidad combinada con teorías empíricas, esta metodología tiene algunas ventajas con respecto a los métodos probabilísticos convencionales ya que permite que se desarrolle una rotura en la pendientes naturales al buscar el mecanismo más crítico. Sin embargo, en el estudio concluyen que análisis probabilísticos simplificados, en el que se ignora la variabilidad espacial suponiendo una correlación perfecta, puede conducir a estimaciones no conservativas de la probabilidad de que ocurra una rotura.

En casos donde se consideran factores de seguridad relativamente bajos, debido que se estudian suelos homogéneos, o cuando el coeficiente de variación de la resistencia es relativamente alto se puede llegar a estimaciones no adecuadas. Sin embargo, la metodología realizada por (Griffiths and Fenton 2004), puede resultar muy aplicable para construcciones de diques o represas donde el material de construcción se puede considerar homogéneo y se tiene una geometría especifica establecida.

Existen otras publicaciones de trabajos de evaluación de estabilidad que aplican algunos de métodos empíricos de la Tabla 3.6, como el de 'Evaluation of Slope Stability Considering the Preservation of the General Patrimonial Cementery of

Guayaquil, Ecuador' (Morante et al. 2019). En dicho trabajo se evalúa la estabilidad de la pendiente a través de un análisis geotécnico, medidas estructurales y observaciones en campo. En este caso utilizan la clasificación de RMR, SMR y CSMR, debido a que es una pendiente de roca con una altura de aproximadamente 50 m. La zona de estudio la dividieron en 11 diferentes sectores, donde se analizó la susceptibilidad de cada uno de estos en condiciones normales y condiciones extremas, considerando las precipitaciones, al finalizar se aplica un método de equilibrio mediante el software Slide, para considerar las posibles superficies de rotura.

### 3.5 Estudios Previos de la Zona de Interés

Los estudios previos de la zona de estudio son los realizados por la empresa de Geoestudios S.A., contratado por el M.T.O.P. para la ampliación de la vía Guangarcucho-Lumagpaba-Paute-Gualaceo a una de cuatro carriles. El trabajo consta de un informe de la caracterización geológica y geotécnica de tres sitios críticos y cortes de vía, donde los dos primeros son los de nuestra zona de estudio.

En este estudio se realizaron las caracterizaciones geomecánicas de RMR, GSI, SMR y QSlope. Existen perforaciones denominadas PP17, PP18 Y PSC01. En los cuales realizaron cálculos de RQD de la perforación PP17, en esta se tienen resultados de un macizo rocoso malo de 0 a 3 m y de 4 a 6 m de profundidad, mientras que de 3 a 4 m tiene una calidad media. Para la perforación PP18, se tiene una calidad mala de 6 a 7 y de 7 a 11 media. Finalmente, en la perforación PSC01, se tiene una calidad media de 1 a 15 m. Los resultados de las caracterizaciones del macizo rocoso son reservados por lo cual no se tuvo acceso al mismo.

# CAPÍTULO 4

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1 Metodología propuesta

Los deslizamientos en la vía Guangarcucho – Paute – Gualaceo, provocan daños en la vía y producen pérdidas económicas a los diferentes sectores productivos por el cierre de esta. Por tal motivo, el presente diagrama (Figura 4.1) plantea el procedimiento que se realizó para determinar el modelo de sostenimiento más adecuado para cada sitio crítico, considerando las características geotécnicas y geológicas del área de estudio.

- **Fase 1, Recopilación de información**

La primera fase es fundamental para el desarrollo de nuestro proyecto y también para el planteamiento de la metodología, ya que, se buscó información necesaria para el arranque de nuestro estudio. Mediante la lectura de publicaciones, informes, libros y tesis, en las cuales se obtuvo una guía de los métodos que se pueden realizar para determinar un modelo de estabilización.

El reconocimiento previo del área de estudio fue posible de realizar mediante la búsqueda en geoportales e informes, que nos proporcionen información acerca de la geología del sector, ya sea, en escala regional y local. Mientras que, la topografía fue proporcionada por la empresa Geoestudios S.A., con curvas de nivel cada 1 metro de diferencias en cotas.

En esta fase también es muy importante la relación con el cliente, debido a que es quien establece que producto es el que desea, las restricciones y los recursos disponibles. Esta interacción nos ayudó a determinar que metodología es la más adecuada de las anteriormente investigadas, considerando que sea factible de realizar y cumpla con lo solicitado.

- **Fase 2, Informe geológico/geotécnico**

En la segunda fase se realizó una planificación para el levantamiento geológico-geotécnico del área de estudio, esta fue posible de plantear utilizando la información recopilada en la fase previa, para poder conocer que datos son necesarios de obtener.

Esta fase consta de una caracterización geológica, que tuvo como objetivo realizar tres secciones estratigráficas mediante la descripción de las perforaciones PP-18, PP-17 y PSC-01, las cuales se encuentran cerca del área de estudio. Además, se llevó a cabo un análisis petrográfico de tres laminas delgadas, para poder identificar y describir los minerales, así como el tipo de roca que se encuentra en el sector. Seguidamente se describió la morfología detallando los principales rasgos de cambios en la meteorización, coloración y espaciamiento de las discontinuidades.

La caracterización geotécnica se realizó mediante el levantamiento de estaciones geomecánicas, en las cuales se tomaron medidas de dirección de buzamiento, buzamiento, características de las discontinuidades, relleno y resistencia con el martillo de Schmitt. Mientras que los parámetros geomecánicos del macizo y matriz rocosa fueron obtenidos mediante ensayos de laboratorio los cuales se detallan en la sección 4.3.2.

- **Fase 3, Cálculo de estabilidad**

El cálculo de estabilidad de taludes se llevó a cabo mediante una combinación de métodos empíricos, cinemáticos y de equilibrio límite. Como primer paso, se realizó el análisis cinemático usando las medidas de dirección de buzamiento y buzamiento tanto de las discontinuidades como del talud, obtenidas de las estaciones geomecánicas, y el ángulo de fricción interna. Estos datos se las ingresaron al software Dips, permitiéndonos graficar los planos y polos para determinar el porcentaje de probabilidad de falla de algún tipo de rotura.

La determinación del tipo de rotura más probable que ocurra nos permite poder seleccionar los métodos empíricos y de equilibrio límite más adecuados de realizar los cuales se presentan en la Tabla 4.1.

**Tabla 4.1 Metodologías de análisis para estabilidad de taludes.**

| Metodologías de análisis | |
|---|---|
| **Métodos empíricos** | **Método de equilibrio límite** |
| RMR | Bishop simplificado |
| SMR | |
| GSI | |

Los métodos empíricos, nos dan como resultado la calidad, deformabilidad, rotura y medidas de estabilidad generales del macizo rocoso. Mientras que el método de Bishop simplificado, nos permite conocer las superficies potenciales al deslizamiento y determinar un factor de seguridad, como se explicó en la sección 3.3.2. Al ser este último un método iterativo con cálculos muy extensos, se optó por utilizar el software de Slide.

- **Fase 4, Análisis de resultados**

En esta fase se procedió a integrar todos los resultados anteriores, mostrando las zonas más probables a que ocurra un deslizamiento mediante una evaluación del estado actual de estabilización del talud mediante el análisis de los resultados de las valoraciones de los métodos empíricos y las superficies de falla de los métodos de equilibrio límite para finalmente dar una recomendación del sostenimiento.

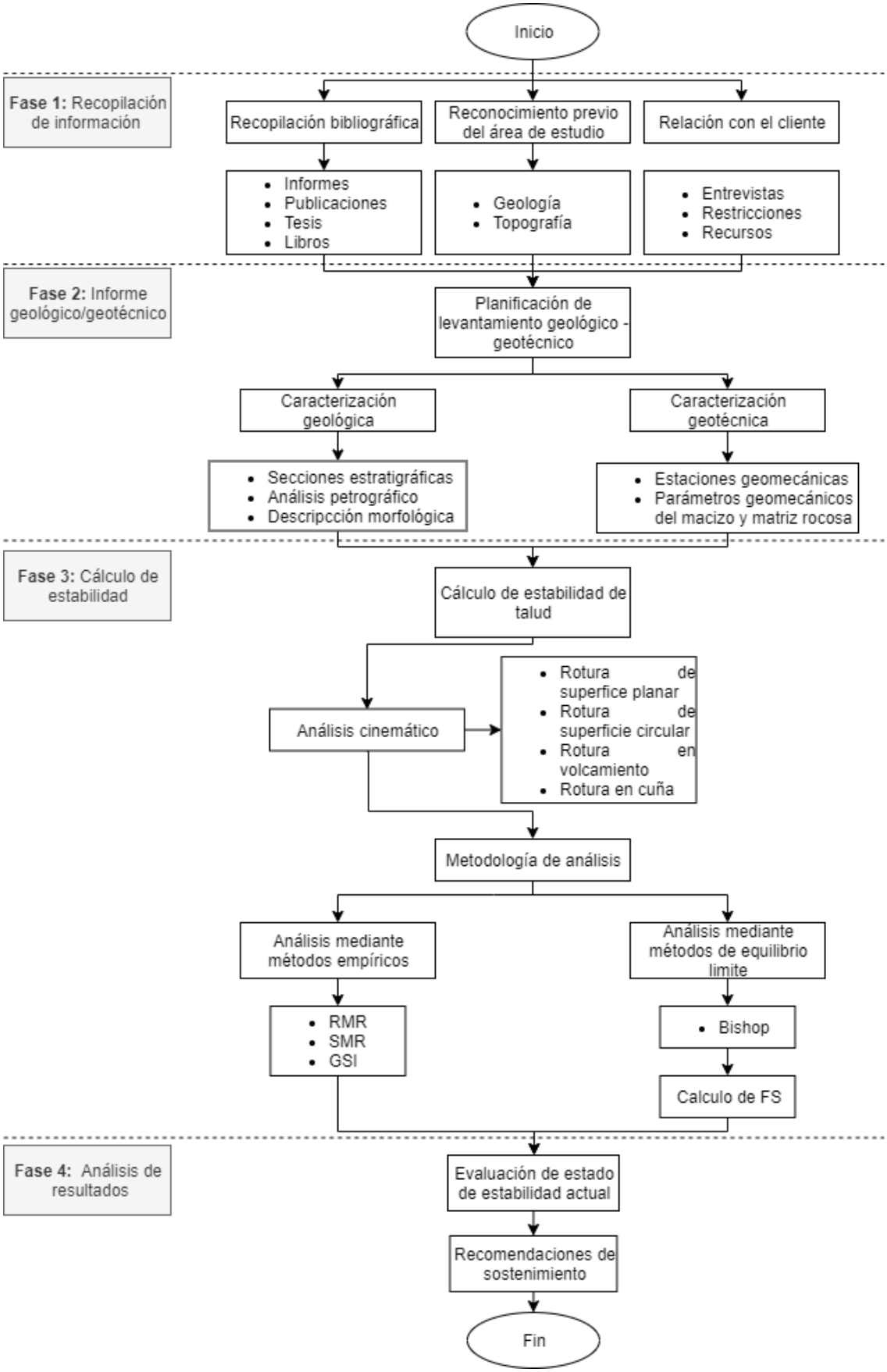



**Figura 4.1 Diagrama de flujo de la metodología realizada en el proyecto, Fuente: Ruben Gonzalez M.**

## 4.2 Recopilación de información

### 4.2.1 Recopilación bibliográfica

La recopilación bibliográfica consta en buscar información relevante acerca de estabilidad de taludes y que estas sean posibles de aplicar a nuestro proyecto. La búsqueda de las publicaciones se la realizó mediante el portal de 'Google Académico' y las editoriales 'El Sevier' y 'Springer'. Los principales libros utilizados fueron 'Rock Slope Engineering' (Duncan, C WyllieChristopher 2004), y 'Ingeniería Geológica' (Gonzales de Vallejo 2002). Las tesis fueron recopiladas de los diferentes repositorios de universidades reconocidas como la Universidad de Chile, Universidad Central del Ecuador y Escuela Politécnica Nacional. Y, por último, los informes fueron proporcionados por la empresa Geoestudios S.A., donde se detallan diferentes ensayos de laboratorio, así como descripciones de núcleos de perforación los cuales van a ser utilizados posteriormente.

### 4.2.2 Reconocimiento previo del área de estudio

El área de estudio fue reconocida previamente mediante la búsqueda de información en el Geoportal del IGEE acerca de la geología del sector de una hoja geológica a escala 1:50000. Esto nos da una idea de la litología que se puede presentar, pero no tiene mucho detalle, por lo tanto, se realizó una caracterización geológica más detallada la cual se explica en la sección 4.3.1.

La topografía proporcionada por la empresa Geoestudios S.A., nos permitió conocer que zonas presentan una mayor pendiente, la longitud y el área de los sitios críticos 1 y 2.

### 4.2.3 Relación con el cliente

Nuestro cliente es la empresa Geoestudios S.A., por lo que relacionar con ellos sobre qué tipo de producto desean es muy importante en la etapa inicial de nuestro proyecto. Para ello fue necesario aplicar las metodologías de Desing Thinking de empatizar y definir.

Para la fase de empatizar se utilizó la metodología de Análisis Dimensional, donde el objetivo es de poder dimensionar el estudio mediante la compresión a profundidad del problema. Para ello fue necesario realizar una entrevista con el cliente que nos permita responder las siguientes seis preguntas:

- ¿Cuál es el problema?
- ¿Quiénes están involucrados?
- ¿Para qué resolverlo?
- ¿Qué grado de relevancia tiene el problema?
- ¿Cuál es la causa?
- ¿En qué lugar acontece el problema?

Las respuestas de cada una de estas preguntas se encuentran en la sección de Anexos 8.1.

Para la etapa de 'Define', se aplicó la metodología de '¿Cómo podríamos…?'. Esta nos ayudó a definir el problema realizando preguntas claves considerando el usuario, la necesidad y la visión.

Una vez realizada la relación con el cliente y luego de haber hecho una revisión previa de la zona de estudio, se pudo seleccionar la metodología más adecuada de las buscadas en la recopilación de información, considerando los recursos y restricciones que se plantean en la Tabla 4.2.

**Tabla 4.2 Restricciones y recursos**

| Recursos | Restricciones |
|---|---|
| • Topografía<br>• Ensayos de compresión simple<br>• Núcleos de perforación<br>• Análisis petrográfico<br>• Estaciones geomecánicas<br>• Medidas de resistencia con el martillo de Schmitt<br>• Ortofotos | • Ensayos triaxiales<br>• Precipitaciones diarias<br>• Nivel de superficie saturada<br>• Accesibilidad a la parte superior del talud<br>• Modelo de infiltración de agua |

## 4.3 Informe geológico – geotécnico

En la estabilidad de taludes existen factores influyentes, que pueden provocar el desarrollo de una rotura a lo largo de una o varias superficies. Estos son divididos en factores condicionantes o pasivos, y factores desencadenantes o activos. La Tabla 4.3 se muestran aquellos factores que son tomados en cuenta para nuestro proyecto.

**Tabla 4.3 Factores influyentes en la inestabilidad de taludes**

| Factores influyentes en la inestabilidad de los taludes | |
|---|---|
| **Factores condicionantes** | **Factores desencadenantes** |
| • Estratigrafía y litología<br>• Estructuras geológicas<br>• Condiciones hidrogeológicas y comportamiento hidrológico de los materiales.<br>• Propiedades físicas, resistentes y deformacionales. | • Cambios en las condiciones hidrogeológicas.<br>• Factores climáticos.<br>• Variaciones en la geometría. |

Esta fase del informe geológico-geotécnico reúne toda la información de los factores tanto condicionantes, así como los desencadenantes que pueden dar como resultado un deslizamiento en nuestra zona de estudio. Además, esta información será de ayuda para el desarrollo de las metodologías planteadas en la fase de cálculo de estabilidad.

Para realizar este informe fue necesario planificar la caracterización, tanto geológica como geotécnica, y determinar el número de ensayos, descripciones y estaciones que se realizarían, dependiendo de la extensión de cada sitio crítico

### 4.3.1 Caracterización geológica

La caracterización geológica abarco en realizar secciones estratigráficas, análisis petrográficos y descripciones morfológicas.

Las secciones estratigráficas se las realizaron por medio de la descripción de núcleos de perforación, tomando en cuenta estructuras, composición, relleno, tamaño de

grano y color. Las perforaciones descritas fueron las de PP-17, PP-18 y PSC-01 con 6, 11 y 15 m de profundidad respectivamente. Posteriormente se procedió a digitalizar la información utilizando el Software de AutoCAD.

En el análisis petrográfico, se realizó una descripción macroscópica y microscópica de tres muestras de las perforaciones anteriormente mencionadas, se escogieron aquellas que presenten un cambio de coloración o textura lo cual puede representar un posible cambio de litología.

Para la descripción macroscópica fueron suficientes las muestras de mano, mientras que para la microscópica se necesitó realizar laminas delgadas, para posteriormente observar las características mediante un microscopio óptico.

En la Tabla 4.4 se muestran las características de las descripciones macroscópicas y microscópicas.

**Tabla 4.4 Características para la descripción de muestras macroscópicas y microscópicas.**

| **Características de descripción** | |
|---|---|
| **Macroscópicas** | **Microscópicas** |
| Tamaño de grano | Forma |
| Color | Clivaje |
| Fracturamiento | Fractura |
| Forma de cristales | Maclas |
| Tamaño de granos | Pleocroísmo |
| Distribución de granos | Minerales |
| Orientación de los componentes | Porcentaje de minerales |
| Minerales | |

La determinación de la litología es un factor muy importante, ya que nos permite conocer la ubicación del nivel freático, sea en condiciones normales o en épocas lluviosas, considerando la permeabilidad de los materiales.

La descripción morfológica se realizó mediante la descripción en campo y con el uso de ortofotos, solamente se describieron aquellas geoformas y estructuras que tienen

influencia en los deslizamientos. No se utilizaron herramientas de teledetección debido a que el área de estudio es pequeña para aplicar dicha metodología.

### 4.3.2 Caracterización geotécnica

La caracterización geotécnica consta 10 estaciones geomecánicas para cada sitio crítico, estas se ubican considerando la accesibilidad y que se encuentren equitativamente distribuidas a lo largo del talud. En cada estación se llenó una ficha para levantamiento geomecánico (Tabla 4.5 Tabla 4.6), la cual nos da información de la dirección y de características de las discontinuidades que servirán posteriormente para el análisis cinemático y la caracterización del macizo rocoso mediante los métodos empíricos. Posteriormente se procedió a clasificar la zona de estudio considerando los cambios de meteorización y de esta manera poder tratar los datos obtenidos en las estaciones geomecánicas de una manera más general para el análisis de estabilidad de talud.

## Tabla 4.5 Ficha para levantamiento geomecánico, Fuente: (Gonzales de Vallejo 2002)

**FICHA PARA LEVANTAMIENTO GEOMECÁNICO**

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **PROYECTO:** | | **ESTACIÓN:** | N HOJA: | | **LOCALIZACIÓN:** | PROVINCIA | |
| | | | CÓDIGO: | | | CANTÓN | |
| **REALIZADO POR:** | | **HOJA/PLANO:** | | | | LOCALIDAD | |
| | | | | | **COORDENADAS** | X: | |
| **FECHA:** | | **FOTOS:** | | | | Y: | |
| | | | | | | Z: | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **LITOLOGÍA:** | **NATURALEZA** | **POTENCIA** | **DEPÓSITOS SUPERFICIALES** | **MORFOLOGÍA,** | **ESPESOR** | |
| **ESTRUCTURAS** | **PLIEGUES** | **FALLAS** | **COLUMNAS** | **OTROS,** | | |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **FRACTURACIÓN** | BLOQUES Jv Juntas / m3 | MUY GRANDES <1 | GRANDES 1-3 | MEDIOS 3-10 | PEQUEÑO | MUY PEQUEÑOS >30 | MUY BRECHIFICADA >60 |
| **GRADO DE METEORIZACIÓN** | SANA I | ALGO METEORIZADA II | MED. METEORIZADA III | MUY METEORIZADA IV | COMPL. METEORIZADA V | SUELO RESIDUAL VI | |
| **HIDROGEOLOGÍA** | SIN PERSENCIA DE AGUA | SECO (CON SEÑALES DE AGUA) | HÚMEDO | GOTEOS | FLUJO | CAUDAL ESTIMADO | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **OBSERVACIONES:** . | **RESISTENCIA "R"ESCLERÓMETRO** | | | |

**FOTO**

## Tabla 4.6 Ficha para levantamiento geomecánico, Fuente: (Gonzales de Vallejo 2002)

**FICHA PARA LEVANTAMIENTO GEOMECÁNICO**

| ESTACIÓN | | | ESPACIADO (m) | | | | | | | CONTINUIDAD (m) | | | | | APERTURA (mm) | | | | | | | | | R. Apr | | RUGOSIDAD | | | | | | | | | RELLENOS | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ESCALONADA | | | ONDULADA | | | PLANA | | | METEORIZACIÓN | | | | | | FILTRACIONES | | | | Resist. Martillo (Geo. Schmidt) | | | | | | | |
| TIPO DE PLANO | DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO | BUZAMIENTO | Ext. Juntas | Muy Juntas | Juntas | Moder. Juntas | Separadas | Muy Separadas | Ext. Separadas | Muy baja | Baja | Moderada | Alta | Muy alta | Muy Cerrada | Cerrada | Parc. Cerrada | Abierta | Moder. Abierta | Ancha | Muy Ancha | Ext. Ancha | Cavernosa | Composición | Espesor (cm) | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | I Sana | II Algo meteorizada | III Med. Meteorizada | IV Muy meteorizada | V Complet. Meteorizada | VI Suelo Residual | Seco | Húmedo | Goteos | Flujo | Muy blando 1 | Blando 2 | Consistente 3 | Muy consistente 4 | Duro 5 | Muy Duro 6 | Índice R | Dirección |
| | | | <0,02 | 0,02 - 0,06 | 0,06 - 0,20 | 20 - 60 | 60 - 2 | 2 - 6 | > 6 | <1 | 1 - 3 | 3 - 10 | 10 - 20 | >20 | <0.1 | 0,1-0,25 | 0,25-0,50 | 0,50-2,5 | 2,5-10 | >10 | 10-100 | 100-1000 | >1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| TIPO DE PLANO | Eo.- Estratificación | J1..Jn- Juntas |
|---|---|---|
| | S1.- Esquistosidad | F1..Fn Fallas |

| RELLENO | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | S - Arena | B - Brecha | Q - Cuarzo | O - Óxidos |
| | G - Gravas | A - Arcillas | M - Milonita | C - Calcita F - Feldespato |

Los parámetros geomecánicos es una parte muy importante en la caracterización geotécnica, debido a que estos nos proporcionarán información esencial para el desarrollo de los métodos de equilibrio límite. Algunos de ellos son determinados mediante ensayos de laboratorio, mientras que otros son obtenidos por medio de la aplicación del criterio de rotura de (Hoek and Corkum 2002) generalizado.

En la Tabla 4.7 se presentan los parámetros necesarios y el método utilizado para determinarlos.

**Tabla 4.7 Parámetros del macizo y matriz rocosa con su respectivo método, Fuente: (Duncan, C WyllieChristopher 2004)**

| **Matriz Rocosa** | | **Macizo Rocoso** | |
|---|---|---|---|
| Parámetro | Método | Parámetro | Método |
| Esfuerzo de compresión simple | Ensayo de compresión simple | Factor de disturbancia ‘D’ | Observaciones en campo |
| Constante ‘mi’ | Ensayos triaxiales o tablas referencial (Tabla 4.8) | Módulo de deformación (Ei) | Criterio de rotura (Hoek and Corkum 2002) |
| Módulo de deformación (Ei) | Ensayo de compresión simple | Resistencia al corte | Criterio de rotura (Hoek and Corkum 2002), y uso de software RocLab. |
| Peso específico de roca intacta saturada y no saturada. | Humedad de la roca y medidas geométricas de la muestra regular. | Resistencia a la compresión | Criterio de rotura (Hoek and Corkum 2002), y uso de software RocLab. |

**Tabla 4.8 Estimación de la constante 'mi' según el tipo de roca, Fuente: (Duncan, C WyllieChristopher 2004).**

| Rock type | Class | Group | Texture | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Coarse | Medium | Fine | Very fine |
| SEDIMENTARY | Clastic | | Conglomerates (21±3)<br>Breccias (19±5) | Sandstones 17±4 | Siltstones 7±2<br>Greywackes (18±3) | Claystones 4±2<br>Shales (6±2)<br>Marls (7±2) |
| | Non-Clastic | Carbonates | Crystalline Limestone (12±3) | Sparitic Limestones (10±2) | Micritic Limestones (9±2) | Dolomites (9±3) |
| | | Evaporites | | Gypsum 8±2 | Anhydrite 12±2 | |
| | | Organic | | | | Chalk 7±2 |
| METAMORPHIC | Non foliated | | Marble 9±3 | Hornfels (19±4)<br>Metasandstone (19±3) | Quartzites 20±3 | |
| | Slightly foliated | | Migmatite (29±3) | Amphibolites 26±6 | Gneiss 28±5 | |
| | Foliated* | | | Schists 12±3 | Phyllites (7±3) | Slates 7±4 |
| IGNEOUS | Plutonic | Light | Granite 32±3<br>Granodiorite (29±3) | Diorite 25±5 | | |
| | | Dark | Gabbro 27±3<br>Norite 20±5 | Dolerite (16±5) | | |
| | Hypabyssal | | Porphyries (20±5) | | Diabase (15±5) | Peridotite (25±5) |
| | Volcanic | Lava | | Rhyolite (25±5)<br>Andesite 25±5 | Dacite (25±3)<br>Basalt (25±5) | Obsidian (19±3) |
| | | Pyroclastic | Agglomerate (19±3) | Breccia (19±5) | Tuff (13±5) | |

## 4.4 Cálculo de estabilidad

Existen muchas metodologías para el cálculo de estabilidad de talud. Sin embargo, los métodos más utilizados son numéricos, empíricos, equilibrio límite y cinemáticos. En nuestro caso de estudio se consideraron los tres últimos anteriormente mencionados.

El método cinemático fue posible realizarlo, ya que, únicamente considera datos netamente geométricos, los cuales fueron posibles de determinar mediante la topografía, medidas estructurales de buzamiento y dirección de buzamiento, y ensayos de laboratorio para obtener el ángulo de fricción interna, además nos indica que tipo de rotura puede ocurrir, resultando un dato muy importante para poder escoger los siguientes métodos empíricos y de equilibrio límite.

Debido a que nuestro estudio se trata de un talud de roca, los métodos empíricos más adecuados son el RMR, GSI y SMR, estos nos ayudan a determinar la calidad del macizo rocoso y nos da una recomendación del tipo de sostenimiento se debe utilizar en el talud, además toma en cuenta características como las propiedades de las discontinuidades, medidas estructurales, resistencia del macizo rocoso y litología, las cuales fueron posibles de recopilar mediante las estaciones geomecánicas y ensayos de laboratorio.

Los métodos de equilibrio límite se dividen para taludes de suelos y roca, este último se subdivide en métodos para rotura tipo planar, cuña, volcamiento y rotacional, por lo cual, es muy importante conocer qué tipo de rotura es la más probable que ocurra.

El método de Bishop Simplificado es el más utilizado en taludes de roca debido a que es practico de realizar comparado con el resto de los métodos que existen. La característica principal es que asume que todas las fuerzas cortantes, entre las dovelas, son cero. Se considero usar el método debido a que todos los datos que se requieren para su análisis fueron posibles de determinar.

Por último, los métodos numéricos no fueron considerados en nuestro estudio debido a que estos son muy complejos de utilizar, son no lineales, no considera las características de las discontinuidades y no permite modelar fracturas.

### 4.4.1 Análisis cinemático

Para este análisis se utilizó el software DIPS, en él se ingresaron datos estructurales lo cual nos permitió graficar los polos, densidad de polos y planos en una proyección estereográfica.

Mientras mayor sea la acumulación de polos es más probable es de que exista una familia de discontinuidad, esto nos permite identificar el número de familias que se encuentran en cada sitio crítico.

El software DIPS tiene una herramienta llamada 'Kinematic Analisis', que nos permitió analizar el tipo de rotura puede ocurrir, ya sea planar, en cuña o volcamiento. Para ello fue necesario ingresar datos del buzamiento y dirección de buzamiento del talud, así como el ángulo de fricción interna de las discontinuidades, en la Figura 4.2 se muestran los datos requeridos para realizar este tipo de análisis.

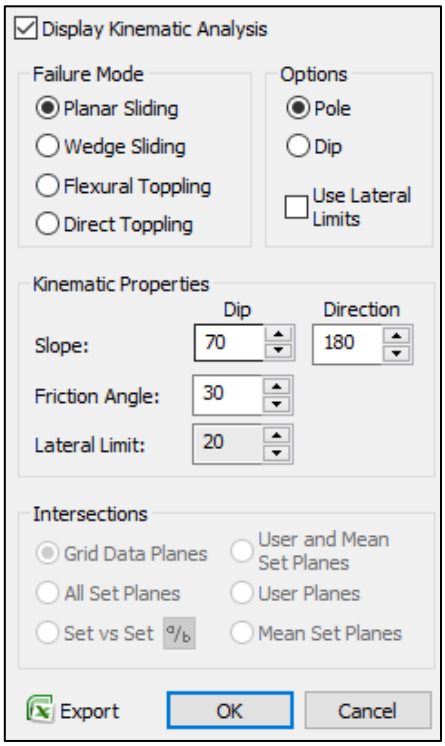



**Figura 4.2 Datos de entrada para análisis cinemático en software DIPS. Fuente: RocScience**

Una vez ingresado los datos, el software nos entrega como resultado un porcentaje que indica la probabilidad de que ocurra el tipo de rotura analizada y esto lo realiza considerando el número de polos que caen en la zona critica, determinada según los parámetros geométricos explicados en las secciones 3.1.5, 3.1.6, 3.1.7 y 3.1.8 para cada tipo de rotura.

### 4.4.2 Análisis mediante métodos empíricos

En nuestro proyecto se aplicaron tres métodos empíricos los cuales son; RMR, SMR y GSI. Cada uno de ellos realizaron mediante diferentes metodologías las cuales se describen a continuación.

- Rock Mass Rating

La valoración del RMR, nos permite conocer la calidad del macizo rocoso y poder clasificar aquellas zonas que tienen una mejor o peor calidad. Además, es un factor importante para obtener el índice del SMR.

Para determinar el RMR se utilizaron los resultados de las fichas de levantamiento geomecánico (Tabla 4.5 yTabla **4.6**), como son espaciado, continuidad, apertura, rugosidad, relleno y resistencia del martillo de Schmitt. Posteriormente se procedió a ponderar cada una de estas características utilizando la Tabla 3.3, dándonos como resultado un valor entre (0-100) que nos indica la calidad, cohesión y ángulo de rozamiento del macizo rocoso (Tabla 4.9).

**Tabla 4.9 Valoración RMR, Cohesión y ángulo de rozamiento según método de RMR, Fuente: (Gonzales de Vallejo 2002)**

| Clase | Calidad | Valoración RMR | Cohesión | Ángulo de rozamiento |
|---|---|---|---|---|
| I | Muy Buena | 100-81 | > 4 kg/cm² | > 45° |
| II | Buena | 80-61 | 3-4 kg/cm² | 35°-45° |
| III | Media | 60-41 | 2-3 kg/cm² | 25°-35° |
| IV | Mala | 40-21 | 1-2 kg/cm² | 15°-25° |
| V | Muy mala | < 20 | < 1 kg/cm² | < 15° |

- Slope Mass Rating

Los factores de corrección del SMR fueron calculados mediante la herramienta 'SMRTool', en ella se ingresan los datos de RMR básico, dirección de buzamiento y buzamiento del talud, así como de las discontinuidades, y el método de excavación aplicado (Figura 4.3).

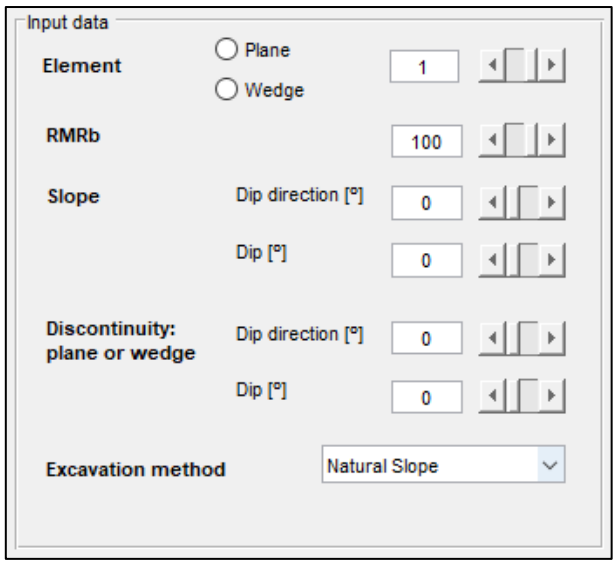



**Figura 4.3 Datos de entrada para cálculo del índice SMR, Fuente: SMRTool**

Este software nos presenta como resultado el valor del SMR, la clase, descripción, estabilidad, el tipo de rotura que puede ocurrir y la recomendación de soporte tal como se muestra en la Figura 4.4.

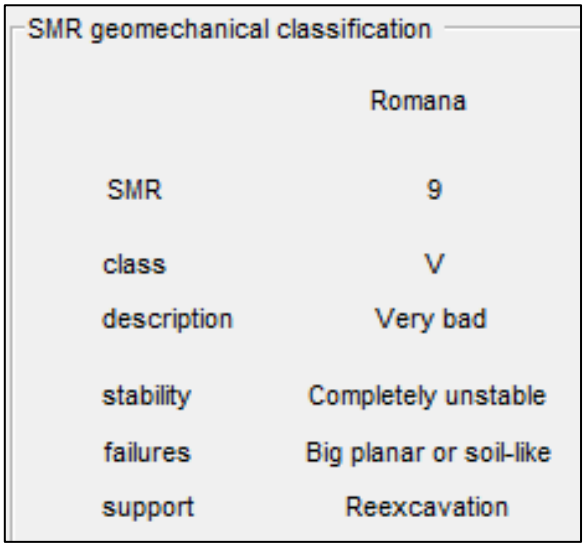



**Figura 4.4 Resultados de software SMRTool, Fuente: SMRTool**

- **GSI**

El valor del GSI fue determinado considerando la litología, estructura y las condiciones de las superficies de discontinuidades. El valor no es muy preciso, por lo que solamente se estima un rango de la Tabla 3.5 de la sección 3.3.1.3.

La determinación de este parámetro nos ayuda posteriormente a realizar los cálculos de los valores mb ((3.8), s ((3.9) y a ((3.10), del criterio de corte de (Hoek and Corkum 2002) generalizado.

### 4.4.3 Análisis mediante método de Bishop simplificado

El método de Bishop simplificado es un método iterativo y con cálculos muy extensos, por lo cual fue necesario utilizar un software que nos pueda ayudar a obtener los resultados correspondientes. El programa de Slide nos permite poder realizar estos cálculos, pero para ello fue necesario establecer parámetros generales, método, materiales y de la geometría del talud los cuales se detallan en la Tabla 4.10.

**Tabla 4.10 Datos de entrada en software Slide**

| **Datos de entrada** | | | |
|---|---|---|---|
| **Generales** | **Método** | **Material** | **Geometría del talud** |
| Coeficiente sísmico | Especificar el método, en nuestro análisis es el de Bishop simplificado. | Establecer el criterio de corte, en nuestro caso (Hoek and Corkum 2002) generalizado. | Perfil lateral del talud con sus respectivos materiales. |
| Tipo de superficie, circular o no circular. | Establecer el número de dovelas. | Peso específico del material saturado y no saturado. | Geometría de las estructuras cercanas. |
| Unidades de esfuerzo | Establecer la tolerancia. | Resistencia a la compresión simple del material. | |
| Dirección de falla | Establecer el número máximo de iteraciones. | Constantes s, a y mb del material. | |

Los valores de las constantes s, a y mb, se los obtiene mediante el uso del software RocLab. Ingresando datos de esfuerzo de resistencia a la compresión simple ‘sigci’,

GSI, mi, Factor de disturbancia ‘D’ y módulo de elasticidad de roca intacta ‘Ei’ (Figura 4.5).

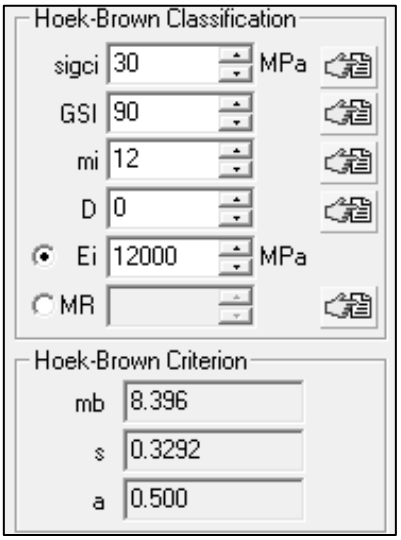



**Figura 4.5 Datos de entrada y resultados en software RocLab, Fuente: RocScience.**

# CAPÍTULO 5

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Caracterización Geológica

La geología de la zona de estudio se determinó mediante la descripción de núcleos de 3 perforaciones cercanas al talud ubicadas en las coordenadas mostradas en la Tabla 5.1. Además, se realizaron tres columnas estratigráficas y tres láminas delgadas, adjuntadas en la sección 8.2 y 8.3 de Anexos respectivamente, para poder detallar el cambio de litología que podría existir.

En general, las tres perforaciones tienen una misma litología que es andesita, variando en el tamaño de los cristales de plagioclasas, hornblendas y la textura, principalmente. Siendo la perforación PP-17 la que mejor conserva los minerales formadores e identificando claramente las plagioclasas, cuarzos y feldespatos alcalinos en la lámina de la muestra PP-17, dando como resultado una andesita.

La perforación PP-18 se conforma de una andesita con cristales de minerales formadores más pequeños, en comparación con la anterior perforación. En el análisis petrográfico se identificaron venillas de carbonatos y algunas estructuras como las sombras de presión que indican un grado de metamorfismo, que en este caso resulto bajo o muy leve, debido a que la muestra de mano no presenta estructuras de un metamorfismo muy marcado ni presencia de micas. Se debe de mencionar que no fue posible realizar una clasificación porcentual en la lámina delgada debido a que se presenta una alteración en los minerales.

La perforación PSC-01, se muestra una alternancia de fragmentos de andesita bien cristalizada con flujos de lava de composición andesitica, la lámina delgada de esta perforación muestra una alteración en los cristales de plagioclasas y feldespatos alcalinos, por lo cual no se pudo realizar la clasificación porcentual. Sin embargo, mediante la descripción de la muestra de mano se determinó que se trata de un flujo de lava de composición andesitica.

**Tabla 5.1 Ubicación de perforaciones**

| Perforaciones | Ubicación (Coordenadas UTM 17S) |
|---|---|
| PP-17 | X: 739319, Y:9684545 |
| PP-18 | X: 739393, Y:9684512 |
| PSC - 01 | X: 739599, Y:9684564 |

## 5.2 Caracterización Geotécnica

Los Mapa 5.1 Mapa 5.2 ,para el sitio criticó 1 y 2 respectivamente, muestran la ubicación de las estaciones geomecánicas. El área de estudio se clasificó en 9 zonas, considerando los cambios de coloración, textura, presencia de discontinuidades y alteración de la roca a lo largo del afloramiento estudiado. La descripción de cada una de estas zonas se encuentra en la Tabla 5.2. La ubicación de los estadios de la roca en el afloramiento se muestra en un perfil frontal (Figura 5.2) y en planta (Figura 5.1), donde se pueden apreciar los cambios en todo el afloramiento.

# MAPA DE ESTACIONES SITIO CRÍTICO 1

**Simbología**

- Perforaciones
- Estaciones

**Mapa 5.1 Ubicación de estaciones geomecánicas sitio crítico 1**

**Mapa 5.2 Ubicación de estaciones geomecánicas sitio crítico 2**

**Tabla 5.2 Descripción de zonas de meteorización**

| Zonas | Descripción |
|---|---|
| Zona 1 | Macizo rocoso de color gris oscuro con presencia de poca vegetación en la parte superior, las familias de discontinuidades tienen un espaciamiento aproximado de 1.0 m. El grado de meteorización es moderado debido a que menos de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto, la roca esta fresca y con pocas descoloraciones. |
| Zona 2 | Macizo rocoso de color gris oscuro, las familias de discontinuidades se encuentran más juntas, respecto a la zona anterior, tienen un espaciamiento aproximado de 0.5 – 1.0 m. Se encuentra moderadamente meteorizado, debido a que aún se puede observar la roca fresca y aun no se encuentra totalmente descompuesto el macizo rocoso, aparecen ciertas descoloraciones. |
| Zona 3 | Macizo rocoso de color marrón grisáceo, se presentan grandes caras de discontinuidades descubiertas en la parte frontal, los bloques tienen un tamaño considerable en la parte central, sin embargo, se encuentra más descompuesto en la parte inferior. El Macizo esta moderadamente meteorizado, en su mayoría presenta una estructura continua pero también existen zonas donde la roca se encuentra con descoloraciones y descompuesta. |
| Zona 4 | Macizo rocoso de color marrón claro – beige, en la parte superior se encuentra la roca descompuesta en un material fino el cual se desliza acumulándose en la parte inferior como pequeños conos de deyección, presenta un gran número de fracturas con un espaciamiento aproximado de 0.1 – 0.5 m, lo cual genera bloques pequeños. El macizo encuentra altamente meteorizado, ya que más de la mitad del rocoso aparece transformado en suelo. Además, se presenta la roca con descoloraciones y alteradas, sin embargo, aún se conservan ciertas zonas aisladas de roca fresca. |
| Zona 5 | Macizo rocoso de color gris claro, se presenta una meteorización moderada y gran número de fracturas. Se conserva en un gran porcentaje la roca fresca con ciertas descoloraciones de color oscuro. |
| Zona 6 | El macizo rocoso se encuentra fuertemente fracturado generando bloques pequeños, tiene un grado de meteorización alto parecido al de la zona 4, a diferencia de que esta zona presenta un menor porcentaje de roca descompuesta y aún conserva un porcentaje considerable de roca fresca en la |

| | |
|---|---|
| | parte inferior. Además, esta zona ha sido trabajada con maquinaria por lo que presenta una mayor meteorización que la zona 5 que se encuentra abajo. |
| Zona 7 | Macizo rocoso altamente meteorizado, presenta un gran porcentaje de descomposición de la roca en suelo y también existen bloques que amenazan con deslizarse en la parte superior del talud, algunos de ellos se encuentran acumulados en el pie del talud la dicha zona. Existen zonas donde la roca se encuentra fresca pero muy fracturada. |
| Zona 8 | Macizo rocoso de color gris oscuro, las familias de discontinuidades se encuentran muy marcadas y continúas generando grandes bloques, algunos de ellos han deslizado dando la formación de una zona cavernosa donde los bloques están próximos a deslizarse. El macizo se encuentra altamente meteorizado, ya que, en la parte superior se puede observar que la roca se ha descompuesto en suelo y también las caras de las discontinuidades se encuentran descoloridas y manchadas por alteraciones. |
| Zona 9 | Macizo rocoso fracturado con presencia de una leve vegetación en la parte frontal, las familias de discontinuidades se encuentran poco marcadas por la meteorización y el recubrimiento del suelo en la parte superficial. El macizo se encuentra ligeramente meteorizado ya que conserva en un mayor porcentaje la roca fresca. Sin embargo, existen zonas donde la roca se encuentra descolorida y alterada. |

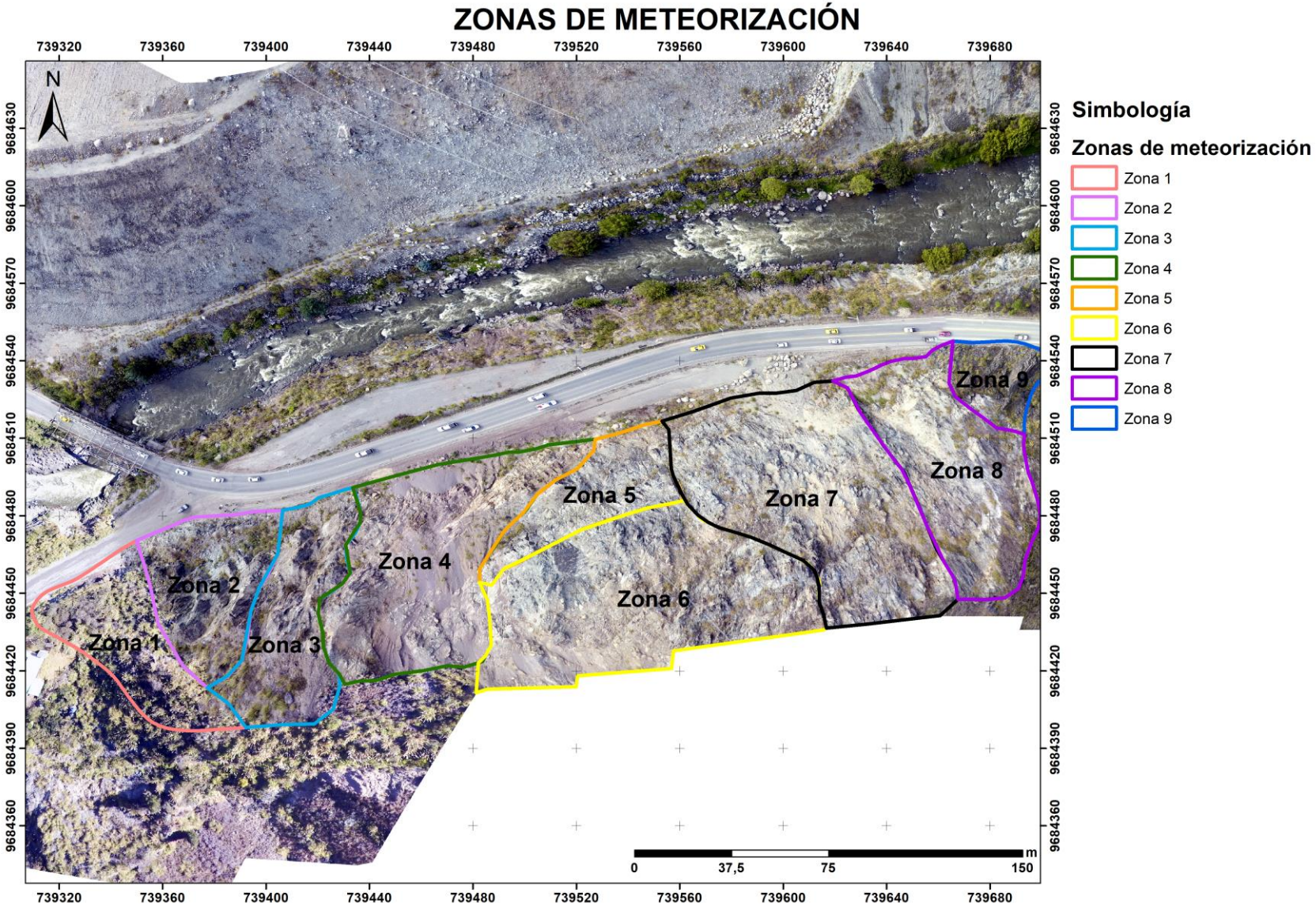



**Figura 5.1 Zonas de meteorización vista en planta**

## PERFIL VISTA FRONTAL SITIO CRÍTICO 1 Y 2

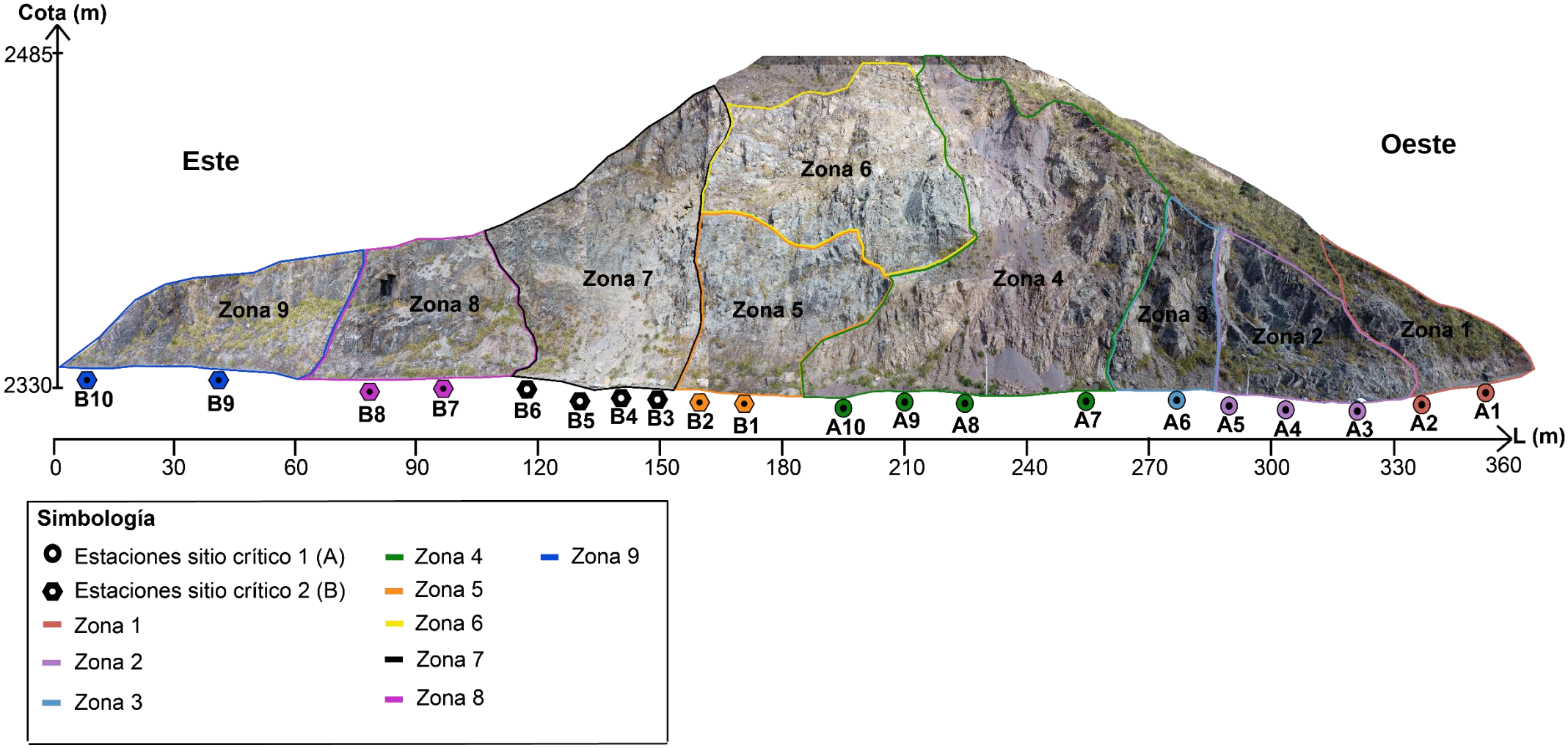



**Figura 5.2 Perfil vista frontal de zonas de meteorización**

### 5.2.1 Estaciones Geomecánicas

Los resultados de las estaciones geomecánicas se obtuvieron a partir de una visita de campo al afloramiento y descripción de características detalladas en las Tabla 4.5 y Tabla 4.6. Estos resultados se muestran en la sección 8.4 de anexos, y en las tablas Tabla 5.3Tabla 5.4 se muestran considerando las zonas de meteorización descritas en la Tabla 5.2. A cada una de las zonas le corresponden estaciones geomecánicas, que se ubican en la parte inferior del talud, a excepción de la zona 6 que debido a su ubicación en la parte superior no fue posible realizar estaciones cercanas a ella, por tal motivo, para los cálculos de los métodos empíricos se considera un 25% menos que los resultados de la zona 5, debido a que esta es la zona más cercana y se pudo observar claramente que existe un menor fracturamiento que en la zona 6.

Los datos por cada estación geomecánica llegan a ser hasta 25, por lo cual, se procedió a promediar o considerar la condición más desfavorable para obtener un solo resultado representativo por cada estación, de esta manera se consigue homogenizar todos los datos siendo más fácil de procesar e interpretar.

**Tabla 5.3 Estaciones geomecánicas sitio crítico 1**

| | | Sitio crítico 1 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ZONA 1 | | ZONA 2 | | | ZONA 3 | ZONA 4 | | | |
| Parametro \ Estación | | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | A8 | A9 | A10 |
| Qu (Mpa) | | 55 | 48 | 42 | 41 | 66 | 47 | 47 | 52 | 75 | 57 |
| RQD (%) | | 58 | 65 | 62 | 66 | 67 | 49 | 48 | 42 | 19 | 26 |
| Separación (m) | | 0.20 - 0.60 | 0.20 - 0.60 | 0.20 - 0.60 | 0.20 - 0.60 | 0.20 - 0.60 | 0.02-0.06 | 0.02-0.06 | 0.02-0.06 | 0.02-0.06 | 0.02-0.06 |
| Estado de las discontinuidades | Continuidad (m) | 10 - 20 | >20 | 10 - 20 | >20 | >20 | >20 | >20 | >20 | 10 - 20 | 10 - 20 |
| | Abertura (mm) | 1 - 5 | 1 - 5 | 1 - 5 | 1 - 5 | 1 - 5 | 1 - 5 | >5 | >5 | 1 - 5 | 1 - 5 |
| | Rugosidad | Ondulada | Ondulada | Ondulada | Ligeramente rugosa | Ligeramente rugosa | Ondulada | Rugosa | Ondulada | Muy rugosa | Muy rugosa |
| | Relleno (mm) | Duro <5 | Duro <5 | Duro <5 | Duro <5 | Duro <5 | Duro <5 | Duro <5 | Duro <5 | Duro <5 | Duro <5 |
| | Alteración) | Moderada | Moderada | Moderada | Moderada | Moderada | Moderada | Altamente | Altamente | Altamente | Altamente |
| Presencia de Agua | | Húmedo | Húmedo | Húmedo | Húmedo | Húmedo | Húmedo | Húmedo | Húmedo | Húmedo | Húmedo |

**Tabla 5.4 Estaciones geomecánicas sitio crítico 2**

| | | Sitio crítico 2 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ZONA 5 | | ZONA 7 | | | | ZONA 8 | | ZONA 9 | |
| Parametro \ Estacuón | | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | B7 | B8 | B9 | B10 |
| Qu (Mpa) | | 36 | 40 | 39 | 32 | 37 | 32 | 28 | 28 | 32 | 31 |
| RQD (%) | | 44 | 52 | 46 | 40 | 46 | 46 | 38 | 44 | 40 | 46 |
| Separación (m) | | 0.02-0.06 | 0.02-0.06 | 0.02-0.06 | < 0.06 | 0.02-0.06 | 0.02-0.06 | 0.02-0.06 | 0.02-0.06 | 0.02-0.06 | 0.2-0.6 |
| Estado de las discontinuidades | Continuidad (m) | >20 | >20 | >20 | >20 | >20 | >20 | 10 - 20 | 10 - 20 | >20 | >20 |
| | Abertura (mm) | 0.1-1.0 | 0.1-1.0 | 0.1-1.0 | 0.1-1.0 | 0.1-1.0 | >5 | 1 - 5 | 1 - 5 | >5 | >5 |
| | Rugosidad | Rugosa | Ondulada | Ondulada | Ligeramente rugosa | Ondulada | Ondulada | Rugosa | Rugosa | Rugosa | Rugosa |
| | Relleno (mm) | Duro <5 | Duro <5 | Duro <5 | Duro <5 | Duro <5 | Duro <5 | Blando <5 | Blando <5 | Duro <5 | Duro <5 |
| | Alteración) | Moderada | Moderada | Altamente | Altamente | Altamente | Altamente | Altamente | Altamente | Ligeramente | Ligeramente |
| Presencia de Agua | | Húmedo | Húmedo | Húmedo | Húmedo | Húmedo | Húmedo | Húmedo | Húmedo | Húmedo | Húmedo |

### 5.2.2 Medidas estructurales

Las medidas de buzamiento y dirección de buzamiento obtenidas en campo de cada estación geomecánica se presentan en la sección 8.4 de anexos. A continuación, se muestran las medidas estructurales representadas en el estereograma, obteniendo como resultado las familias principales y secundarias de cada una de las zonas de meteorización según la densidad de polos.

| ZONA 1 | | | |
|---|---|---|---|
| Familias | | Buzamiento | D. Buzamiento |
| Principales | J1 | 72 | 52 |
| Secundarias | J2 | 55 | 149 |
| | J3 | 48 | 277 |

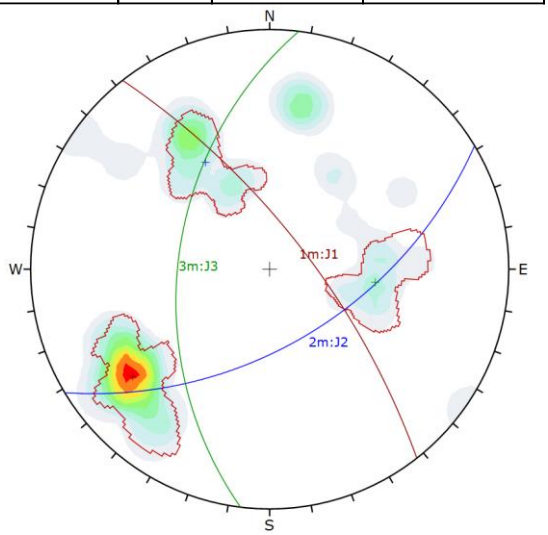



**Figura 5.3 Estereograma zona 1**

| ZONA 2 | | | |
|---|---|---|---|
| Familias | | Buzamiento | D. Buzamiento |
| Principales | J1 | 62 | 179 |
| | J2 | 66 | 41 |
| Secundarias | J3 | 84 | 137 |

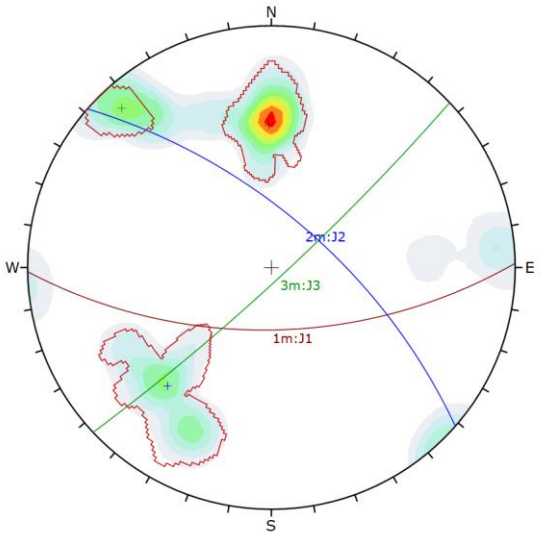



**Figura 5.4 Estereograma zona 2.**

| ZONA 3 | | | |
|---|---|---|---|
| Familias | | Buzamiento | D. Buzamiento |
| Principales | J1 | 80 | 306 |
| Secundarias | J2 | 84 | 65 |
| | J3 | 45 | 157 |

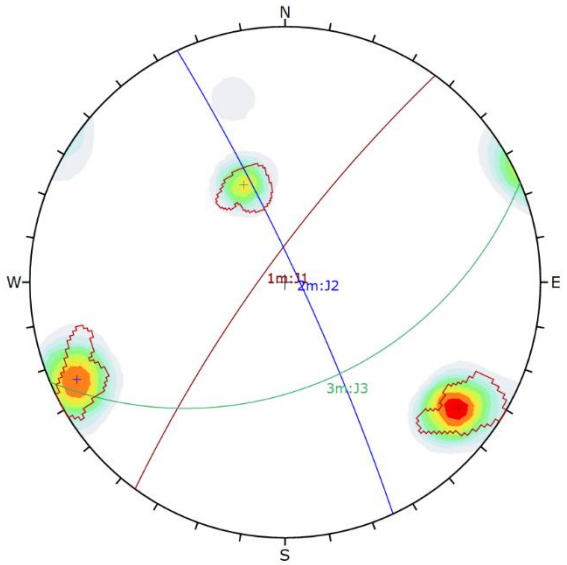



**Figura 5.5 Estereograma zona 3**

| ZONA 4 | | | |
|---|---|---|---|
| Familias | | Buzamiento | D. Buzamiento |
| Principales | J1 | 13 | 186 |
| | J2 | 85 | 301 |
| | J3 | 74 | 10 |
| Secundarias | J4 | 56 | 121 |

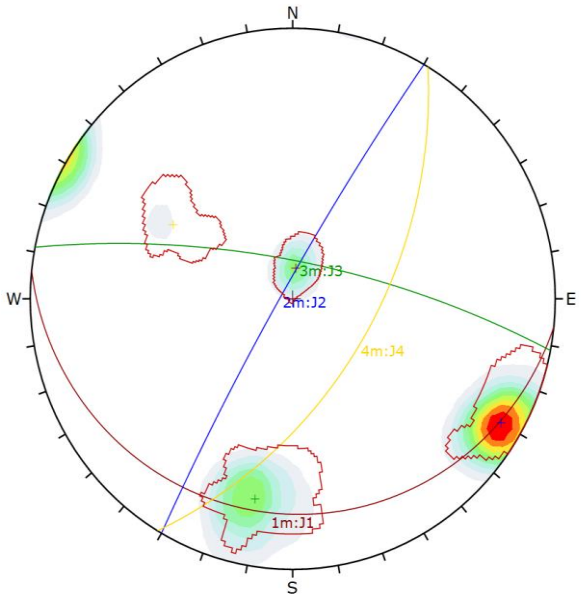



**Figura 5.6 Estereograma zona 4.**

| ZONA 5 | | | |
|---|---|---|---|
| **Familias** | | **Buzamiento** | **D. Buzamiento** |
| Principales | J1 | 17 | 80 |
| | J2 | 72 | 47 |
| Secundarias | J3 | 66 | 321 |
| | J4 | 77 | 139 |

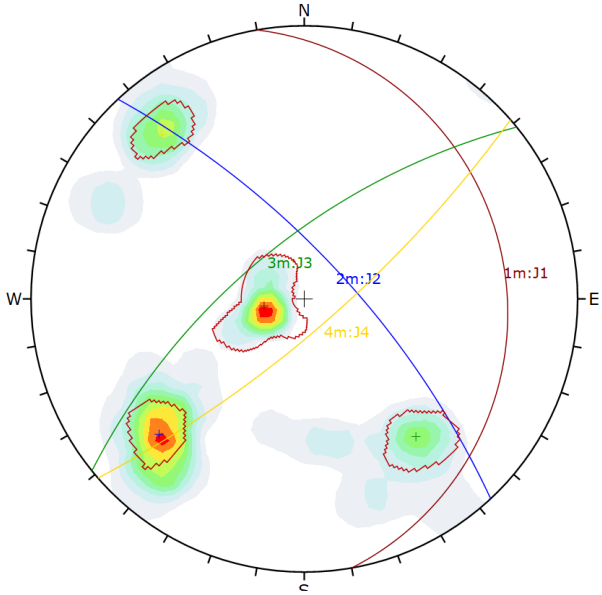



**Figura 5.7 Estereograma zona 5.**

| ZONA 7 | | | |
|---|---|---|---|
| **Familias** | | **Buzamiento** | **D. Buzamiento** |
| Principales | J1 | 27 | 352 |
| Secundarias | J2 | 71 | 121 |
| | J3 | 28 | 236 |

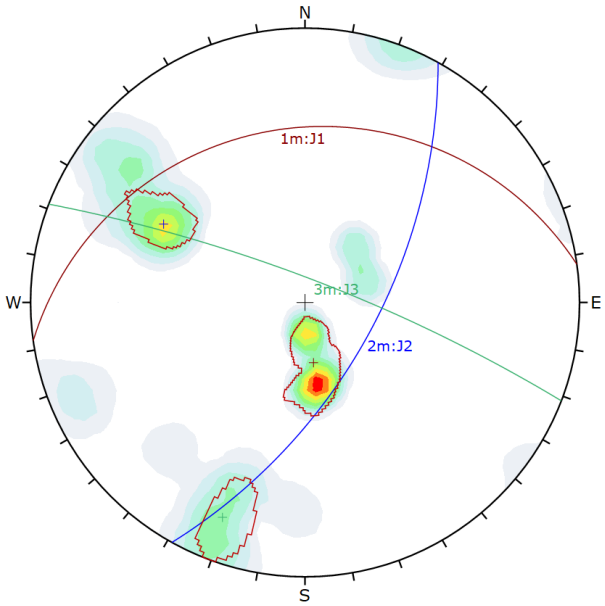



**Figura 5.8 Estereograma zona 7.**

| ZONA 8 | | | |
|---|---|---|---|
| Familias | | Buzamiento | D. Buzamiento |
| Principales | J1 | 31 | 356 |
| | J2 | 80 | 10 |
| Secundarias | J3 | 68 | 114 |

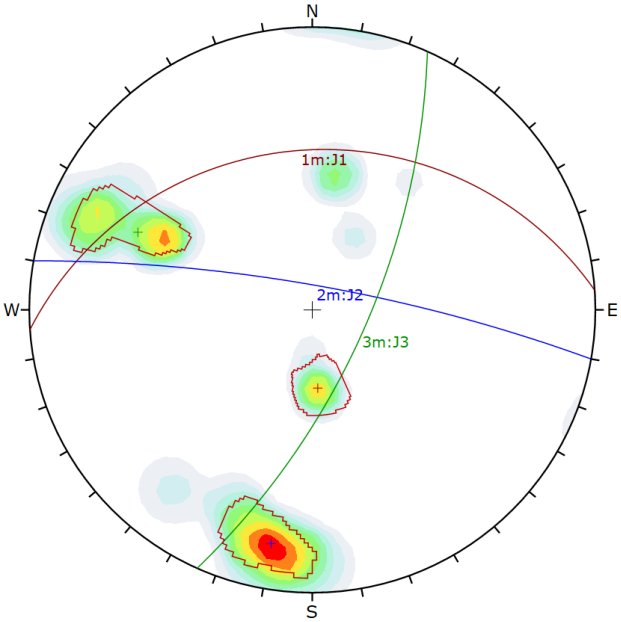



**Figura 5.9 Estereograma zona 8.**

| ZONA 9 | | | |
|---|---|---|---|
| Familias | | Buzamiento | D. Buzamiento |
| Principales | J1 | 81 | 16 |
| | J2 | 62 | 329 |
| Secundarias | J3 | 56 | 104 |

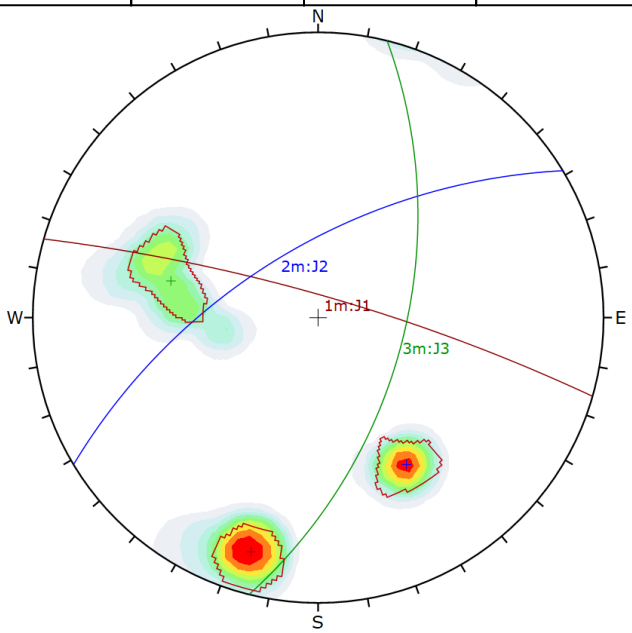



**Figura 5.10 Estereograma zona 9.**

Para el análisis a una escala completa del sitio critico 1 y 2, se agregaron todas las familias de discontinuidades correspondientes en un estereograma los cuales se presentan a continuación.

| Sitio crítico 1 | | | |
|---|---|---|---|
| Familias | | Buzamiento | D. Buzamiento |
| Principales | J1 | 71 | 55 |
| | J2 | 71 | 186 |
| Secundarias | J3 | 70 | 4 |
| | J4 | 62 | 139 |
| | J5 | 19 | 186 |

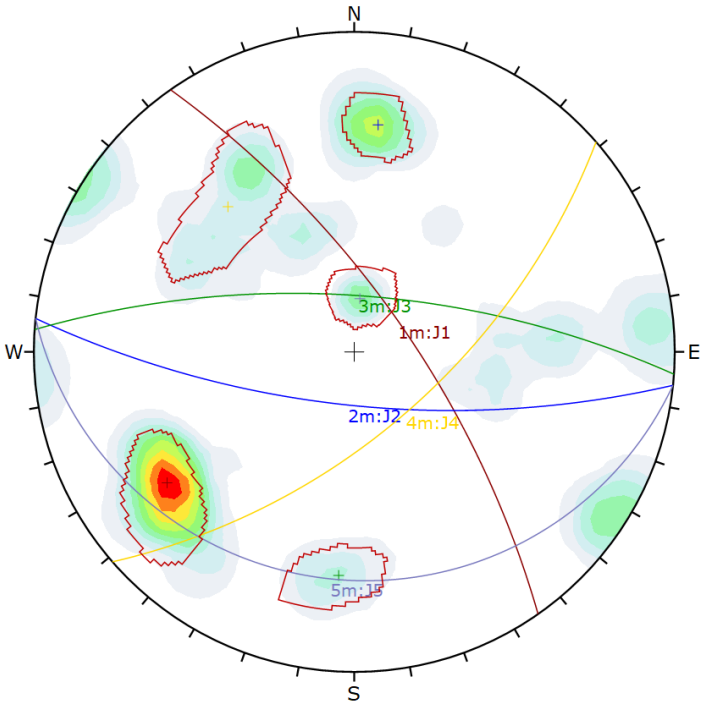



**Figura 5.11 Estereograma sitio crítico 1**

| Sitio crítico 2 | | | |
|---|---|---|---|
| Familias | | Buzamiento | D. Buzamiento |
| Principales | J1 | 60 | 116 |
| | J2 | 26 | 353 |
| | J3 | 62 | 328 |
| Secundarias | J4 | 28 | 232 |
| | J5 | 79 | 16 |
| | J6 | 74 | 42 |

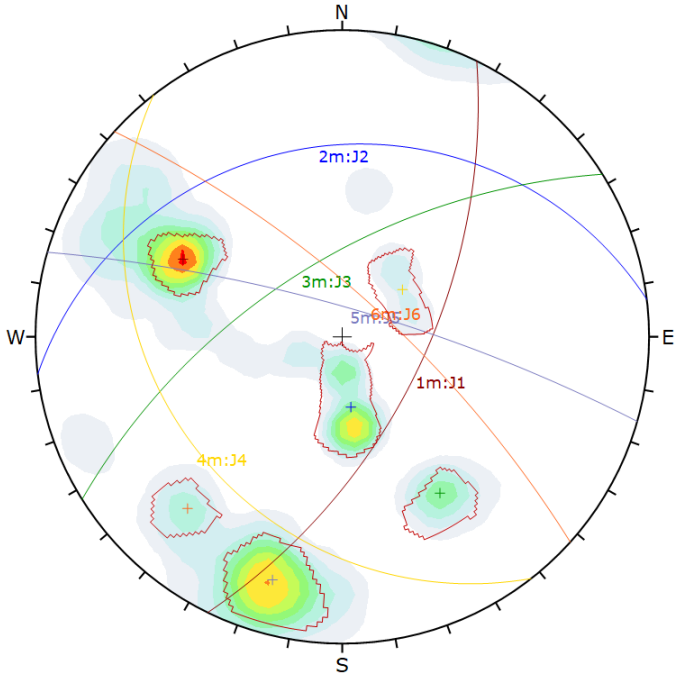



**Figura 5.12 Estereograma sitio crítico 2**

## 5.3 Análisis de estabilidad

### 5.3.1 Análisis cinemático

El análisis cinemático se lo realizo para cada zona de meteorización dando un porcentaje de falla para cada tipo de rotura. El ángulo de fricción básico de referencia en la andesita es de 45° (Figura 5.13), sin embargo, para el análisis se utilizó un ángulo de 40°, debido a que la roca no está completamente sana.

| Roca | Ángulo de fricción básico $\phi_b$ (grados) |
|---|---|
| Andesita | 45 |
| Arenisca | 30 - 50 |
| Basalto | 48 – 55 |
| Caliza | 35 – 50 |
| Caliza Margosa | 30 |
| Cuarcita | 40 – 55 |
| Diabasa | 40 – 50 |
| Diorita | 50 – 55 |
| Dolomía | 25 – 35 |

**Figura 5.13 Ángulos de fricción de referencia, Fuente:(Gonzales de Vallejo 2002)**

A continuación se muestran las Tabla 5.5, Tabla **5.6**,Tabla **5.7** yTabla **5.8** presentan los porcentajes de polos totales que caen en la zona critica, mostrando una probabilidad de falla para cada tipo de rotura, en la sección 8.5 más adelante de anexos se muestran los estereogramas con la representación geométrica de cada uno de los tipos de rotura.

**Tabla 5.5 Porcentaje de tipos de rotura zona 1 y 2**

| **Zona** | **Zona 1** | | | **Zona 2** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Tipo de rotura** | Planar | Cuña | Volcamiento o caida de bloques | Planar | Cuña | Volcamiento o caida de bloques |
| **Porcentaje %** | 0 | 4 | **33** | 0 | 4 | **41** |
| **D.Buz talud** | 324 | | | | | |
| **Buz talud** | 64 | | | | | |

**Tabla 5.6 Porcentaje de tipos de rotura zona 3 y 4**

| **Zona** | **Zona 3** | | | **Zona 4** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Tipo de rotura** | Planar | Cuña | Volcamiento o caida de bloques | Planar | Cuña | Volcamiento o caida de bloques |
| **Porcentaje %** | 0 | 1 | **30** | 0 | 3 | **6** |
| **D.Buz talud** | 324 | | | | | |
| **Buz talud** | 64 | | | | | |

**Tabla 5.7 Porcentaje de tipos de rotura zona 5 y 6**

| Zona | Zona 5 | | | Zona 6 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Tipo de rotura | Planar | Cuña | Volcamiento o caida de bloques | Planar | Cuña | Volcamiento o caida de bloques |
| Porcentaje % | 2 | 5 | 12 | 2 | 5 | 12 |
| D.Buz talud | 336 | | | | | |
| Buz talud | 58 | | | | | |

**Tabla 5.8 Porcentaje de tipos de rotura zona 7, 8 y 9**

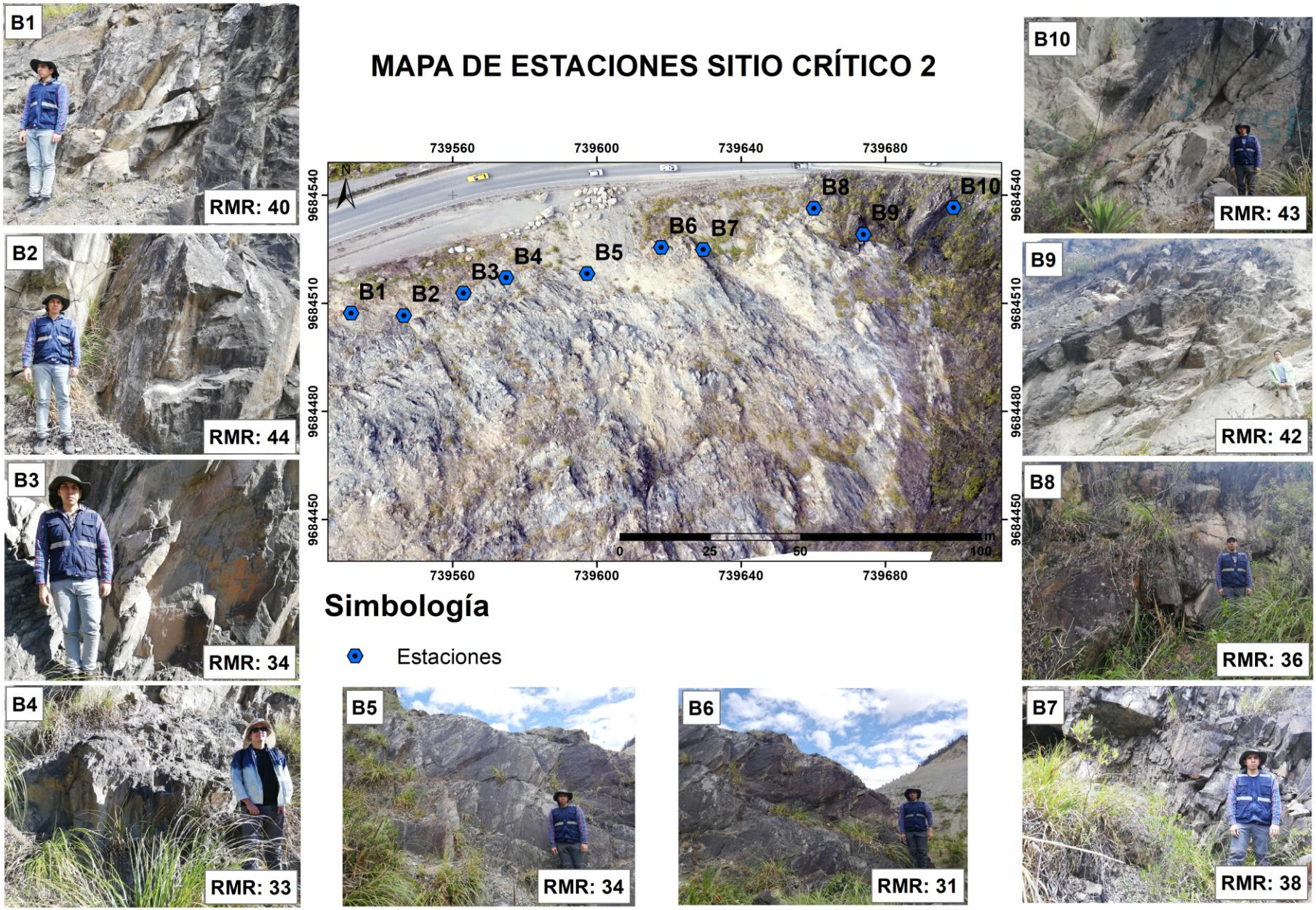
| Zona | Zona 7 | | | Zona 8 | | | Zona 9 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tipo de rotura | Planar | Cuña | Volcamiento o caida de bloques | Planar | Cuña | Volcamiento o caida de bloques | Planar | Cuña | Volcamiento o caida de bloques |
| Porcentaje % | 0 | 1 | 16 | 0 | 1 | 28 | 2 | 3 | 24 |
| D.Buz talud | 336 | | | | | | | | |
| Buz talud | 58 | | | | | | | | |

### 5.3.2 Análisis métodos empíricos

#### 5.3.2.1 Rock Mass Rating 'RMR'

El cálculo del RMR se realizó para cada estación geomecánica, posteriormente a ello se procedió a escoger el menor valor correspondiente a cada zona de meteorización, con el objetivo de analizar el escenario más desfavorable. Los Mapa 5.3 Mapa 5.4 muestran la ubicación de cada una de las estaciones para cada sitio crítico, en los cuales se incluye una fotografía del afloramiento perteneciente, con el valor del RMR obtenido. En las Tabla 5.9 Tabla 5.10, se muestra las valoraciones detalladas para el sitio critico 1 y 2 respectivamente. Mientras que en la Figura 5.14 se presenta un perfil frontal con la clasificación según la calidad del macizo rocoso, la cual varia de mala en la zona central y media en sus extremos.

**Mapa 5.3 RMR de las estaciones del sitio crítico 1**




Mapa 5.4 RMR de las estaciones del sitio crítico 1

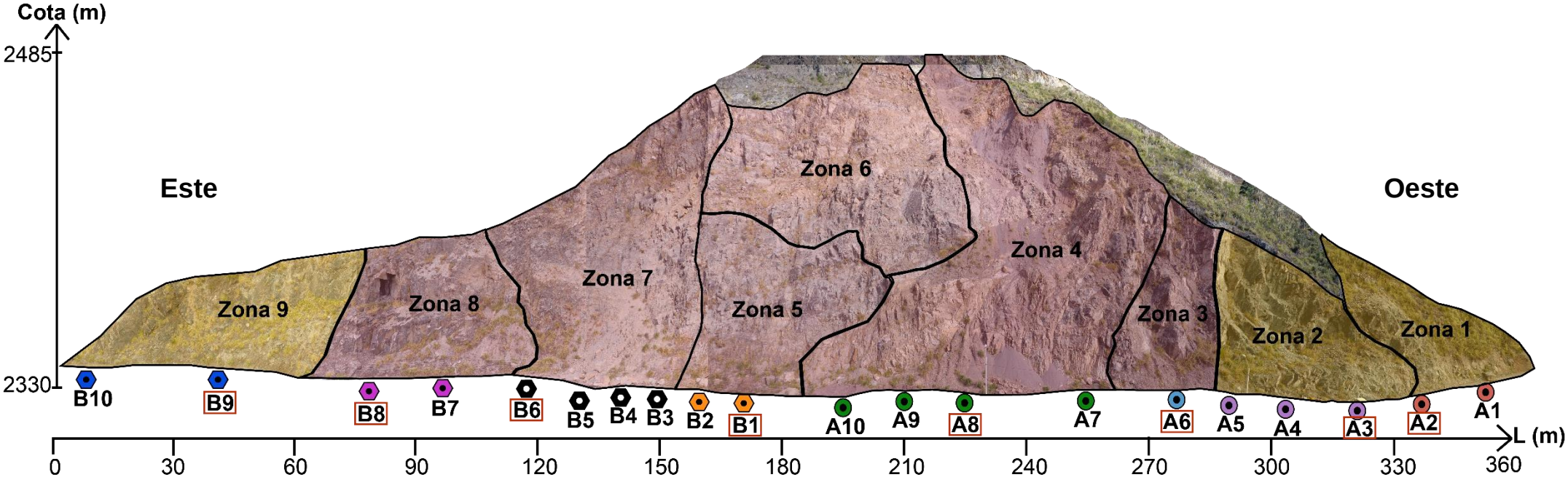
## Tabla 5.9 Valoraciones sitio crítico 1

| | | Sitio crítico 1 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ZONA 1 | | ZONA 2 | | | ZONA 3 | ZONA 4 | | | |
| Parametro / Estación | | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | A8 | A9 | A10 |
| Qu (Mpa) | | 6 | 5 | 5 | 5 | 7 | 5 | 5 | 6 | 8 | 6 |
| RQD | | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 6 | 6 | 6 | 3 | 6 |
| Separación (m) | | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Estado de las discontinuidades | Continuidad (m) | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | Abertura (mm) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | Rugosidad | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 1 | 5 | 1 | 6 | 6 |
| | Relleno (mm) | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| | Alteración) | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Presencia de Agua | | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| RMR | | 46 | 44 | 45 | 46 | 48 | 35 | 36 | 33 | 39 | 40 |

## Tabla 5.10 Valoraciones sitio crítico 2

| | | Sitio crítico 2 | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ZONA 5 | | ZONA 6 | ZONA 7 | | | | ZONA 8 | | ZONA 9 | |
| Parametro / Estación | | B1 | B2 | | B3 | B4 | B5 | B6 | B7 | B8 | B9 | B10 |
| Qu (Mpa) | | 4 | 5 | Menos 25% zona 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| RQD | | 6 | 13 | | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Separación (m) | | 8 | 8 | | 8 | 5 | 8 | 8 | 8 | 8 | 10 | 10 |
| Estado de las discontinuidades | ontinuidad (m | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| | bertura (mm | 3 | 3 | | 3 | 3 | 3 | 0 | 5 | 3 | 0 | 0 |
| | Rugosidad | 5 | 1 | | 1 | 3 | 1 | 1 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| | Relleno (mm) | 4 | 4 | | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 2 | 4 | 4 |
| | Alteración) | 3 | 3 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 5 |
| Presencia de Agua | | 7 | 7 | | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| RMR | | 40 | 44 | 30 | 34 | 33 | 34 | 31 | 38 | 36 | 42 | 43 |

## PERFIL VISTA FRONTAL SITIO CRÍTICO 1 Y 2




**Simbología**

- Estaciones sitio crítico 1 (A)
- Estaciones sitio crítico 2 (B)
- Zona 1
- Zona 2
- Zona 3
- Zona 4
- Zona 5
- Zona 6
- Zona 7
- Zona 8
- Zona 9
- RMR más bajo por Zona
- Calidad media
- Calidad Mala

**RMR**

| Sitio crítico 1 (A) | | Sitio crítico 2 (B) | |
|---|---|---|---|
| A1: 46 | A6: 35 | B1: 40 | B6: 31 |
| A2: 44 | A7: 36 | B2: 44 | B7: 38 |
| A3: 45 | A8: 33 | B3: 34 | B8: 36 |
| A4: 46 | A9: 39 | B4: 33 | B9: 42 |
| A5: 48 | A10: 40 | B5: 34 | B10: 43 |

**Figura 5.14 Clasificación del RMR por calidad del sitio crítico 1 y 2**

#### 5.3.2.2 Slope Mass Rating 'SMR'

El cálculo del SMR se lo realizó con respecto a cada zona de meteorización, tomando en cuenta los datos de las principales familias de discontinuidades y RMR básico de cada zona. Posteriormente a ello se determinó el método de sostenimiento recomendado según la Tabla 3.4 de la sección 3.3.1.2.

En la Tabla 5.11 se muestran los resultados por zonas de meteorización y con rojo se encuentra marcado el SMR más bajo de cada zona. Mientras que en Tabla 5.12 se encuentran las medidas de sostenimiento recomendadas para cada sector.

En la Figura 5.15 , se muestra una vista frontal representando con colores rojos y amarillo la clase de cada zona, que en general se presenta con una calidad mala y muy mala.

## Tabla 5.11 Resultado de valoración del SMR

| ZONA 1 | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Familia** | **DB** | **Buzamiento** | **RMR** | **Tipo de Fallo** | **F1** | **F2** | **F3** | **F4** | **SMR** | **Clase** |
| **J1** | **52** | **72** | **44** | **Cuña/Planar** | **0.15** | **1** | **-6** | **0** | **43** | **III-Normal** |
| **TALUD** | **324** | **64** | | | | | | | | |

| ZONA 2 | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Familia** | **DB** | **Buzamiento** | **RMR** | **Tipo de Fallo** | **F1** | **F2** | **F3** | **F4** | **SMR** | **Clase** |
| **J1** | **179** | **62** | **45** | **Volcamiento** | **0.15** | **1** | **-25** | **0** | **41** | **III-Normal** |
| J2 | 41 | 66 | 45 | Cuña/Planar | 0.15 | 1 | -6 | 0 | 44 | III-Normal |
| **TALUD** | **324** | **64** | | | | | | | | |

| ZONA 3 | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Familia** | **DB** | **Buzamiento** | **RMR** | **Tipo de Fallo** | **F1** | **F2** | **F3** | **F4** | **SMR** | **Clase** |
| **J1** | **306** | **80** | **35** | **Cuña/Planar** | **0.7** | **1** | **0** | **0** | **35** | **IV- Mala** |
| **TALUD** | **324** | **64** | | | | | | | | |

| ZONA 4 | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Familia** | **DB** | **Buzamiento** | **RMR** | **Tipo de Fallo** | **F1** | **F2** | **F3** | **F4** | **SMR** | **Clase** |
| J1 | 186 | 13 | 33 | Volcamiento | 0.15 | 1 | 0 | 0 | 33 | IV- Mala |
| J2 | 301 | 85 | 33 | Cuña/Planar | 0.4 | 1 | 0 | 0 | 33 | IV- Mala |
| **J3** | **10** | **74** | **33** | **Cuña/Planar** | **0.15** | **1** | **-6** | **0** | **32** | **IV- Mala** |
| **TALUD** | **324** | **64** | | | | | | | | |

| ZONA 5 | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Familia** | **DB** | **Buzamiento** | **RMR** | **Tipo de Fallo** | **F1** | **F2** | **F3** | **F4** | **SMR** | **Clase** |
| **J1** | **80** | **17** | **40** | **Volcamiento** | **0.15** | **1** | **0** | **0** | **40** | **IV- Mala** |
| J2 | 47 | 72 | 40 | Cuña/Planar | 0.15 | 1 | 0 | 0 | 40 | IV- Mala |
| **TALUD** | **336** | **58** | | | | | | | | |

| ZONA 6 | | |
|---|---|---|
| Menos 25% de zona 5 | **SMR** | **Clase** |
| | **30** | **IV- Mala** |

| ZONA 7 | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Familia** | **DB** | **Buzamiento** | **RMR** | **Tipo de Fallo** | **F1** | **F2** | **F3** | **F4** | **SMR** | **Clase** |
| **J1** | **352** | **27** | **31** | **Cuña/Planar** | **0.7** | **0.4** | **-60** | **0** | **14** | **V-Muy Mala** |
| **TALUD** | **336** | **58** | | | | | | | | |

| ZONA 8 | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Familia** | **DB** | **Buzamiento** | **RMR** | **Tipo de Fallo** | **F1** | **F2** | **F3** | **F4** | **SMR** | **Clase** |
| **J1** | **356** | **31** | **36** | **Cuña/Planar** | **0.4** | **0.7** | **-60** | **0** | **19** | **V-Muy Mala** |
| J2 | 10 | 80 | 36 | Volcamiento | 0.15 | 1 | 0 | 0 | 36 | IV- Mala |
| **TALUD** | **336** | **58** | | | | | | | | |

| ZONA 9 | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Familia** | **DB** | **Buzamiento** | **RMR** | **Tipo de Fallo** | **F1** | **F2** | **F3** | **F4** | **SMR** | **Clase** |
| J1 | 16 | 81 | 42 | Volcamiento | 0.15 | 1 | 0 | 0 | 42 | III-Normal |
| **J2** | **329** | **62** | **42** | **Cuña/Planar** | **0.85** | **1** | **-6** | **0** | **36** | **IV- Mala** |
| **TALUD** | **336** | **58** | | | | | | | | |

**Tabla 5.12 Recomendaciones de método de sostenimiento**

| Zonas meteorizadas | SMR | Tipo | Método |
|---|---|---|---|
| **Zona 1** | 43 | Hormigón | Hormigón proyectado o dental/ Contrafuertes y,o vigas/ Muros de pie |
| | | Refuerzos | Bulones, Anclajes |
| **Zona 2** | 41 | Hormigón | Hormigón proyectado o dental/ Contrafuertes y,o vigas/ Muros de pie |
| | | Refuerzos | Bulones, Anclajes |
| **Zona 3** | 35 | Hormigón | Hormigón proyectado o dental/ Contrafuertes y,o vigas/ Muros de pie |
| | | Refuerzos | Bulones, Anclajes |
| **Zona 4** | 32 | Hormigón | Hormigón proyectado o dental/ Contrafuertes y,o vigas/ Muros de pie |
| | | Refuerzos | Bulones, Anclajes |
| **Zona 5** | 40 | Hormigón | Hormigón proyectado o dental/ Contrafuertes y,o vigas/ Muros de pie |
| | | Refuerzos | Bulones, Anclajes |
| **Zona 6** | 30 | Hormigón | Hormigón proyectado o dental/ Contrafuertes y,o vigas/ Muros de pie |
| | | Refuerzos | Bulones, Anclajes |
| **Zona 7** | 14 | Reexcavación | Reexcavación / Muros de contención |
| **Zona 8** | 19 | Reexcavación | Reexcavación / Muros de contención |
| **Zona 9** | 36 | Hormigón | Hormigón proyectado o dental/ Contrafuertes y,o vigas/ Muros de pie |
| | | Refuerzos | Bulones, Anclajes |

## PERFIL VISTA FRONTAL SITIO CRÍTICO 1 Y 2

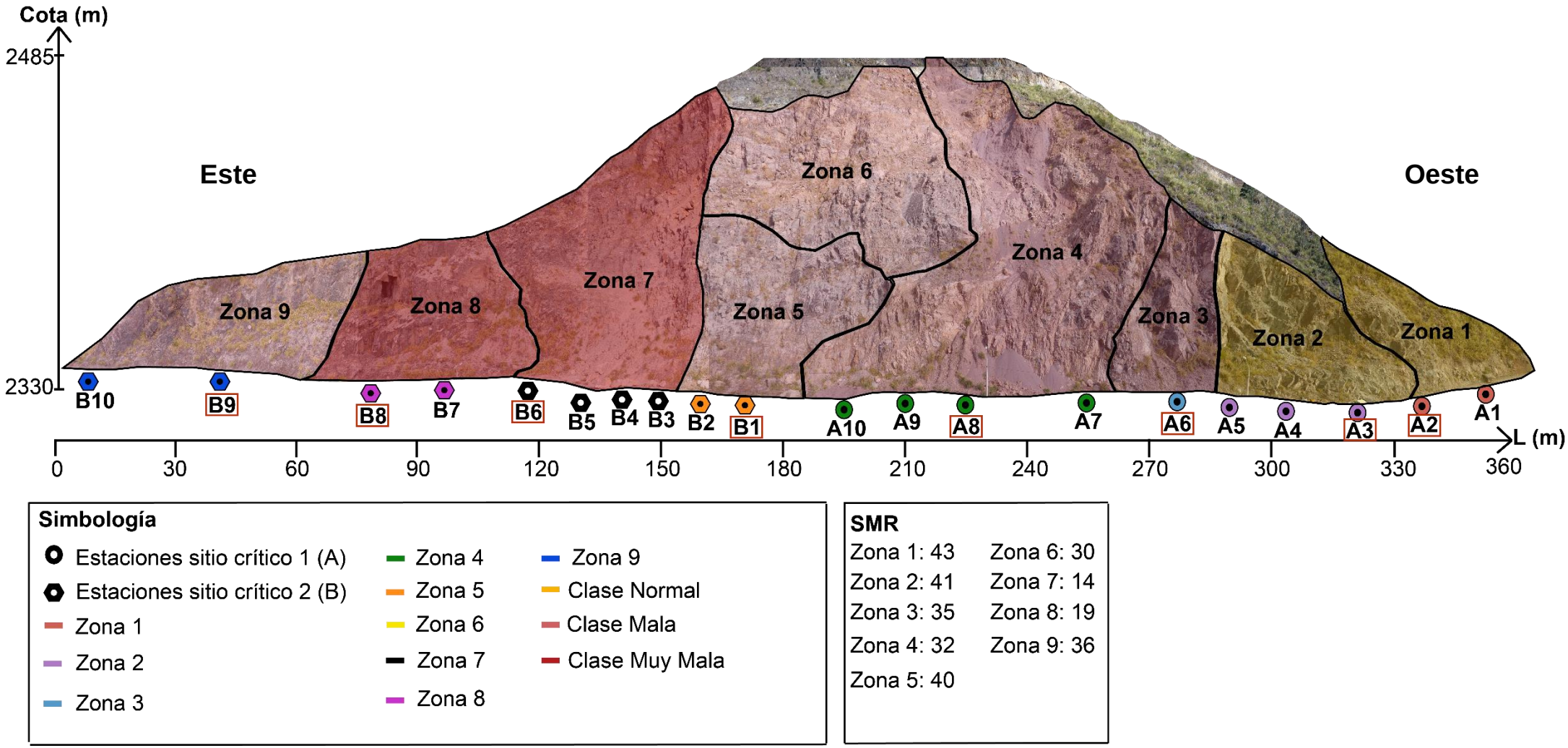
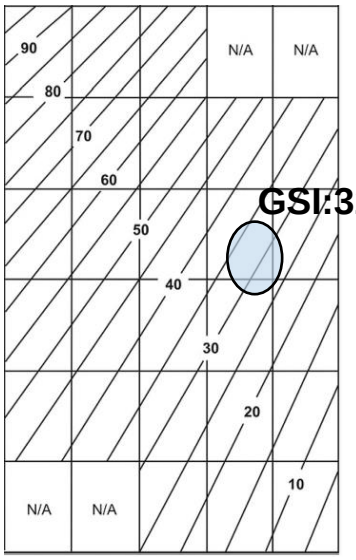
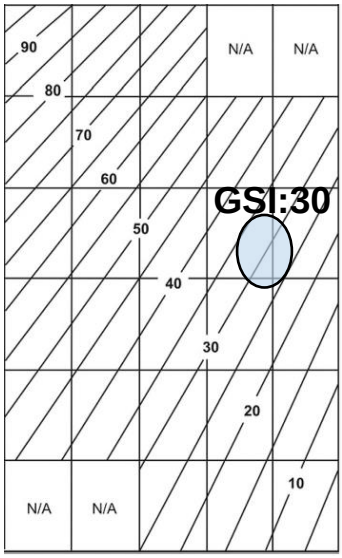


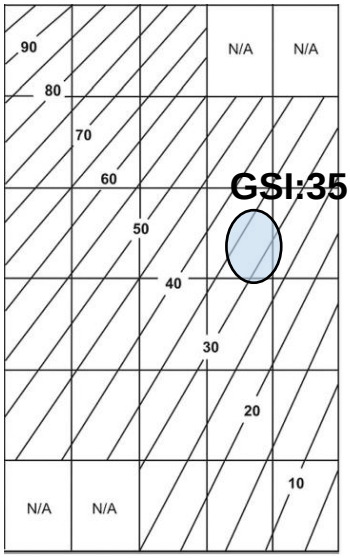
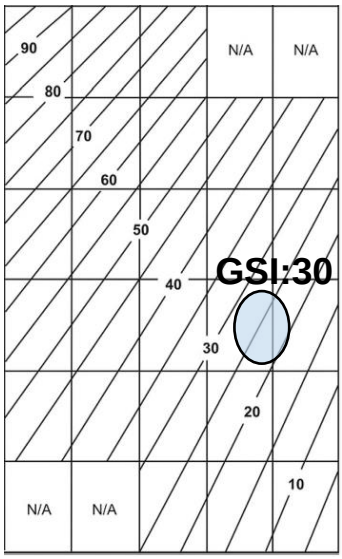
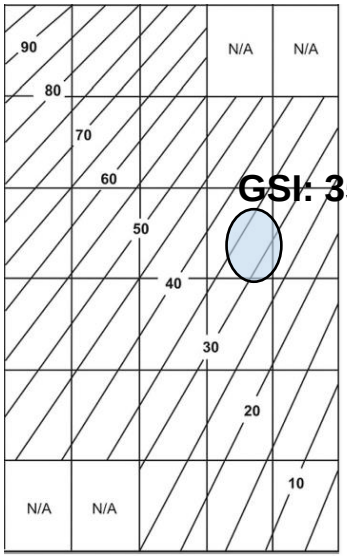

**Figura 5.15 Clasificación de SMR por clase del sitio crítico 1 y 2**

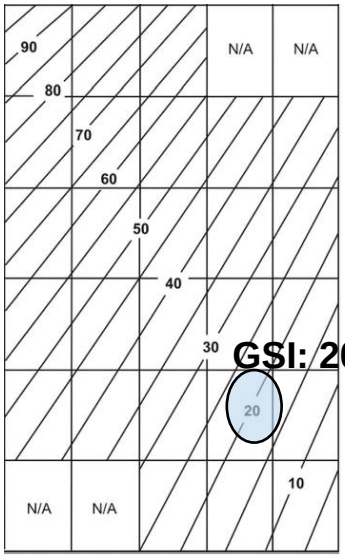
### 5.3.2.3 Geological Strength Index 'GSI'

La valoración del GSI se lo realizó considerando el número de familias de discontinuidades y la meteorización de cada zona, lo que nos permite realizar una clasificación basándonos en la Tabla 3.5 de la sección 3.3.1.3 y los resultados de estas valoraciones se muestran en la (Tabla 5.13).

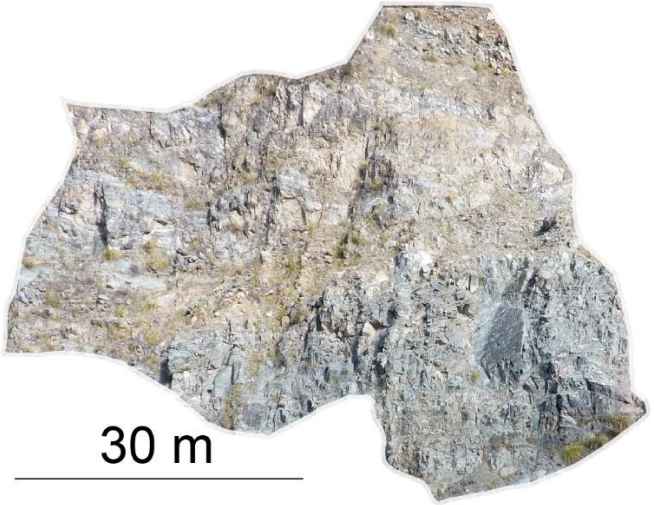
**Tabla 5.13 Resultados de valoraciones del GSI**

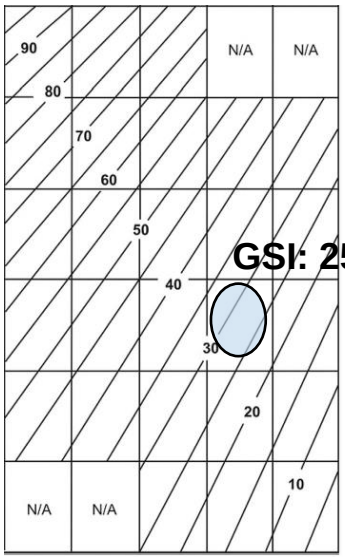
| | |
|---|---|
|  | **GSI ZONA 1**<br> |
|  | **GSI ZONA 2**<br> |

| | |
|---|---|
|  | **GSI ZONA 3**<br> |
|  | **GSI ZONA 4**<br> |
|  | **GSI ZONA 5**<br> |

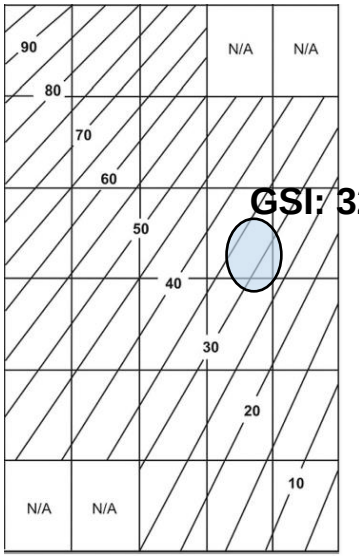



**GSI ZONA 6**

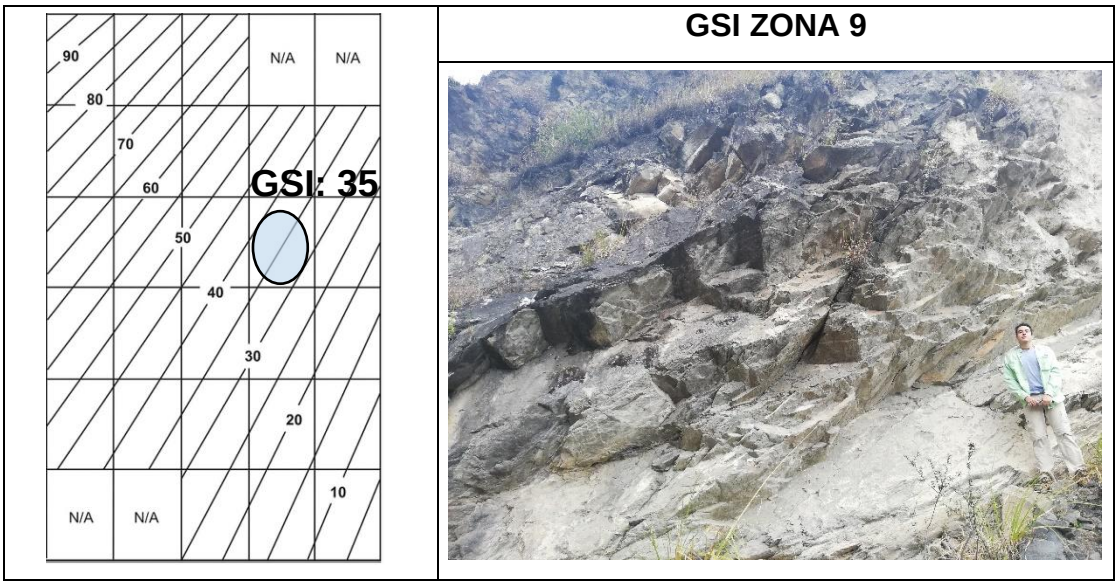



**GSI ZONA 7**




**GSI ZONA 8**




## 5.4 Análisis de equilibrio límite

Para el análisis de equilibrio límite se trazaron 4 perfiles geológicos – geotécnicos distribuidos a lo largo del talud, tal como se muestra en el Mapa 5.5 .Estos fueron dibujados considerando la topografía disponible, zonas de meteorización, perforaciones y estaciones geomecánicas.

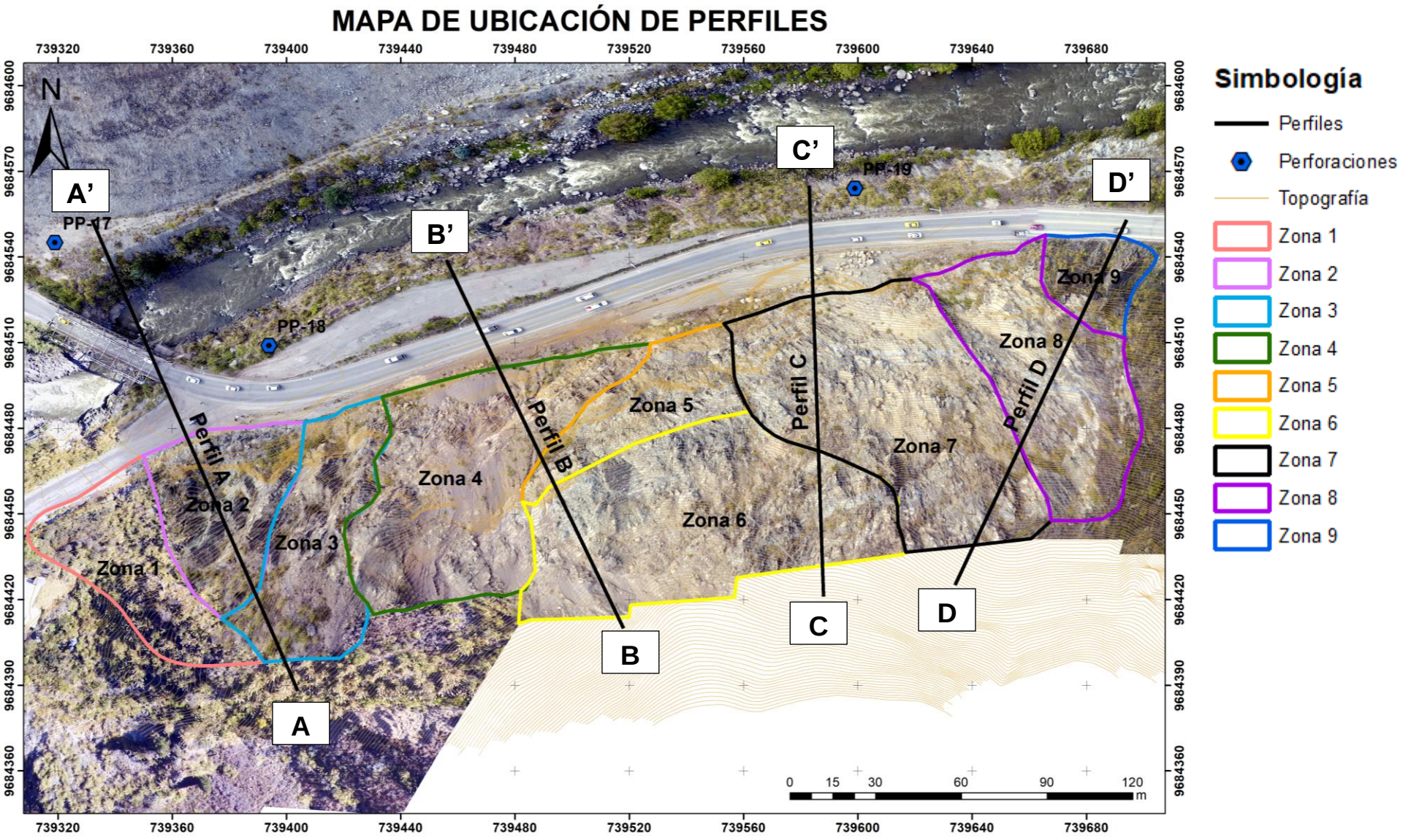
En cada uno de los perfiles se calculó el buzamiento aparente de las familias principales de aquellas zonas que atraviesa el eje del perfil para ubica la frontera del cambio de meteorización. Es importante conocer hasta dónde llega la meteorización en el talud, para ello se consideró la máxima persistencia de las familias principales de discontinuidades. Esto nos permite poder dibujar un posible contacto entre la roca meteorizada y la roca sana, donde varía el valor de la resistencia.

Cabe mencionar que en la zona de la roca meteorizada se utilizan los valores obtenidos con el esclerómetro (Tabla 5.14) para el dato de compresión simple y para la roca sana se utilizan los ensayos de laboratorio de los núcleos de perforación PP-17, PP-18 y PSC-01, dependiendo de su ubicación.

Los dibujos de los 4 perfiles se encuentran en la sección 8.6 de anexos.

**Tabla 5.14 Valores de compresión aproximados con el esclerómetro**

| Zona | UCS Esclerómetro(Kpa) |
|---|---|
| Zona 1 | 60000 |
| Zona 2 | 40000 |
| Zona 3 | 45000 |
| Zona 4 | 60000 |
| Zona 5 | 65000 |
| Zona 6 | 50000 |
| Zona 7 | 63000 |
| Zona 8 | 40000 |
| Zona 9 | 50000 |




**Mapa 5.5 Mapa de ubicación de perfiles**

### 5.4.1 Perfil A’ - A

El perfil A cubre las zonas de meteorización 2 y 3 con una roca sana proyectada de las perforaciones PP17 y PP18 (Figura 8.4) con una longitud aproximada de 180 m y las curvas de nivel que van desde 2312 – 2392 m. Las pendientes en la parte superior se encuentran ligeramente inclinadas con un ángulo de 29°. Mientras que en la parte inferior se encuentran pendientes más fuertes con ángulos de hasta 70°, pero en general las pendientes más inclinadas se encuentran en la zona 2.

### 5.4.1 Perfil B’ - B

En el perfil B se tienen zonas 4,5 y 6. La proyección de la roca sana corresponde a la perforación PP18. Las pendientes más empinadas se ubican en la zona 5 con 70° y las más suaves con 60° en la zona 4. Las curvas de nivel van desde los 2322 – 2451 m, cubriendo las estaciones A7 - A10, B1 y B2.

### 5.4.1 Perfil C’ - C

En el perfil C se ubican las zonas 6 y 7, con una proyección de la perforación PSC-01 en la roca sana. Las pendientes van desde los 80°- 48°, ubicándose las más empinadas en la parte inferior de la zona 7, y las más suaves en la zona 6. Las curvas de nivel se encuentran desde los 2320 – 2450 m.

### 5.4.1 Perfil D’ - D

En el perfil D se encuentran las zonas 7, 8 y 9, donde la parte inferior, de la roca sana, se ha proyectado el material de la perforación PSC-01. Este perfil es el que presenta las pendientes más suaves, las cuales van desde los 17° – 50° y con curvas de nivel que van desde los 2316 m hasta 2424 m.

### 5.4.2 Factor de seguridad

El factor de seguridad fue calculado para condiciones secas y sísmicas, no se consideró para condiciones saturadas debido a que no se tienen datos de la superficie de saturación, ni de la infiltración del sector.

Los datos de entrada necesarios para el software en condiciones secas y sísmicas se presentan en las tablasTabla **5.15** yTabla **5.16**, solo que para las sísmicas se considera una aceleración sísmica máxima de 0.25, con un periodo de retorno de 475 años según la norma ecuatoriana de construcción 2011.

La Tabla 5.17 presenta un resumen de los factores de seguridad calculados para las condiciones secas y sísmicas de cada uno de los perfiles y las gráficas de estos se presentan en la sección 8.7 de anexo.

**Tabla 5.15 Datos de entrada por zonas de meteorización**

| Perfil | Zona | UCS Martillo de Schmidt (Kpa) | GSI | mi | D | Peso especifico seco (kN/m3) | Altura de la pendiente |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Perfil A'-A | Zona 2 | 40000 | 30.00 | 20.00 | 1.00 | 26.52 | 46.00 |
| | Zona 3 | 45000 | 35.00 | 20.00 | 1.00 | 26.52 | 25.00 |
| Perfil B'-B | Zona 4 | 60000 | 30.00 | 20.00 | 1.00 | 26.40 | 33.00 |
| | Zona 5 | 65000 | 35.00 | 20.00 | 1.00 | 26.40 | 14.00 |
| | Zona 6 | 50000 | 20.00 | 20.00 | 1.00 | 26.40 | 18.00 |
| Perfil C'-C | Zona 6 | 50000 | 20.00 | 20.00 | 1.00 | 26.40 | 39.00 |
| | Zona 7 | 63000 | 25.00 | 20.00 | 1.00 | 26.26 | 25.87 |
| Perfil D'-D | Zona 7 | 63000 | 25.00 | 20.00 | 1.00 | 26.26 | 9.47 |
| | Zona 8 | 40000 | 32.00 | 20.00 | 1.00 | 26.00 | 22.20 |
| | Zona 9 | 50000 | 35.00 | 20.00 | 1.00 | 26.00 | 22.00 |

**Tabla 5.16 Datos de entrada por perforaciones**

| Perforación | UCS Seco(KPa) | GSI | mi | D | Peso especifico seco (kN/m3) |
|---|---|---|---|---|---|
| PP-17 | 147000 | 30.00 | 20.00 | 1.00 | 26.52 |
| PP-18 | 52290 | 35.00 | 20.00 | 1.00 | 26.52 |
| PSC-01 | 98110 | 30.00 | 20.00 | 1.00 | 26.40 |

**Tabla 5.17 Factor de seguridad condiciones secas y sísmicas**

| Perfil | FS Condicione secas | FS Condiciones sísmicas |
|---|---|---|
| Perfil A'-A | 1.33 | 0.89 |
| Perfil B'-B | 1.20 | 0.80 |
| Perfil C'-C | 1.45 | 0.96 |
| Perfil D'-D | 1.41 | 0.87 |

# 6. ANALISIS DE RESULTADOS

## 6.1 Análisis Cinemático

Los resultados de los análisis cinemáticos de las tablasTabla **5.5**Tabla 5.6Tabla 5.7Tabla 5.8, muestran que todas las estaciones tienen un mayor porcentaje de probabilidad que ocurra un deslizamiento de caída de rocas, siendo la zona 2 la que presenta un mayor porcentaje con un 42%, y la menor la zona 4 con un 6%.

La zona 2 presenta un el mayor porcentaje de deslizamiento de caída de roca, debido a que las familias de discontinuidades se encuentran muy bien marcadas y cumplen con las condiciones geométricas para que ocurra, a diferencia de las zonas 4, 5, 6 y 7 con menor porcentaje, que si bien presentan familias de discontinuidades principales, se puede observar que existen ciertas agrupaciones aisladas de polos, por lo cual es posible que en estas zonas existan más de 4 familias de discontinuidades siendo el deslizamiento más probable el rotacional.

El análisis cinemático por zonas de meteorización representa una escala menor a la del sitio critico completo. Por lo cual si se considera en su totalidad, podemos notar que según los estereogramas de cada sitio critico (Figura 5.11 Figura 5.12), existen más de 4 familias de discontinuidades, debido a esto no es posible analizar a todo el sector por un tipo de rotura planar, cuña o caída de bloques, sino por rotura rotacional lo que nos indica que debemos utilizar un método de equilibrio límite para taludes de roca.

## 6.2 Rock Mass Rating 'RMR'

Los resultados del RMR del área de estudio se muestran en un rango de (33-48). En general la calidad del macizo rocoso es mala, siendo toda la parte central donde se ubican las zonas 3, 4, 5, 6, 7 y 8 las que presentan una menor calidad. Esto se pudo verificar en campo, donde bloques de rocas deslizados de diferentes tamaños se encuentran en la parte inferior de estas zonas. Mientras que para las zonas 1, 2 y 9 la calidad de la roca es media.

La zona 4 tiene la valoración más baja de RMR (33), debido a su alta meteorización y gran fracturamiento. Además, se puede notar que gran parte de esta zona se encuentra descompuesta en suelo por lo que coincide que esta sea la más baja. A

simple vista se puede notar que la zona ocupa un porcentaje de área importante y combinado con la mala calidad del talud es recomendable que esta sea una de las primeras en implementar el sostenimiento. Por otra parte, las zonas 1, 2 y 3 con un RMR de 44, 45 y 42 respectivamente, son las de calidad más alta y se recomienda que sean las ultimas en implementar el sostenimiento.

## 6.3 Slope Mass Rating 'SMR'

La valoración de ajuste del SMR, nos da como resultado tres tipos de clases las cuales son: normal, mala y muy mala. Los resultados se encuentran entre (43 y 14).

El perfil de la Figura 5.15, nos muestra que las zonas de calidad más baja son la 7 y 8, con una clase muy mala. Comparando estos resultados con los obtenidos en el RMR, nos damos cuenta de que las zonas 1 y 2 se mantienen con una calidad normal, mientras que la zona 9 ya se ubica con una calidad mala.

Los métodos de sostenimiento recomendados para las zonas 1 a 6 y 9 son de hormigón proyectado, bulones y anclajes. Dependerá de los resultados de los métodos de equilibrio límite para saber tipo de sostenimiento es el más adecuado. Para las zonas 7 y 8 se recomienda reexcavación o muros de contención, este último no es muy adecuado debido a que el talud se encuentra muy cercano a la vía y para aplicar este método es necesario tener un espacio adecuado entre la vía y el talud, mientras que el método de reexcavación es más factible tomando en cuenta el tamaño de bloques que se van a desprender y su alcance.

## 6.4 Factor de seguridad

Los factores de seguridad (F.S.), en general, se encuentran entre (1.45-1.20) en condiciones secas y para condiciones sísmicas (0.80-0.96), lo que nos indica que en condiciones normales el talud será estable. Sin embargo, este valor está muy cercano a 1 por lo que la variación de factores de precipitación, carga, meteorización, entre otros, los cuales no fueron considerados en nuestro proyecto, podrían provocar deslizamientos. Mientras que, para condiciones sísmicas el F.S. es menor a 1, en todos los perfiles trazados produciéndose una falla con una aceleración sísmica de 0.25g.

Realizando una comparación de los F.S. para cada perfil podemos notar que el perfil B’ - B, es el que presenta los valores más bajos, lo cual se correlaciona con factores como la topografía, por tener las pendientes más altas y6 la alteración, por presentar zonas muy alteradas como lo son la zona 4 y 6.

Los factores de seguridad en condiciones secas se encuentran mayores pero muy cercanos a 1 con más o menos 0.4 décimas de diferencia. Lo que resulta riesgoso para una carretera principal muy importante con un gran número de vehículos que transitan diariamente. Por tal motivo es recomendable aplicar un sostenimiento en todo el talud.

## 6.5 Recomendaciones de sostenimiento

Según los resultados de los métodos empíricos, se recomienda utilizar anclajes con hormigón proyectado para las zonas de calidad mala y media, mientras que para las de calidad muy mala recomienda una reexcavación o muros de contención.

A pesar de que estas son las recomendaciones generales de sostenimiento, no son los únicos métodos que se pueden utilizar, existen opciones más económicas y con un proceso de instalación más rápido que se pueden aplicar en nuestro talud.

Para recomendar una alternativa de sostenimiento, tomamos en cuenta el resultado del análisis cinemático, que nos indica que existe un mayor porcentaje de caídas de rocas, por lo cual se debe de utilizar un sostenimiento que nos ayude a evitar o mitigar este tipo de rotura. Además, debemos de considerar los resultados de calidad de la roca (SMR), que nos indica que las zonas 7 y 8 son aquellas que presentan un mayor grado de alteración, por lo que es más probable que existan caídas de rocas más pequeñas en estas zonas debido al corto espaciamiento entre las discontinuidades. Por otra parte, el FS nos da como conclusión que en aquellas zonas donde este es más bajo se debe de utilizar materiales más robustos.

Por tales motivos, mencionados en el párrafo anterior, se realizó y una comparación de ventajas y desventajas de los tipos de sostenimiento, Tabla 6.1 yTabla **6.2**, lo que nos ayudó a seleccionar las recomendaciones finales.

Para las zonas donde se recomienda utilizar anclajes con hormigón proyectado, que es el macizo rocoso con una calidad mala y media, se escogió como alternativa usar

mallas de alta resistencia con anclajes, ya que, este tipo de sostenimiento funciona muy bien para evitar el desprendimiento de grandes rocas y nos ayuda a aumentar el FS. Para las zonas que se recomienda aplicar reexcavación o muros de contención, se escoge como alternativa utilizar cortinas de guiado, este sostenimiento es muy útil para evitar la caída de rocas en la vía, funcionando muy bien para aquellas zonas que presentan una calidad muy mala. Ambas alternativas nos ayudan a aumentar el factor de seguridad y a su vez son muy utilizadas en taludes que presentan caídas de bloques, siendo una opción mucho más económica y rápida de aplicar. La distribución del sostenimiento a lo largo del talud se muestra en la Figura 6.1 desde una vista frontal.

**Tabla 6.1 Ventajas y desventajas de métodos de sostenimiento en calidad de macizo media/mala**

| Tipo de sostenimiento | Ventajas | Desventajas |
|---|---|---|
| Anclajes con hormigón proyectado | Aumenta el factor de seguridad | Estudio a detalle de deformaciones y materiales para su diseño |
| | Talud estable para deslizamientos de grandes bloques de roca | Alto costo de instalación y materiales |
| | Largo periodo de vida útil | |
| Anclajes con malla de alta resistencia | Rápida instalación | La roca queda descubierta y puede seguir meteorizándose |
| | Económico | Puede infiltrarse agua en las fracturas y generar un deslizamiento |
| | Aumenta el factor de seguridad | |
| | Evita deslizamientos de grandes bloques de roc | |

**Tabla 6.2 Ventajas y desventajas de métodos de sostenimiento en calidad de macizo muy mala**

| Tipo de sostenimieinto | Ventajas | Desventajas |
|---|---|---|
| Reexcavación | Eliminar material suelto | Caidas de rocas podrian provocar daños |
| | Estabilizar el talud | Alto riesgo de acidentes |
| | Disminuir cargas y roca meteorizada | Poco aplicable para taludes de roca y grandes pendientes |
| Muros de contencion | Evitar la invación de rocas en la vía | Espacio en la vía para su instalación |
| | Soporte del talud | Diseño complejo a medida |
| | Rapida instalación | Alto costo |
| Mallas de guiado | Barrera autolimpiante | Poca confiabilidad para deslizamiento de grandes masas |
| | Malla de alambre de acero de alta resistencia | Ligero aumento del factor de seguridad |
| | Rapida instalación | |
| | Economica | |

## PERFIL VISTA FRONTAL SITIO CRÍTICO 1 Y 2

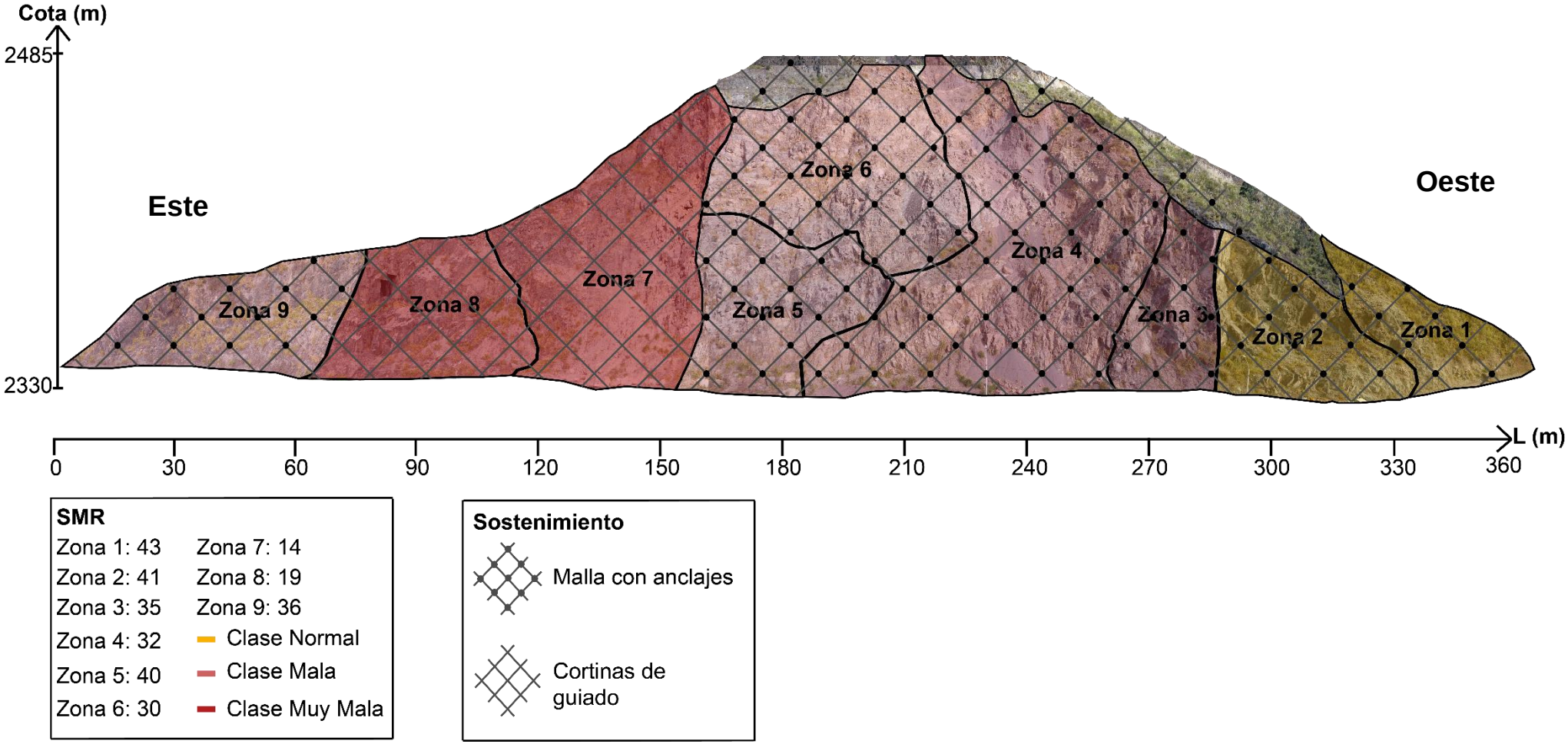



**Figura 6.1 Recomendación de ubicación del sostenimiento**

# 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 7.1 Conclusiones

1. El talud de la vía Guangarcucho – Paute – Gualaceo, presenta condiciones de estabilidad en un rango de (33-48), para el sitio crítico 1 y (31-44) para el sitio critico 2, en la clasificación del RMR, por lo cual se presenta una calidad de macizo rocoso que varía de mala a media, donde las zonas 1,2 y 9 son las que presentan una mejor calidad.
2. Realizada la clasificación empírica del SMR, nos da resultados un poco diferente respecto al RMR. Los valores están en un rango de (43-14), mostrándose las zonas 7 y 8 con una calidad muy mala y la zona 9 de una calidad media, en la clasificación del RMR, ahora pasa a tener una calidad mala.
3. Los factores de seguridad en condiciones sísmicas varían de (0.8-0.96), y en condiciones secas (1.20-1.45), lo que nos indica que existen condiciones inestables, dado un evento sísmico, y estables en estadios normales o secos, aunque este último presenta un factor de seguridad mayor a 1, no es el apropiado para esta vía de gran importancia.
4. El tipo de sostenimiento que se recomienda utilizar son mallas con anclajes, para las zonas de calidad mala y media, y cortinas de guiado, para los sectores con una calidad muy mala. Ambos sostenimientos nos ayudan a evitar la caída de rocas en la vía y aumentar el factor de seguridad.

## 7.2 Recomendaciones

1. Se recomienda realizar ensayos de laboratorio de las muestras obtenidas directamente desde las zonas meteorizadas del afloramiento para poder obtener datos más exactos de la resistencia a la compresión simple de la roca.
2. Tomar muestras y medidas en la parte superior, específicamente en la zona 6 para tener una mayor confiabilidad de los resultados de los métodos empíricos de dicho sector.
3. Realizar un modelo hidrogeológico que nos permita conocer la superficie de saturación respecto a las máximas precipitaciones que ocurren en la zona y la resistencia que los materiales tienen en estas condiciones.
4. Realizar ensayos geofísicos o perforaciones en la parte superior del talud, para poder conocer exactamente hasta dónde llega la roca meteorizada y la persistencia de las discontinuidades.
5. Se recomienda realizar estudios complementarios de modelación de deformación del macizo rocoso, antes de aplicar las medidas de sostenimiento para utilizar los materiales más adecuados.

# 8. ANEXOS

## 8.1 Entrevista Desing Thinking

**Desing Thinking**

**Etapa 1: Empatiza**

**Metodología:** Análisis dimensional

**Objetivo:** Comprender cuales son las necesidades del usuario dimensionándolo y conociendo cual es el problema o necesidad al que uno quiere dar una solución.

**Nombre del entrevistado**: Ing, Alejandra Vera.

- ¿Cuál es el problema?

El deslizamiento cerca de la vía Paute – Gualaceo que provocan daños y pérdidas económicas a diferentes sectores productivos especialmente en épocas de invierno.

- ¿Quiénes están involucrados?

Están involucrados diferentes sectores productivos, así como los municipios quienes están encargados de la seguridad de la vía.

- ¿Para qué resolverlo?

Para evitar futuros accidentes en la vía y reducir el número de deslizamientos que pueden generar el cierre de la vía, pérdidas materiales y humanas.

- ¿Qué grado de relevancia tiene el problema?

Tiene una relevancia a nivel nacional por el Ministerio de transporte y obras públicas. Además, es muy importante para los poblados cercanos evitando el cierre de la vía y daños.

- ¿Cuál es la causa?

Existen causas determinantes como la fracturación del macizo, alteración de la roca, litología, entre otros. Así como, causas detonantes como las lluvias o sismos.

- ¿En qué lugar acontece el problema?

En un tramo de la vía Guangarcucho – Paute – Gualaceo, cerca del puente de La Josefina.

## 8.2 Columnas estratigráficas

### 8.2.1 PP-17

**Columna estratigráfica**

| Ubicación | Codigo de perforación | Formación | Localidad |
|---|---|---|---|
| X: 739319<br>Y: 9684545 | PP-17 | Maguazo | Carretera Paute - Gualaceo-Guangarcucho |

**Litología:** Relleno de carbonato; Andesita

**Recuperación %:** 1.- 100 - 81; 2.- 80 - 61; 3.- 60 - 41; 4.- 40 - 21; 5.- 20 - 0

**Meteorización:** 1.- Roca fresca; 2.- Ligeramente meteor.; 3.- Medianamente meteor.; 4.- Altamente meteor; 5.- Completamente meteor.

**RQD %:** 1.- 100 - 91; 2.- 90 - 76; 3.- 75 - 51; 4.- 50 - 26; 5.- 25 - 0

| Profundidad (m) | Fotografía | Litología | Descripción | Recuperación (m) | Meteorización | RQD (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 – 1 | | | Andesita en fragmentos de 2-6 cm de color gris oscuro, textura porfídica-fanerítica, presenta cristales de color blancos de plagioclasas alargados y rectangulares, la matriz es holocristalina. Presenta rellenos de carbonatos, caras meteorizadas de manganeso y óxidos. | 5 | 2 | 5 |
| 1 – 2 | | | | | | |
| 2 – 3 | | | Andesita moderadamente fracturada de color gris oscuro con presencia de granos de plagioclasas, venillas milimétricas de rellenos de carbonatos. | | | |
| 3 – 4 | | | Andesita de color gris oscuro de textura porfídica fanerítica, granos alargados y rectangulares de plagioclasas en una matriz de grano fino verde oscuro, rellenos de carbonatos y caras manchadas de magnesio. | | | 4 |
| 4 – 5 | | | Andesita muy fragmentada de 1 - 6 cm de color gris oscuro con cristales de plagioclasas, matriz de grano fino y rellenos de carbonatos. | | | 5 |
| 5 – 6 | | | Andesita compacta de color gris oscuro con cristales de plagioclasas, matriz de grano fino y rellenos de carbonatos. | | | 4 |

Lamina delgada

**Figura 8.1 Columna estratigráfica PP-17**

### 8.2.2 PP-18

**Columna Estratigráfica**

| Ubicación | Codigo de perforación | Formación | Localidad |
|---|---|---|---|
| X: 739393<br>Y: 9684512 | PP-18 | Maguazo | Carretera Paute - Gualaceo-Guangarcucho |

**Litología:** Relleno de carbonato, Grava, Arcillas, Andesita

**Recuperación %:** 1.- 100 - 81 2.- 80 - 61 3.- 60 - 41 4.- 40 - 21 5.- 20 - 0

**Meteorización:** 1.- Roca fresca 2.- Ligeramente meteor. 3.- Medianamente meteor. 4.- Altamente meteor 5.- Completamente meteor.

**RQD %:** 1.- 100 - 91 2.- 90 - 76 3.- 75 - 51 4.- 50 - 26 5.- 25 - 0

| Profundidad (m) | Fotografía | Litología | Descripción | Recuperación (m) | Meteorización | RQD (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 – 1 | | | Grava con matriz limosa de color marrón claro, fragmentos centimetríco. | | | |
| 2 – 3 | | | Arcillas de color marrón fácilmente disgregable. | | | |
| 4 – 5 | | | Andesitas muy fracturadas de color gris claro con pequeños granos angulosos de cuarzos y anfiboles. Venillas de carbonato milimétricas. | 5 | 2 | |
| 6 | | | Fragmentos centimetríco andesiticos angulosos de 1-6 cm, estos presentan granos milimétricos de cuarzos y además caras de alteración por manganeso y óxidos. | | 3 | 5 |
| 7 | | | Andesita con bajo grado de metamorfismo de textura faneritica hialocistalina, matriz fina y granos angulosos de plagioclasas y otros mas redondos de feldespatos, dureza 3. Los nucleos del metro 6 - 7 presentan intercalaciones con rellenos lenticulares de carbonatos, estos posteriormente son venillas de carbonatos milimétricas y con un color gris verdoso (9 - 11), presenta caras meteorizadas de manganeso y óxidos. | 4 | 2 | |
| 8 | | | | | | |

Lamina delgada

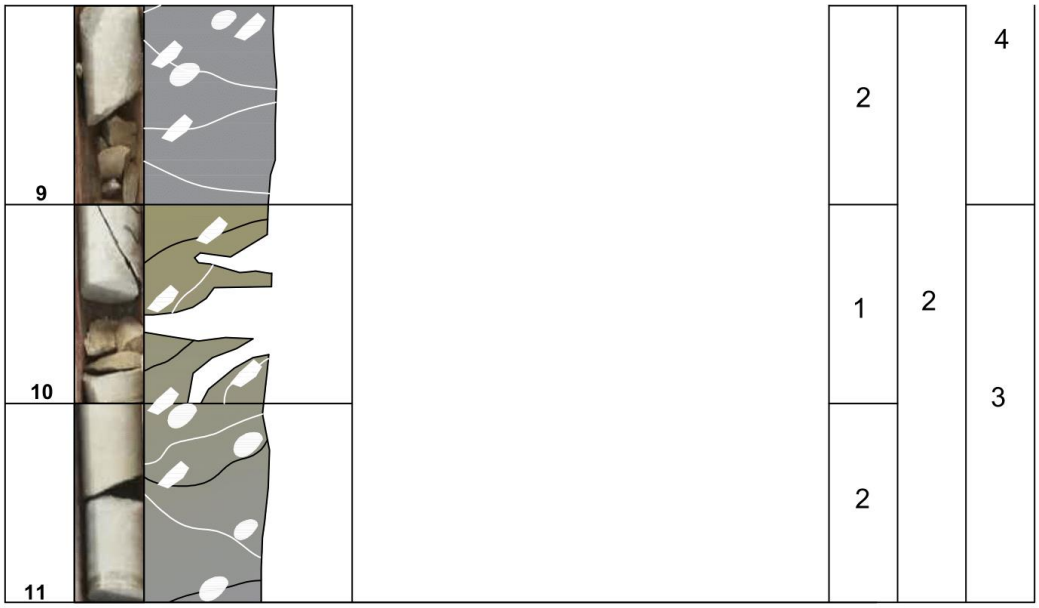



**Figura 8.2 Columna estratigráfica PP-18**

### 8.2.3 PSC-01

**Columna Estratigráfica**

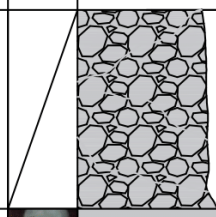
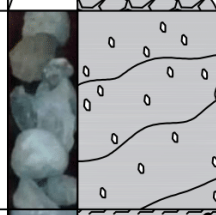
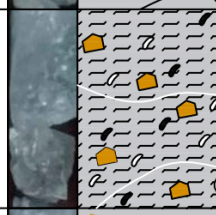
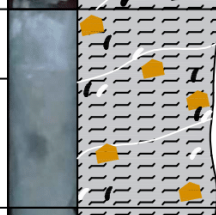
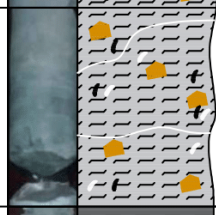
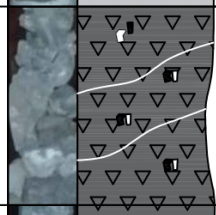
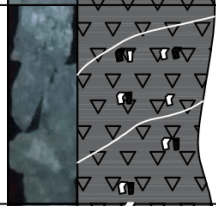
| Ubicación | Codigo de perforación | Formación | Localidad |
|---|---|---|---|
| X: 739599<br>Y: 9684564 | PSC-01 | Maguazo | Carretera Paute - Gualaceo-Guangarcucho |

**Litología:** Relleno de carbonato, Fragmentos liticos, Flujo de lava, Gravas, Fragmentos de andesita

**Recuperación %:** 1.- 100 - 81 4.- 40 - 21 2.- 80 - 61 5.- 20 - 0 3.- 60 - 41

**Meteorización:** 1.- Roca fresca 4.- Altamente meteor 2.- Ligeramente meteor. 5.- Completamente meteor. 3.- Medianamente meteor.

**RQD %:** 1.- 100 - 91 4.- 50 - 26 2.- 90 - 76 5.- 25 - 0 3.- 75 - 51

| Profundidad (m) | Fotografía | Litología | Descripción | Recuperación (m) | Meteorización | RQD (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 – 1 |  | | Grava limosa de color gris claro con presencia de arena y muy densa. | | | |
| 2 |  | | Andesita de color gris claro presenta granos subredondeados de color blanco y otros de color marrón, posiblemente óxidos, reacciona con el HCl y posee venillas de color oscuro de meteorización por manganeso. | 5 | 3 | 5 |
| 3 |  | | Flujo de lava andesitico de color gris claro con granos subredondeados - angulares de color oscuro (hornblendas) y blancos (plagioclasas), los granos tienen una dirección preferencial y fragmentos líticos, se observan venillas de carbonatos y meteorización por manganeso. | | | |
| Lamina delgada<br>4 |  | | | 4 | 2 | |
| 5 |  | | | | | |
| 6 |  | | Fragmentos de andesita de tamaño centimetríco de 5 - 1 cm, del metro 5 al 6 se presentan fragmentos de 5 a 8 cm. Textura porfídica de color gris claro con ciertas caras de rellenos de carbonatos, presencia de fenocristales euedrales de hornblendas y plagioclasas tabulares y alargados. | | | |
| 7 |  | | | | 3 | 5 |

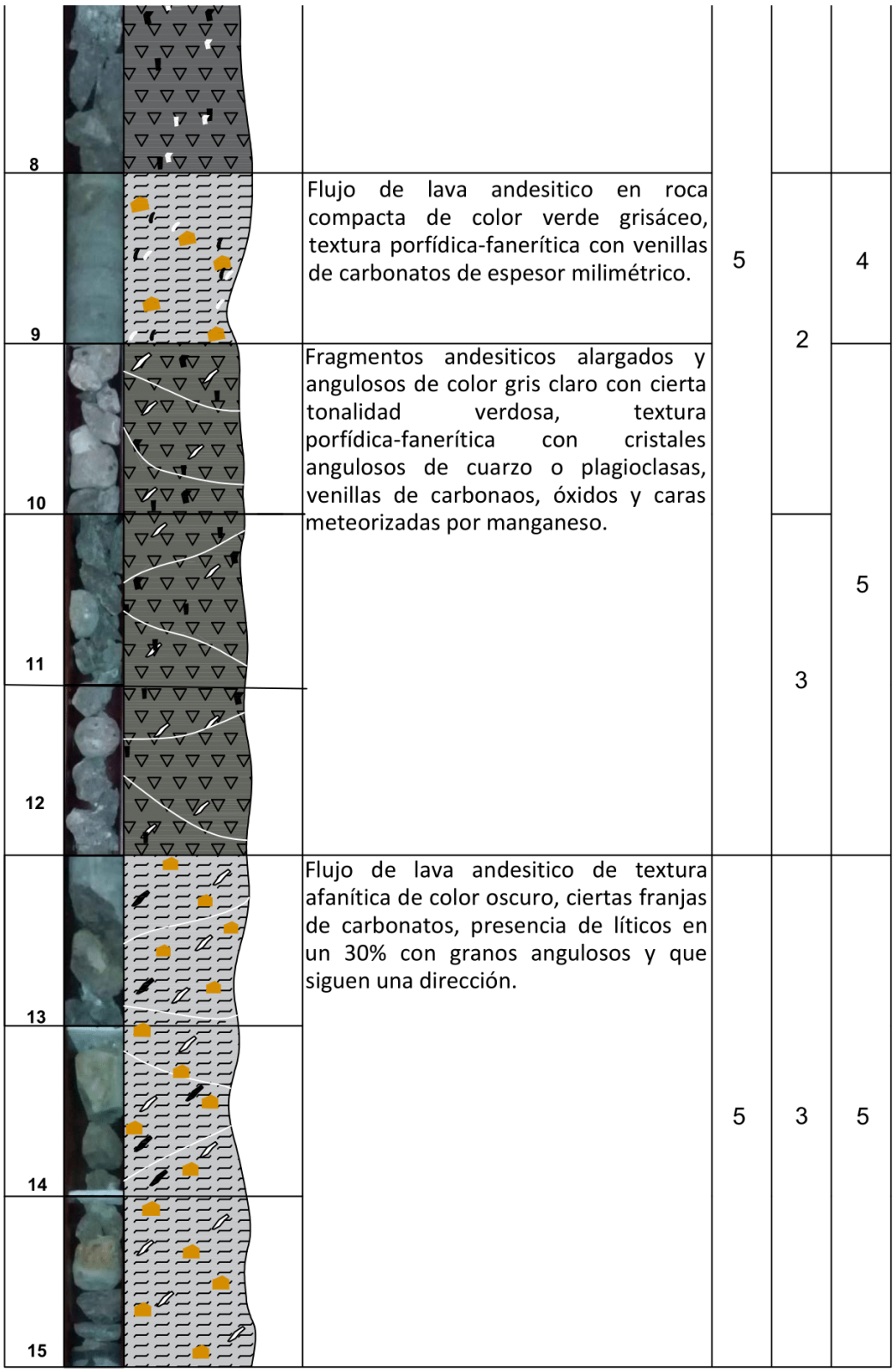



**Figura 8.3 Columna estratigráfica PSC-01**

## 8.3 Laminas Delgadas

### 8.3.1 PP-17

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Código de muestra:** | PP-17 | **Coordenadas UTM** | X | 739319 |
| | | | Y | 9684545 |
| **Localidad:** | Carretera Paute - Gualaceo - Guanguarcucho | **Formación Geológica:** | Maguazo | |
| **Muestra tomada por:** | Geoestudios S.A. | **Fecha de recolección:** | 14-nov-19 | |
| **Nombre de la roca** | **Andesita con fenocristales de hornblenda y plagioclasas** | | | |
| **Descripción Macroscópica** | | | | |
| Color | Gris oscuro | | | |
| Forma de fracturamiento | Irregular | | | |
| Tamaño de granos | De 1mm a 4mm | | | |
| Distribución de granos | Irregular | | | |
| Forma de los cristales | Tabulares y alargados | | | |
| Orientación de los componentes | Sin orientación preferencial | | | |
| Tipos de granos | Los cristales tabulares y alargados son plagioclasas y aquellos blancos un poco más irregulares corresponden a cuarzos. | | | |
| Observaciones | Reacción a con el HCL, tiene mucha presencia de cristales de plagioclasa de color blanco translucido principalmente. | | | |
| **Descripción Microscópica** | | | | |
| Textura | Presenta una textura fanerítica de grano medio holocristalina, donde los cristales son fácilmente identificables y se tiene un mayor porcentaje de cristales que de matriz. Los tamaños de los granos son seriados por su variación de tamaño y anhedral. | | | |
| Matriz | La matriz presenta agregados microcristalinos fanerítica de grano medio, los cristales de epidota se presentan muy alterados y en muy poca proporción. | | | |
| Minerales | Se pueden reconocer Plagioclasas (Plg) que son aquellas que presentan maclas zonificadas, albita y albita-carlsbad pertenecientes a minerales de anortita los cuales están siendo remplazados por carbonatos que son aquellos que se observan de color amarillo en las láminas delgadas en nicoles cruzados. Los Feldespatos alcalinos (Fa) tienen maclas únicamente carlsbad y también existe cuarzo en muy poca proporción. | | | |

## Fotografía

### Macroscópica

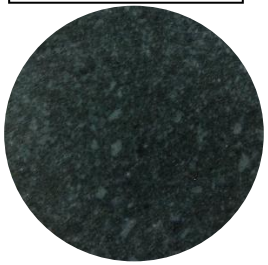
Nucleo de perforación

5 cm

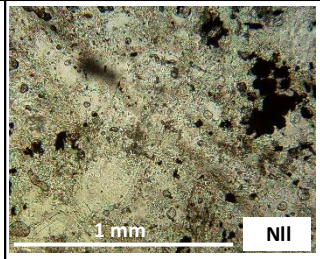
Lamina delgada

2,5 cm

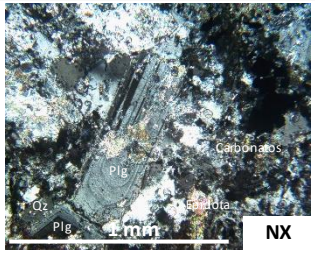
Sección transversal, D: 4,5 cm



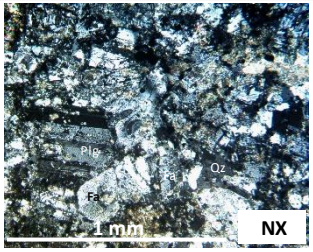
### Microscópica



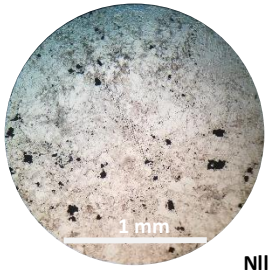

NII



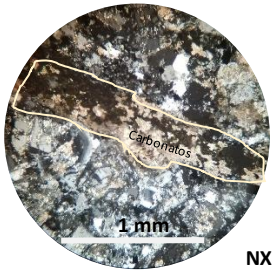

NX



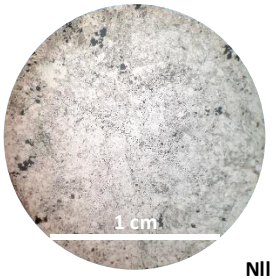

NX



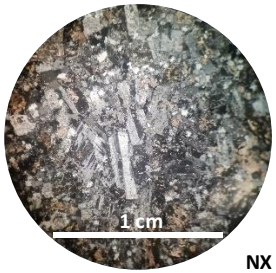

NII



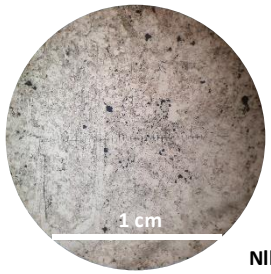

NX



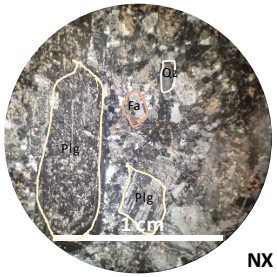

NII




NX

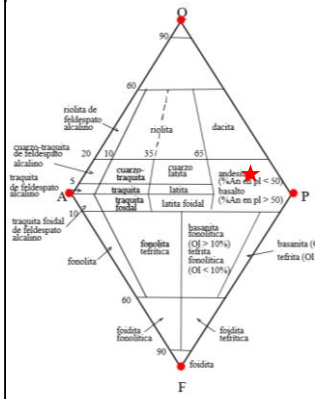



NII




NX

Diagrama de streikensen



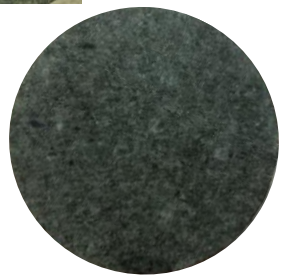

| componente | M | % relativo |
|---|---|---|
| Q | 10 | 10.00 |
| A | 25 | 25.00 |
| P | 65 | 65.00 |
| F | 0 | 0.00 |

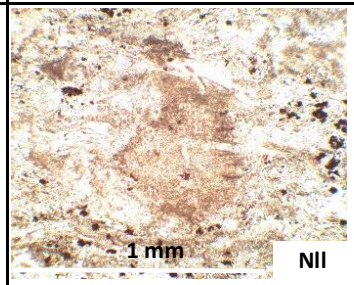
Nombre de la roca:
**Andesita**

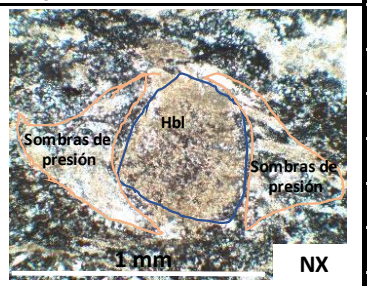
### 8.3.2 PP-18

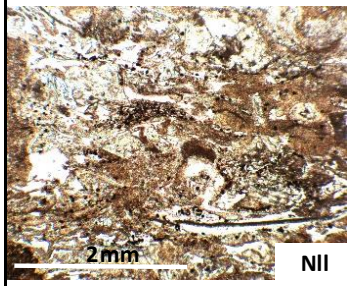
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Código de muestra:** | PP-18 | **Coordenadas UTM** | X | 739393 |
| | | | Y | 9684512 |
| **Localidad:** | Carretera Paute - Gualaceo - Guanguarcucho | **Formación Geológica:** | Maguazo | |
| **Muestra tomada por:** | Geoestudios S.A. | **Fecha de recolección:** | 14-nov-19 | |
| **Nombre de la roca:** | **Andesita con bajo grado de metamorfismo** | | | |
| **Descripción Macroscópica** | | | | |
| Color | Gris oscuro verdoso | | | |
| Forma de fracturamiento | Laminar o en superficies de estrias. | | | |
| Tamaño de granos | De 1mm a 2mm | | | |
| Distribución de granos | Inequigranular | | | |
| Forma de los cristales | Irregulares y alargados | | | |
| Orientación de los componentes | Laminar, siguen una dirección | | | |
| Tipos de granos | Cristales de color blanco translucidos de Qz, cristales de clorita, arcilla y esmécticas. | | | |
| Observaciones | Presenta rellenos de color blanco que reaccionan con el HCL, posee porosidad que es visible a simple vista, cristalinidad hialocristalina con una matriz translucida y los granos se presentan muy juntos y acumulados. | | | |
| **Descripción Microscópica** | | | | |
| Textura | Presenta cristales de tamaño marcadamente superior a los que los rodean, los cristales parecen estar rodeados de una matriz vítrea. Textura porfidoblástica afanítica con una microestructura nodulosa y fabrica plano lineal, además se presentan sombras de presión y los cristales siguen una dirección en particular. | | | |
| Matriz | Agregado microcristalino con una matriz microlítica de granos finos alargados con una dirección preferencial. Foliación de fractura, lineaciones orientadas en una dirección subparalela, posiblemente al plano máximo de compresión. | | | |
| Minerales | Se identifican minerales de hornblenda (Hbl) de color amarillo claro en nicoles cruzados, cuarzos y reemplazamiento de epidota en hornblenda. Minerales de colores translucidos son de clorita alterados debido a la presencia de carbonatos. | | | |

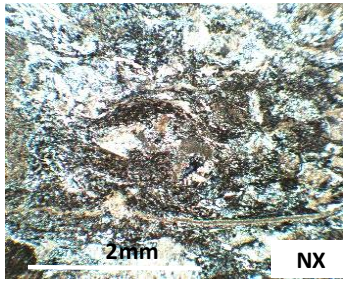
| Fotografía | |
|---|---|
| **Macroscópica** | **Microscópica** |

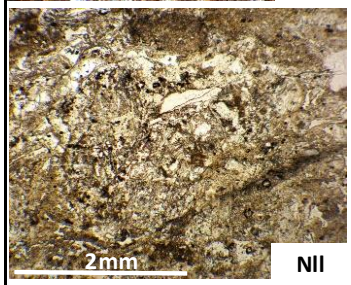


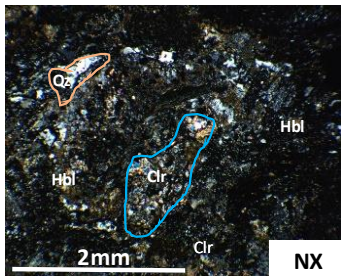



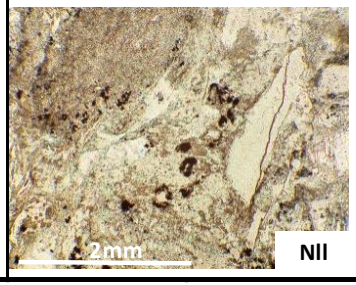



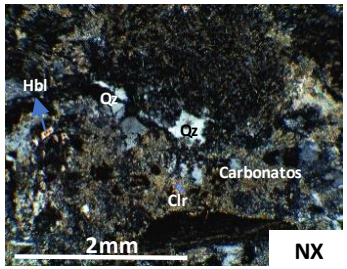



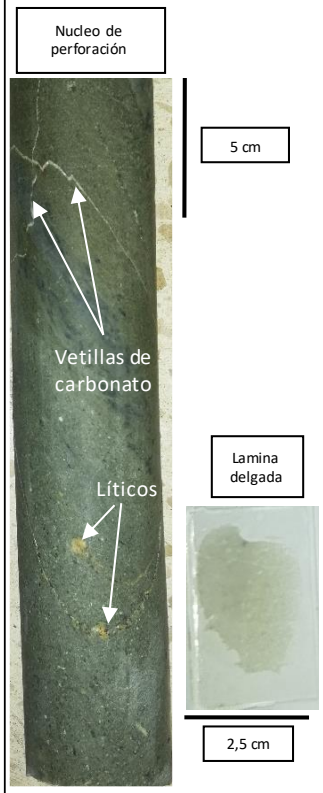



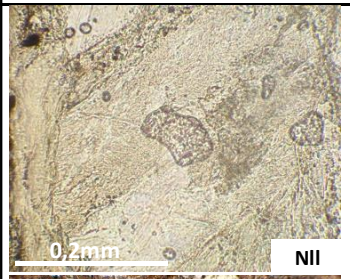



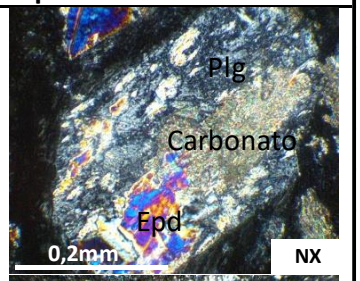
### 8.3.3 PSC-01

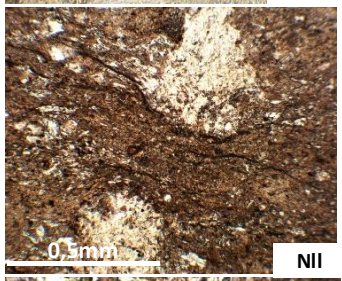
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Codigo de muestra:** | PSC-01 | **Coordenadas UTM** | X | 739599 |
| | | | Y | 9684564 |
| **Localidad:** | Carretera Paute - Gualaceo - Guanguarcucho | **Formación Geológica:** | Maguazo | |
| **Muestra tomada por:** | Geoestudios S.A. | **Fecha de recolección:** | 14-nov-19 | |
| **Nombre de la roca** | **Flujo de lava con composicion andesitica** | | | |
| **Descipción Macroscópica** | | | | |
| Color | Verde claro grisáceo | | | |
| Forma de fracturamiento | Irregular en dirección de los rellenos de carbonatos | | | |
| Tamaño de granos | Muy variado de 1mm a 5mm | | | |
| Distribución de granos | Inquigranular | | | |
| Forma de los cristales | Generalmente alargados tabulares, otros se encuentran irregulares. | | | |
| Orientación de los componentes | Fluvial, direccion preferencial. | | | |
| Tipos de granos | Fragmentos líticos de color amarillo claro, marrón y gris oscuro. Cristales blancos tabulares y alargados pertenecen a plagioclasas. | | | |
| Observaciones | La muestra presenta rellenos de carbonatos y manchas oscuras de manganeso, también se presentan fragmentos líticos de 1 a 3 mm. | | | |
| **Descripción Microscópica** | | | | |
| Textura | Textura fanerítica hialocristalina microcristalina, algunos granos se presentan anhedral y otros subhedrales. | | | |
| Matriz | Matriz de agregado microcristalino de color gris oscuro, rico en minerales máficos, micritos de plagioclasas. | | | |
| Minerales | La muestra se presenta muy alterada, existen algunas plagioclasas las cuales tienen una epidotización que son aquellos con una alta birrefringencia. Se logra observar vetillas de carbonato de un color pardo, cuarzos en menor porcentaje y fragmentos líticos. | | | |

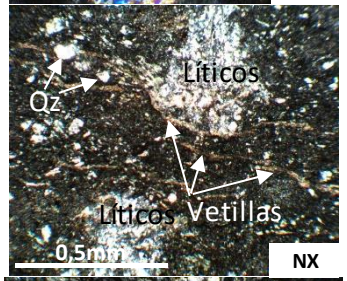
| Fotografía | |
|---|---|
| **Macroscópica** | **Microscópica** |

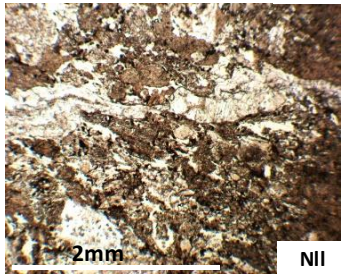


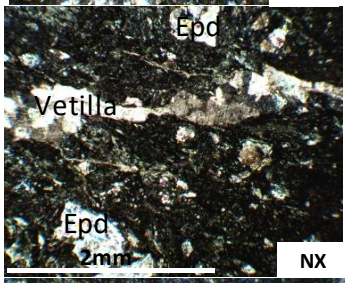


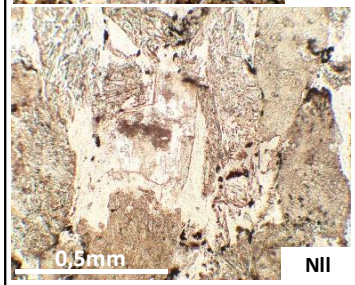



## 8.4 Estaciones geomecánicas

### 8.4.1 Sitio crítico 1

- Estación A1

**FICHA PARA LEVANTAMIENTO GEOMECÁNICO**

ESTACIÓN / ESPACIADO (cm) / S / Jv

| Tipo de plano | Dirección de buzamiento | Buzamiento | Ext. Juntas <2 | Muy Juntas 2 - 6 | Juntas 6 - 20 | Moder. Juntas 20 - 60 | Separadas 60 - 200 | Muy Separadas 200 - 600 | Ext. Separadas > 600 | S Promedio (m) | Jv Final |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 67 | 71 | | | | | | | | | |
| | 37 | 77 | | | | | | | | | |
| | 47 | 74 | | | | | | | | | |
| | 66 | 68 | | | | | | | | | |
| J1 | 36 | 72 | | | | X | | | | 0.2 | |
| | 49 | 61 | | | | | | | | | |
| | 52 | 74 | | | | | | | | | |
| | 54 | 78 | | | | | | | | | |
| | 150 | 64 | | | | | | | | | |
| | 126 | 74 | | | | | | | | | |
| | 125 | 89 | | | | | | | | | |
| | 142 | 67 | | | | | | | | | |
| J2 | 146 | 36 | | | | | X | | | 0.7 | 11 |
| | 136 | 56 | | | | | | | | | |
| | 134 | 53 | | | | | | | | | |
| | 150 | 50 | | | | | | | | | |
| | 267 | 64 | | | | | | | | | |
| | 258 | 50 | | | | | | | | | |
| | 264 | 48 | | | | | | | | | |
| | 273 | 51 | | | | | | | | | |
| J3 | 280 | 38 | | | | X | | | | 0.2 | |
| | 295 | 52 | | | | | | | | | |
| | 282 | 52 | | | | | | | | | |
| | 285 | 46 | | | | | | | | | |
| | 293 | 35 | | | | | | | | | |

CONTINUIDAD (m) / APERTURA (mm)

| Tipo de plano | Dirección de buzamiento | Buzamiento | Muy Baja <1 | Baja 1 - 3 | Moderada 3 - 10 | Alta 10 - 20 | Muy Alta >20 | Muy Cerrada <0,1 | Cerrada 0,1 - 0,25 | Parc. Cerrada 0,25 - 0,5 | Abierta 0,5 - 2,5 | Moder. Abierta 2,5 - 10 | Ancha >10 | Muy Ancha 10 - 100 | Ext. Ancha 100 - 1000 | Cavernosa > 1000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 67 | 71 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 37 | 77 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 47 | 74 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 66 | 68 | | | | | | | | | | | | | | |
| J1 | 36 | 72 | | | | X | | | | | | | X | | | |
| | 49 | 61 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 52 | 74 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 54 | 78 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 150 | 64 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 126 | 74 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 125 | 89 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 142 | 67 | | | | | | | | | | | | | | |
| J2 | 146 | 36 | | | | X | | | | | X | | | | | |
| | 136 | 56 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 134 | 53 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 150 | 50 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 267 | 64 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 258 | 50 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 264 | 48 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 273 | 51 | | | | | | | | | | | | | | |
| J3 | 280 | 38 | | | | X | | | | | X | | | | | |
| | 295 | 52 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 282 | 52 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 285 | 46 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 293 | 35 | | | | | | | | | | | | | | |

R. Apr / RUGOSIDAD

| Tipo de plano | Dirección de buzamiento | Buzamiento | Composición | Espesor (cm) | ESCALONADA I Rugosa (I) | ESCALONADA II Lisa (II) | ESCALONADA III Slickensided (III) | ONDULADA I Rugosa (I) | ONDULADA II Lisa (II) | ONDULADA III Slickensided (III) | PLANA I Rugosa (I) | PLANA II Lisa (II) | PLANA III Slickensided (III) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 67 | 71 | | | | | | | | | | | |
| | 37 | 77 | | | | | | | | | | | |
| | 47 | 74 | | | | | | | | | | | |
| | 66 | 68 | | | | | | | | | | | |
| J1 | 36 | 72 | A C | 1 | X | | | | | | | | |
| | 49 | 61 | | | | | | | | | | | |
| | 52 | 74 | | | | | | | | | | | |
| | 54 | 78 | | | | | | | | | | | |
| | 150 | 64 | | | | | | | | | | | |
| | 126 | 74 | | | | | | | | | | | |
| | 125 | 89 | | | | | | | | | | | |
| | 142 | 67 | | | | | | | | | | | |
| J2 | 146 | 36 | A C | 0.1 | X | | | | | | | | |
| | 136 | 56 | | | | | | | | | | | |
| | 134 | 53 | | | | | | | | | | | |
| | 150 | 50 | | | | | | | | | | | |
| | 267 | 64 | | | | | | | | | | | |
| | 258 | 50 | | | | | | | | | | | |
| | 264 | 48 | | | | | | | | | | | |
| | 273 | 51 | | | | | | | | | | | |
| J3 | 280 | 38 | A C | 0.1 | | | | | | | | X | |
| | 295 | 52 | | | | | | | | | | | |
| | 282 | 52 | | | | | | | | | | | |
| | 285 | 46 | | | | | | | | | | | |
| | 293 | 35 | | | | | | | | | | | |

RELLENOS: METEORIZACIÓN / FILTRACIONES / Resist. Martillo (Geo. Schmidt)

| Tipo de plano | Dirección de buzamiento | Buzamiento | Sana (I) | Algo meteorizada (II) | Med. Meteorizada (III) | Muy meteorizada (IV) | Complet. Meteorizada (V) | Suelo Residual (VI) | Seco | Húmedo | Goteos | Flujo | Muy blando (F) | Blando (1) | Consistente (2) | Muy consistente (3) | Duro (4) | Muy Duro (5) | Índice R | Dirección |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 67 | 71 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 37 | 77 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 47 | 74 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 66 | 68 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J1 | 36 | 72 | | | X | | | | | X | | | J1 | 34 | 46 | 44 | 34 | 38 | 39.20 | 90 |
| | 49 | 61 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 52 | 74 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 54 | 78 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 150 | 64 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 126 | 74 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 125 | 89 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 142 | 67 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J2 | 146 | 36 | | | X | | | | | X | | | J2 | 48 | 30 | 34 | 32 | 32 | 35.20 | 90 |
| | 136 | 56 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 134 | 53 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 150 | 50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 267 | 64 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 258 | 50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 264 | 48 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 273 | 51 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J3 | 280 | 38 | | | X | | | | | X | | | J3 | 42 | 40 | 32 | 34 | 32 | 36.00 | 90 |
| | 295 | 52 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 282 | 52 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 285 | 46 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 293 | 35 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| TIPO DE PLANO | | | RELLENO | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Eo.- Estratificación | J1..Jn- Juntas | | S - Arena | B - Brecha | Q - Cuarzo | O - Óxidos | |
| | S1.- Esquistosidad | F1..Fn Fallas | | G - Gravas | A - Arcillas | M - Milonita | C - Calcita | F - Feldespato |

- Estación A2

**FICHA PARA LEVANTAMIENTO GEOMECÁNICO**

| ESTACIÓN | | | ESPACIADO (cm) | | | | | | | CONTINUIDAD (m) | | | | | APERTURA (mm) | | | | | | | | | R. Apr | | RUGOSIDAD | | | | | | | | | RELLENOS | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ESCALONADA | | | ONDULADA | | | PLANA | | | METEORIZACIÓN | | | | | | FILTRACIONES | | | | Resist. Martillo (Geo. Schmidt) | | | | | | | |
| TIPO DE PLANO | DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO | BUZAMIENTO | Ext. Juntas <2 | Muy Juntas 2 - 6 | Juntas 6 - 20 | Moder. Juntas 20 - 60 | Separadas 60 - 200 | Muy Separadas 200 - 600 | Ext. Separadas > 600 | Muy Baja <1 | Baja 1 - 3 | Moderada 3 - 10 | Alta 10 - 20 | Muy Alta >20 | Muy Cerrada <0,1 | Cerrada 0,1 - 0,25 | Parc. Cerrada 0,25 - 0,5 | Abierta 0,5 - 2,5 | Moder. Abierta 2,5 - 10 | Ancha >10 | Muy Ancha 10 - 100 | Ext. Ancha 100 - 1000 | Cavernosa > 1000 | Composición | Espesor (cm) | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | Sana | Algo meteorizada | Med. Meteorizada | Muy meteorizada | Complet. Meteorizada | Suelo Residual | Seco | Húmedo | Goteos | Flujo | Muy blando | Blando | Consistente | Muy consistente | Duro | Muy Duro | Índice R | Dirección |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | I | II | III | I | II | III | I | II | III | I | II | III | IV | V | VI | | | | | F | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| | 63 | 74 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 53 | 82 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 35 | 81 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 57 | 66 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J1 | 53 | 74 | | | | X | | | | | | | | X | | | | | | X | | | | A C | 1 | X | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | J1 | 36 | 40 | 54 | 39 | 34 | 40.60 | 90 |
| | 59 | 67 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 51 | 71 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 47 | 73 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 52 | 69 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 145 | 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 151 | 71 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 150 | 68 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J2 | 168 | 43 | | | | X | | | | | | | | X | | | | X | | | | | | A C | 0.1 | X | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | J2 | 46 | 47 | 41 | 38 | 42 | 42.80 | 90 |
| | 150 | 41 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 161 | 42 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 153 | 63 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 240 | 42 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 220 | 50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 210 | 52 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 240 | 65 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J3 | 90 | 65 | | | | X | | | | | | | | X | | | | X | | | | | | A C | 0.1 | | | | | | | X | | | | | X | | | | | X | | | J3 | 38 | 21 | 30 | 36 | 40 | 33.00 | 90 |
| | 195 | 67 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 191 | 70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 187 | 70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 192 | 71 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| TIPO DE PLANO | | RELLENO | |
|---|---|---|---|
| | Eo.- Estratificación J1..Jn- Juntas | | S - Arena B - Brecha Q - Cuarzo O - Óxidos |
| | S1.- Esquistosidad F1..Fn Fallas | | G - Gravas A - Arcillas M - Milonita C - Calcita F - Feldespato |

- Estación A3

FICHA PARA LEVANTAMIENTO GEOMECÁNICO

| ESTACIÓN | | | ESPACIADO (cm) | | | | | | | CONTINUIDAD (m) | | | | | APERTURA (mm) | | | | | | | | | R. Apr | | RUGOSIDAD | | | | | | | | | RELLENOS | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TIPO DE PLANO | DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO | BUZAMIENTO | Ext. Juntas | Muy Juntas | Juntas | Moder. Juntas | Separadas | Muy Separadas | Ext. Separadas | Muy Baja | Baja | Moderada | Alta | Muy Alta | Muy Cerrada | Cerrada | Parc. Cerrada | Abierta | Moder. Abierta | Ancha | Muy Ancha | Ext. Ancha | Cavernosa | Composición | Espesor (cm) | ESCALONADA | | | ONDULADA | | | PLANA | | | METEORIZACIÓN | | | | | | FILTRACIONES | | | | Resist. Martillo (Geo. Schmidt | | | | | | Índice R | Dirección |
| | | | <2 | 2 - 6 | 6 - 20 | 20 - 60 | 60 - 200 | 200 - 600 | > 600 | <1 | 1 - 3 | 3 - 10 | 10 - 20 | >20 | <0,1 | 0,1 - 0,25 | 0,25 - 0,5 | 0,5 - 2,5 | 2,5 - 10 | >10 | 10 - 100 | 100 - 1000 | > 1000 | | | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | Sana | Algo meteorizada | Med. Meteorizada | Muy meteorizada | Complet. Meteorizada | Suelo Residual | Seco | Húmedo | Goteos | Flujo | Muy blando | Blando | Consistente | Muy consistente | Duro | Muy Duro | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | I | II | III | I | II | III | I | II | III | I | II | III | IV | V | VI | | | | | F | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| J1 | 63 | 69 | | | | X | | | | | | | X | | | | | X | | | | | | A C | 0.1 | X | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | J1 | 26 | 32 | 32 | 34 | 28 | 30.40 | 90 |
| | 61 | 70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 58 | 64 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 49 | 76 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 59 | 68 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 45 | 70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 47 | 71 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 48 | 48 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J2 | 182 | 66 | | | | X | | | | | | | X | | | | | X | | | | | | A C | 0.1 | | | | | | | X | | | | | X | | | | | X | | | J2 | 34 | 28 | 24 | 44 | 44 | 34.80 | 90 |
| | 180 | 72 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 180 | 76 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 181 | 68 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 175 | 44 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 155 | 68 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 185 | 71 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 177 | 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 183 | 75 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J3 | 260 | 65 | | | | X | | | | | | | X | | | | | X | | | | | | A C | 0.1 | X | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | J3 | 36 | 28 | 32 | 34 | 40 | 34.00 | 90 |
| | 268 | 67 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 270 | 63 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 268 | 89 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 263 | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 265 | 90 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 270 | 85 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 260 | 87 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **TIPO DE PLANO** | Eo.- Estratificación | J1..Jn- Juntas | **RELLENO** | S - Arena | B - Brecha | Q - Cuarzo | O - Óxidos | | |
| | S1.- Esquistosidad | F1..Fn Fallas | | G - Gravas | A - Arcillas | M - Milonita | C - Calcita | F - Feldespato | |

- Estación A4

**FICHA PARA LEVANTAMIENTO GEOMECÁNICO**

| ESTACIÓN | | | ESPACIADO (cm) | | | | | | | S | Jv | CONTINUIDAD (m) | | | | | APERTURA (mm) | | | | | | | | | R. Apr | | RUGOSIDAD | | | | | | | | | RELLENOS | | | | | | | | | | | | | | | | Índice R | Dirección |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ESCALONADA | | | ONDULADA | | | PLANA | | | METEORIZACIÓN | | | | | | FILTRACIONES | | | | Resist. Martillo (Geo. Schmidt) | | | | | | | |
| TIPO DE PLANO | DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO | BUZAMIENTO | Ext. Juntas | Muy Juntas | Juntas | Moder. Juntas | Separadas | Muy Separadas | Ext. Separadas | Promedio | Final | Muy Baja | Baja | Moderada | Alta | Muy Alta | Muy Cerrada | Cerrada | Parc. Cerrada | Abierta | Moder. Abierta | Ancha | Muy Ancha | Ext. Ancha | Cavernosa | Composición | Espesor (cm) | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | Sana | Algo meteorizada | Med. Meteorizada | Muy meteorizada | Complet. Meteorizada | Suelo Residual | Seco | Húmedo | Goteos | Flujo | Muy blando | Blando | Consistente | Muy consistente | Duro | Muy Duro | | |
| | | | <2 | 2 - 6 | 6 - 20 | 20 - 60 | 60 - 200 | 200 - 600 | > 600 | (m) | | <1 | 1 - 3 | 3 - 10 | 10 - 20 | >20 | <0,1 | 0,1 - 0,25 | 0,25 - 0,5 | 0,5 - 2,5 | 2,5 - 10 | >10 | 10 - 100 | 100 - 1000 | > 1000 | | | I | II | III | I | II | III | I | II | III | I | II | III | IV | V | VI | | | | | F | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| | 180 | 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 174 | 56 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 179 | 61 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 187 | 62 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J1 | 174 | 67 | | | | X | | | | 0.2 | | | | | | X | | | | X | | | | | | A C | 0.1 | X | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | J1 | 40 | 26 | 24 | 26 | 32 | 29.60 | 90 |
| | 172 | 58 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 185 | 57 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 176 | 61 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 182 | 63 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 46 | 63 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 40 | 66 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 44 | 46 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J2 | 43 | 66 | | | | X | | | | 0.2 | 15 | | | | | X | | | | X | | | | | | A C | 0.1 | | | | X | | | | | | | | X | | | | | | | | J2 | 44 | 36 | 40 | 32 | 42 | 38.80 | 90 |
| | 41 | 52 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 40 | 61 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 45 | 65 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 42 | 61 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 134 | 87 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 141 | 74 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 129 | 89 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J3 | 139 | 85 | | | | X | | | | 0.2 | | | | | | X | | | | X | | | | | | A C | 0.1 | | | | X | | | | | | | | X | | | | | | | | J3 | 34 | 42 | 45 | 36 | 32 | 37.80 | 90 |
| | 134 | 89 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 140 | 76 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 137 | 86 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 138 | 89 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| TIPO DE PLANO | | | RELLENO | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Eo.- Estratificación | J1..Jn- Juntas | | S - Arena | B - Brecha | Q - Cuarzo | O - Óxidos | |
| | S1.- Esquistosidad | F1..Fn Fallas | | G - Gravas | A - Arcillas | M - Milonita | C - Calcita | F - Feldespato |

- Estación A5

FICHA PARA LEVANTAMIENTO GEOMECÁNICO

| ESTACIÓN | | | ESPACIADO (cm) | | | | | | | S | Jv | CONTINUIDAD (m) | | | | | APERTURA (mm) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TIPO DE PLANO | DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO | BUZAMIENTO | Ext. Juntas | Muy Juntas | Juntas | Moder. Juntas | Separadas | Muy Separadas | Ext. Separadas | Promedio | Final | Muy Baja | Baja | Moderada | Alta | Muy Alta | Muy Cerrada | Cerrada | Parc. Cerrada | Abierta | Moder. Abierta | Ancha | Muy Ancha | Ext. Ancha | Cavernosa |
| | | | <2 | 2 - 6 | 6 - 20 | 20 - 60 | 60 - 200 | 200 - 600 | > 600 | (m) | | <1 | 1 - 3 | 3 - 10 | 10 - 20 | >20 | <0,1 | 0,1 - 0,25 | 0,25 - 0,5 | 0,5 - 2,5 | 2,5 - 10 | >10 | 10 - 100 | 100 - 1000 | > 1000 |
| J1 | 22 | 70 | | | | X | | | | 0.2 | | | | | | X | | | | X | | | | | |
| | 25 | 72 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 22 | 74 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 24 | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 28 | 75 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 30 | 75 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 35 | 72 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 27 | 70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J2 | 175 | 43 | | | | X | | | | 0.2 | 15 | | | | | X | | | | X | | | | | |
| | 190 | 50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 170 | 65 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 185 | 65 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 175 | 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 174 | 50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 182 | 61 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 175 | 58 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 187 | 63 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J3 | 145 | 71 | | | | X | | | | 0.2 | | | | | | X | | | | X | | | | | |
| | 165 | 65 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 140 | 78 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 140 | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 147 | 75 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 160 | 68 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 158 | 67 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 141 | 83 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| TIPO DE PLANO | R. Apr | | RUGOSIDAD | | | | | | | | | RELLENOS | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ESCALONADA | | | ONDULADA | | | PLANA | | | METEORIZACIÓN | | | | | | FILTRACIONES | | | | Resist. Martillo (Geo. Schmidt) | | | | | | | |
| | Composición | Espesor (cm) | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | Sana | Algo meteorizada | Med. Meteorizada | Muy meteorizada | Complet. Meteorizada | Suelo Residual | Seco | Húmedo | Goteos | Flujo | Muy blando | Blando | Consistente | Muy consistente | Duro | Muy Duro | Índice R | Direción |
| | | | I | II | III | I | II | III | I | II | III | I | II | III | IV | V | VI | | | | | F | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| J1 | A C | 0.1 | | | | X | | | | | | | | X | | | | | X | | | J1 | 45 | 33 | 31 | 48 | 36 | 38.60 | 90 |
| J2 | A C | 0.1 | | | | | X | | | | | | | X | | | | | X | | | J2 | 40 | 38 | 33 | 47 | 34 | 38.40 | 90 |
| J3 | A C | 0.1 | | X | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | J3 | 48 | 38 | 36 | 42 | 40 | 40.80 | 90 |

| TIPO DE PLANO | | | RELLENO | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Eo.- Estratificación | J1..Jn- Juntas | | S - Arena | B - Brecha | Q - Cuarzo | O - Óxidos | |
| | S1.- Esquistosidad | F1..Fn Fallas | | G - Gravas | A - Arcillas | M - Milonita | C - Calcita | F - Feldespato |

- Estación A6

FICHA PARA LEVANTAMIENTO GEOMECÁNICO

| ESTACIÓN | | | ESPACIADO (cm) | | | | | | | S | Jv | CONTINUIDAD (m) | | | | | APERTURA (mm) | | | | | | | | | R. Apr | | RUGOSIDAD | | | | | | | | | RELLENOS | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ESCALONADA | | | ONDULADA | | | PLANA | | | METEORIZACIÓN | | | | | | FILTRACIONES | | | | Resist. Martillo (Geo. Schmidt) | | | | | | | |
| TIPO DE PLANO | DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO | BUZAMIENTO | Ext. Juntas <2 | Muy Juntas 2 - 6 | Juntas 6 - 20 | Moder. Juntas 20 - 60 | Separadas 60 - 200 | Muy Separadas 200 - 600 | Ext. Separadas > 600 | Promedio (m) | Final | Muy Baja <1 | Baja 1 - 3 | Moderada 3 - 10 | Alta 10 - 20 | Muy Alta >20 | Muy Cerrada <0,1 | Cerrada 0,1 - 0,25 | Parc. Cerrada 0,25 - 0,5 | Abierta 0,5 - 2,5 | Moder. Abierta 2,5 - 10 | Ancha >10 | Muy Ancha 10 - 100 | Ext. Ancha 100 - 1000 | Cavernosa > 1000 | Composición | Espesor (cm) | I Rugosa (I) | II Lisa (II) | III Slickensided (III) | I Rugosa (I) | II Lisa (II) | III Slickensided (III) | I Rugosa (I) | II Lisa (II) | III Slickensided (III) | Sana (I) | Algo meteorizada (II) | Med. Meteorizada (III) | Muy meteorizada (IV) | Complet. Meteorizada (V) | Suelo Residual (VI) | Seco | Húmedo | Goteos | Flujo | Muy blando (F) | Blando (1) | Consistente (2) | Muy consistente (3) | Duro (4) | Muy Duro (5) | Índice R | Dirección |
| J1 | 64 | 81 | | | | X | | | | 0.2 | | | | | | X | | | | X | | | | | | A C | 0.1 | X | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | J1 | 44 | 34 | 32 | 44 | 42 | 39.20 | 90 |
| | 66 | 86 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 61 | 86 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 60 | 89 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 67 | 84 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 66 | 87 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 72 | 81 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 63 | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J2 | 307 | 78 | | | | X | | | | 0.2 | 35 | | | | | X | | | | X | | | | | | A C | 0.1 | X | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | J2 | 30 | 28 | 30 | 40 | 38 | 33.20 | 90 |
| | 304 | 78 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 310 | 78 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 300 | 89 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 305 | 85 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 309 | 78 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 301 | 78 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 312 | 77 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 307 | 79 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J3 | 156 | 46 | | X | | | | | | 0 | | | | | | X | | | | X | | | | | | A C | 0.1 | | | | | | | X | | | | | X | | | | | X | | | J3 | 40 | 34 | 28 | 28 | 36 | 33.20 | 90 |
| | 167 | 47 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 157 | 39 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 164 | 73 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 160 | 41 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 158 | 49 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 147 | 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 155 | 47 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| TIPO DE PLANO | | | RELLENO | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Eo.- Estratificación | J1..Jn- Juntas | | S - Arena | B - Brecha | Q - Cuarzo | O - Óxidos |
| | S1.- Esquistosidad | F1..Fn Fallas | | G - Gravas | A - Arcillas | M - Milonita | C - Calcita, F - Feldespato |

- Estación A7

FICHA PARA LEVANTAMIENTO GEOMECÁNICO

| ESTACIÓN | | | ESPACIADO (cm) | | | | | | | S | Jv | CONTINUIDAD (m) | | | | | APERTURA (mm) | | | | | | | | | R. Apr | | RUGOSIDAD | | | | | | | | | RELLENOS | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ESCALONADA | | | ONDULADA | | | PLANA | | | METEORIZACIÓN | | | | | | FILTRACIONES | | | | Resist. Martillo (Geo. Schmidt) | | | | | | | |
| TIPO DE PLANO | DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO | BUZAMIENTO | Ext. Juntas | Muy Juntas | Juntas | Moder. Juntas | Separadas | Muy Separadas | Ext. Separadas | Promedio | Final | Muy Baja | Baja | Moderada | Alta | Muy Alta | Muy Cerrada | Cerrada | Parc. Cerrada | Abierta | Moder. Abierta | Ancha | Muy Ancha | Ext. Ancha | Cavernosa | Composición | Espesor (cm) | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | Sana | Algo meteorizada | Med. Meteorizada | Muy meteorizada | Complet. Meteorizada | Suelo Residual | Seco | Húmedo | Goteos | Flujo | Muy blando | Blando | Consistente | Muy consistente | Duro | Muy Duro | Índice R | Dirección |
| | | | <2 | 2 - 6 | 6 - 20 | 20 - 60 | 60 - 200 | 200 - 600 | > 600 | (m) | | <1 | 1 - 3 | 3 - 10 | 10 - 20 | >20 | <0,1 | 0,1 - 0,25 | 0,25 - 0,5 | 0,5 - 2,5 | 2,5 - 10 | >10 | 10 - 100 | 100 - 1000 | > 1000 | | | I | II | III | I | II | III | I | II | III | I | II | III | IV | V | VI | | | | | F | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| | 15 | 76 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Lutita | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Lutita | | | | | | | |
| | 14 | 85 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 13 | 70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 17 | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | J1 | 30 | 36 | 32 | 34 | 38 | 34.00 | |
| | 7 | 81 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 18 | 72 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J1 | 17 | 74 | | X | | | | | | 0 | | | | | | X | | | | | X | | | | | A C | 1 | Arenisca | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | Arenisca | | | | | | | 90 |
| | 16 | 70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 21 | 74 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 24 | 76 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | J1 | 44 | 42 | 30 | 40 | 34 | 38.00 | |
| | 10 | 64 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 14 | 76 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 300 | 88 | | | | | | | | | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | Lutita | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Lutita | | | | | | | |
| | 297 | 84 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 301 | 82 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 304 | 84 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | J2 | 40 | 40 | 46 | 44 | 46 | 43.20 | |
| | 303 | 87 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 304 | 81 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J2 | 302 | 82 | | X | | | | | | 0 | | | | | | X | | | | | | | X | | | A C | 2.5 | Arenisca | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | Arenisca | | | | | | | 90 |
| | 304 | 81 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 299 | 84 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 288 | 83 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 296 | 87 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | J2 | 30 | 34 | 30 | 32 | 40 | 33.20 | |
| | 300 | 81 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 307 | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| TIPO DE PLANO | Eo.- Estratificación | J1..Jn- Juntas | RELLENO | S - Arena | B - Brecha | Q - Cuarzo | O - Óxidos | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | S1.- Esquistosidad | F1..Fn Fallas | | G - Gravas | A - Arcillas | M - Milonita | C - Calcita | F - Feldespato |

- Estación A8

FICHA PARA LEVANTAMIENTO GEOMECÁNICO

| ESTACIÓN | | | ESPACIADO (cm) | | | | | | | S | Jv | CONTINUIDAD (m) | | | | | APERTURA (mm) | | | | | | | | | R. Apr | | RUGOSIDAD | | | | | | | | | RELLENOS | | | | | | | | | | | | | | | | Índice R | Dirección |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ESCALONADA | | | ONDULADA | | | PLANA | | | METEORIZACIÓN | | | | | | FILTRACIONES | | | | Resist. Martillo (Geo. Schmidt) | | | | | | | |
| TIPO DE PLANO | DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO | BUZAMIENTO | Ext. Juntas | Muy Juntas | Juntas | Moder. Juntas | Separadas | Muy Separadas | Ext. Separadas | Promedio | Final | Muy Baja | Baja | Moderada | Alta | Muy Alta | Muy Cerrada | Cerrada | Parc. Cerrada | Abierta | Moder. Abierta | Ancha | Muy Ancha | Ext. Ancha | Cavernosa | Composición | Espesor (cm) | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | Sana | Algo meteorizada | Med. Meteorizada | Muy meteorizada | Complet. Meteorizada | Suelo Residual | Seco | Húmedo | Goteos | Flujo | Muy blando | Blando | Consistente | Muy consistente | Duro | Muy Duro | | |
| | | | <2 | 2 - 6 | 6 - 20 | 20 - 60 | 60 - 200 | 200 - 600 | > 600 | (m) | | <1 | 1 - 3 | 3 - 10 | 10 - 20 | >20 | <0,1 | 0,1 - 0,25 | 0,25 - 0,5 | 0,5 - 2,5 | 2,5 - 10 | >10 | 10 - 100 | 100 - 1000 | > 1000 | | | I | II | III | I | II | III | I | II | III | I | II | III | IV | V | VI | | | | | F | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| J1 | 12 | 73 | | X | | | | | | 0 | | | | | | X | | | | | | X | | | | A C | 1 | | X | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | J1 | 30 | 32 | 38 | 32 | 41 | 34.60 | 90 |
| | 357 | 64 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 355 | 70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 4 | 75 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 7 | 68 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 10 | 70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J2 | 292 | 89 | | X | | | | | | 0 | | | | | | X | | | | | | X | | | | A C | 1 | | X | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | J2 | 36 | 48 | 40 | 31 | 35 | 38.00 | 90 |
| | 305 | 89 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 300 | 89 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 306 | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 302 | 88 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 301 | 87 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J3 | 195 | 22 | | | X | | | | | 0.1 | 164 | | | | | X | | | | X | | | | | | A C | 0.1 | | | | | | | X | | | | | X | | | | | X | | | J3 | 32 | 42 | 39 | 37 | 34 | 36.80 | 90 |
| | 185 | 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 191 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 183 | 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 183 | 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 180 | 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J4 | 115 | 44 | | X | | | | | | 0 | | | | | | X | | | | | | X | | | | A C | 1 | | | | | | | | X | | | | X | | | | | X | | | J4 | 33 | 26 | 36 | 46 | 34 | 35.00 | 90 |
| | 125 | 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 127 | 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 115 | 61 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 130 | 65 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 112 | 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 120 | 58 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| TIPO DE PLANO | | | RELLENO | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Eo.- Estratificación | J1..Jn- Juntas | | S - Arena | B - Brecha | Q - Cuarzo | O - Óxidos | |
| | S1.- Esquistosidad | F1..Fn Fallas | | G - Gravas | A - Arcillas | M - Milonita | C - Calcita | F - Feldespato |

- Estación A9

FICHA PARA LEVANTAMIENTO GEOMECÁNICO

| ESTACIÓN: TIPO DE PLANO | ESTACIÓN: DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO | ESTACIÓN: BUZAMIENTO | ESPACIADO (cm): Ext. Juntas <2 | Muy Juntas 2 - 6 | Juntas 6 - 20 | Moder. Juntas 20 - 60 | Separadas 60 - 200 | Muy Separadas 200 - 600 | Ext. Separadas > 600 | S: Promedio (m) | Jv: Final | CONTINUIDAD (m): Muy Baja <1 | Baja 1 - 3 | Moderada 3 - 10 | Alta 10 - 20 | Muy Alta >20 | APERTURA (mm): Muy Cerrada <0,1 | Cerrada 0,1 - 0,25 | Parc. Cerrada 0,25 - 0,5 | Abierta 0,5 - 2,5 | Moder. Abierta 2,5 - 10 | Ancha >10 | Muy Ancha 10 - 100 | Ext. Ancha 100 - 1000 | Cavernosa > 1000 | R. Apr: Composición | R. Apr: Espesor (cm) | RUGOSIDAD ESCALONADA: I Rugosa (I) | II Lisa (II) | III Slickensided (III) | ONDULADA: I Rugosa (I) | II Lisa (II) | III Slickensided (III) | PLANA: I Rugosa (I) | II Lisa (II) | III Slickensided (III) | RELLENOS METEORIZACIÓN: Sana (I) | Algo meteorizada (II) | Med. Meteorizada (III) | Muy meteorizada (IV) | Complet. Meteorizada (V) | Suelo Residual (VI) | FILTRACIONES: Seco | Húmedo | Goteos | Flujo | Resist. Martillo (Geo. Schmidt): Muy blando (F) | Blando (1) | Consistente (2) | Muy consistente (3) | Duro (4) | Muy Duro (5) | Índice R | Dirección |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 300 | 87 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 297 | 86 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 290 | 85 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 300 | 88 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J1 | 300 | 85 | | X | | | | | | 0 | | | | | X | | | | | X | | | | | | A C | 0.1 | X | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | J1 | 51 | 48 | 42 | 52 | 50 | 48.60 | 90 |
| | 305 | 86 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 300 | 87 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 298 | 90 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 297 | 89 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 355 | 78 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 10 | 78 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 15 | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 13 | 85 | | | | | | | | | 150 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J2 | 359 | 79 | | X | | | | | | 0 | | | | | X | | | | | X | | | | | | A C | 0.1 | X | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | J2 | 51 | 50 | 54 | 48 | 45 | 49.60 | 90 |
| | 5 | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 12 | 82 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 14 | 85 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 182 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 173 | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 160 | 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 161 | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J3 | 167 | 5 | | X | | | | | | 0 | | | | | X | | | | | X | | | | | | A C | 0.1 | X | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | J3 | 46 | 46 | 44 | 42 | 41 | 43.80 | 90 |
| | 168 | 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 165 | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 163 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| TIPO DE PLANO | | RELLENO | |
|---|---|---|---|
| | Eo.- Estratificación J1..Jn- Juntas | | S |
| | S1.- Esquistosidad F1..Fn Fallas | | G - Gravas A - Arcillas M - Milonita C - Calcita F - Feldespato |

### 8.4.2 Sitio crítico 2

- Estación A10

FICHA PARA LEVANTAMIENTO GEOMECÁNICO

| Tipo de plano | Dirección de buzamiento | Buzamiento | Espaciado (cm) Ext. Juntas <2 | Muy Juntas 2 - 6 | Juntas 6 - 20 | Moder. Juntas 20 - 60 | Separadas 60 - 200 | Muy Separadas 200 - 600 | Ext. Separadas > 600 | S Promedio (m) | Jv Final | Continuidad (m) Muy Baja <1 | Baja 1 - 3 | Moderada 3 - 10 | Alta 10 - 20 | Muy Alta >20 | Apertura (mm) Muy Cerrada <0,1 | Cerrada 0,1 - 0,25 | Parc. Cerrada 0,25 - 0,5 | Abierta 0,5 - 2,5 | Moder. Abierta 2,5 - 10 | Ancha >10 | Muy Ancha 10 - 100 | Ext. Ancha 100 - 1000 | Cavernosa > 1000 | R. Apr Composición | Espesor (cm) | Rugosidad Escalonada I Rugosa | Escalonada II Lisa | Escalonada III Slickensided | Ondulada I Rugosa | Ondulada II Lisa | Ondulada III Slickensided | Plana I Rugosa | Plana II Lisa | Plana III Slickensided | Rellenos Meteorización Sana I | Algo meteorizada II | Med. Meteorizada III | Muy meteorizada IV | Complet. Meteorizada V | Suelo Residual VI | Filtraciones Seco | Húmedo | Goteos | Flujo | Resist. Martillo (Geo. Schmidt) Muy blando F | Blando 1 | Consistente 2 | Muy consistente 3 | Duro 4 | Muy Duro 5 | Índice R | Dirección |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 310 | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 300 | 88 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 297 | 90 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 298 | 89 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J1 | 305 | 85 | | X | | | | | | 0 | | | | | X | | | | | X | | | | | | A C | 0.1 | X | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | J1 | 40 | 45 | 49 | 44 | 41 | 43.80 | 90 |
| | 306 | 84 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 310 | 83 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 297 | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 295 | 79 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 15 | 75 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 14 | 73 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 15 | 70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 16 | 66 | | | | | | | | | 150 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J2 | 17 | 65 | | X | | | | | | 0 | | | | | X | | | | | X | | | | | | A C | 0.1 | X | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | J2 | 48 | 36 | 42 | 38 | 37 | 40.20 | 90 |
| | 8 | 67 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 5 | 70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 7 | 70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 200 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 197 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 195 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J3 | 200 | 10 | | X | | | | | | 0 | | | | | X | | | | | X | | | | | | A C | 0.1 | X | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | J3 | 32 | 36 | 35 | 40 | 39 | 36.40 | 90 |
| | 203 | 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 207 | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 206 | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 208 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

**TIPO DE PLANO**: Eo.- Estratificación; J1..Jn- Juntas; S1.- Esquistosidad; F1..Fn Fallas

**RELLENO**: S - Arena; B - Brecha; Q - Cuarzo; O - Óxidos; G - Gravas; A - Arcillas; M - Milonita; C - Calcita; F - Feldespato

- Estación B1

FICHA PARA LEVANTAMIENTO GEOMECÁNICO

| ESTACIÓN | | | ESPACIADO (cm) | | | | | | | CONTINUIDAD (m) | | | | | APERTURA (mm) | | | | | | | | | R. Apr | | RUGOSIDAD | | | | | | | | | RELLENOS | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ESCALONADA | | | ONDULADA | | | PLANA | | | METEORIZACIÓN | | | | | | FILTRACIONES | | | | Resist. Martillo (Geo. Schmidt | | | | | | | |
| TIPO DE PLANO | DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO | BUZAMIENTO | Ext. Juntas | Muy Juntas | Juntas | Moder. Juntas | Separadas | Muy Separadas | Ext. Separadas | Muy Baja | Baja | Moderada | Alta | Muy Alta | Muy Cerrada | Cerrada | Parc. Cerrada | Abierta | Moder. Abierta | Ancha | Muy Ancha | Ext. Ancha | Cavernosa | Composición | Espesor (cm) | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | Sana | Algo meteorizada | Med. Meteorizada | Muy meteorizada | Complet. Meteorizada | Suelo Residual | Seco | Húmedo | Goteos | Flujo | Muy blando | Blando | Consistente | Muy consistente | Duro | Muy Duro | Índice R | Dirección |
| | | | <2 | 2 - 6 | 6 - 20 | 20 - 60 | 60 - 200 | 200 - 600 | > 600 | <1 | 1 - 3 | 3 - 10 | 10 - 20 | >20 | <0,1 | 0,1 - 0,25 | 0,25 - 0,5 | 0,5 - 2,5 | 2,5 - 10 | >10 | 10 - 100 | 100 - 1000 | > 1000 | | | I | II | III | I | II | III | I | II | III | I | II | III | IV | V | VI | | | | | F | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| J1 | 115 | 80 | | X | | | | | | | | | | X | | | | X | | | | | | C | 0.1 | | | | | X | | | | | X | | | | | | | X | | | | J1 | 49 | 50 | 50 | 54 | 51 | 50.80 | 90 |
| | 117 | 74 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 140 | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 137 | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 135 | 76 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 137 | 75 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 146 | 76 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 149 | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J2 | 58 | 49 | | | X | | | | | | | | | X | | | | X | | | | | | C | 0.1 | | | | | | | | X | | | | X | | | | | X | | | | J2 | 54 | 34 | 38 | 36 | 46 | 41.60 | 90 |
| | 65 | 65 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 45 | 65 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 44 | 55 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 55 | 64 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 57 | 75 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 48 | 68 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 51 | 67 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J3 | 130 | 10 | | | X | | | | | | | | | X | | | | X | | | | | | C | 0.1 | | | | | | | | X | | | | X | | | | | X | | | | J3 | 36 | 45 | 28 | 38 | 32 | 35.80 | 90 |
| | 120 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 95 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 130 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J4 | 345 | 75 | | | | X | | | | | | | | X | | | | X | | | | | | C | 0.1 | | | | | | | | X | | | | X | | | | | X | | | | J4 | 36 | 31 | 46 | 41 | 36 | 38.00 | 90 |
| | 342 | 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 350 | 55 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 15 | 52 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0 | 55 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| TIPO DE PLANO | Eo.- Estratificación | J1..Jn- Juntas | RELLENO | S - Arena | B - Brecha | Q - Cuarzo | O - Óxidos |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | S1.- Esquistosidad | F1..Fn Fallas | | G - Gravas | A - Arcillas | M - Milonita | C - Calcita | F - Feldespato |

- Estación B2

FICHA PARA LEVANTAMIENTO GEOMECÁNICO

| ESTACIÓN | | | ESPACIADO (cm) | | | | | | | CONTINUIDAD (m) | | | | | APERTURA (mm) | | | | | | | | | R. Apr | | RUGOSIDAD | | | | | | | | | RELLENOS | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TIPO DE PLANO | DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO | BUZAMIENTO | Ext. Juntas | Muy Juntas | Juntas | Moder. Juntas | Separadas | Muy Separadas | Ext. Separadas | Muy Baja | Baja | Moderada | Alta | Muy Alta | Muy Cerrada | Cerrada | Parc. Cerrada | Abierta | Moder. Abierta | Ancha | Muy Ancha | Ext. Ancha | Cavernosa | Composición | Espesor (cm) | ESCALONADA | | | ONDULADA | | | PLANA | | | METEORIZACIÓN | | | | | | FILTRACIONES | | | | Resist. Martillo (Geo. Schmidt) | | | | | | Índice R | Dirección |
| | | | <2 | 2 - 6 | 6 - 20 | 20 - 60 | 60 - 200 | 200 - 600 | > 600 | <1 | 1 - 3 | 3 - 10 | 10 - 20 | >20 | <0,1 | 0,1 - 0,25 | 0,25 - 0,5 | 0,5 - 2,5 | 2,5 - 10 | >10 | 10 - 100 | 100 - 1000 | > 1000 | | | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | Sana | Algo meteorizada | Med. Meteorizada | Muy meteorizada | Complet. Meteorizada | Suelo Residual | Seco | Húmedo | Goteos | Flujo | Muy blando | Blando | Consistente | Muy consistente | Duro | Muy Duro | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | I | II | III | I | II | III | I | II | III | I | II | III | IV | V | VI | | | | | F | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| J1 | 50 | 70 | | | | X | | | | | | | | X | | | | X | | | | | | A C | 0.2 | | | | | X | | | | | | | X | | | | | X | | | J1 | 38 | 36 | 48 | 42 | 43 | 41.40 | 90 |
| | 40 | 75 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 45 | 70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 35 | 75 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 42 | 78 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 40 | 85 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 41 | 76 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 50 | 78 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J2 | 315 | 65 | | | | X | | | | | | | | X | | | | | X | | | | | A C | 0.5 | | | | | X | | | | | | | X | | | | | X | | | J2 | 45 | 49 | 40 | 30 | 48 | 42.40 | 90 |
| | 320 | 70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 335 | 75 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 325 | 85 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 317 | 72 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 327 | 68 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 320 | 62 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 328 | 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J3 | 65 | 30 | | | | X | | | | | | | | X | | | | X | | | | | | A C | 0.2 | | | | | | | | X | | | | X | | | | | X | | | J3 | 35 | 38 | 43 | 44 | 38 | 39.60 | 90 |
| | 70 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 70 | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 55 | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 70 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 71 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 60 | 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 66 | 31 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 71 | 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| TIPO DE PLANO | | | RELLENO | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Eo.- Estratificación | J1..Jn- Juntas | | S - Arena | B - Brecha | Q - Cuarzo | O - Óxidos | |
| S1.- Esquistosidad | F1..Fn Fallas | | G - Gravas | A - Arcillas | M - Milonita | C - Calcita | F - Feldespato |

- Estación B3

| FICHA PARA LEVANTAMIENTO GEOMECÁNICO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ESTACIÓN | | | ESPACIADO (cm) | | | | | | | CONTINUIDAD (m) | | | | | APERTURA (mm) | | | | | | | | | R. Apr | | RUGOSIDAD | | | | | | | | | RELLENOS | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TIPO DE PLANO | DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO | BUZAMIENTO | Ext. Juntas | Muy Juntas | Juntas | Moder. Juntas | Separadas | Muy Separadas | Ext. Separadas | Muy Baja | Baja | Moderada | Alta | Muy Alta | Muy Cerrada | Cerrada | Parc. Cerrada | Abierta | Moder. Abierta | Ancha | Muy Ancha | Ext. Ancha | Cavernosa | Composición | Espesor (cm) | ESCALONADA | | | ONDULADA | | | PLANA | | | METEORIZACIÓN | | | | | | FILTRACIONES | | | | Resist. Martillo (Geo. Schmidt) | | | | | | Índice R | Dirección |
| | | | <2 | 2 - 6 | 6 - 20 | 20 - 60 | 60 - 200 | 200 - 600 | > 600 | <1 | 1 - 3 | 3 - 10 | 10 - 20 | >20 | <0,1 | 0,1 - 0,25 | 0,25 - 0,5 | 0,5 - 2,5 | 2,5 - 10 | >10 | 10 - 100 | 100 - 1000 | > 1000 | | | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | Sana | Algo meteorizada | Med. Meteorizada | Muy meteorizada | Complet. Meteorizada | Suelo Residual | Seco | Húmedo | Goteos | Flujo | Muy blando | Blando | Consistente | Muy consistente | Duro | Muy Duro | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | I | II | III | I | II | III | I | II | III | I | II | III | IV | V | VI | | | | | F | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| J1 | 137 | 75 | | X | | | | | | | | | | X | | | | | | X | | | | C | 2.5 | | | | | | | | X | | | | X | | | | | X | | | J1 | 32 | 49 | 36 | 35 | 42 | 38.80 | 90 |
| | 110 | 78 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 115 | 70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 120 | 65 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 125 | 74 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 127 | 65 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 130 | 72 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 130 | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J2 | 42 | 75 | | | | X | | | | | | | | X | | | | X | | | | | | C | 0.1 | | | | | X | | | | | | | X | | | | | X | | | J2 | 54 | 45 | 43 | 41 | 44 | 45.40 | 90 |
| | 40 | 70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 45 | 70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 20 | 88 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 20 | 85 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 22 | 90 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 25 | 88 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 28 | 85 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J3 | 355 | 10 | | | | X | | | | | | | | X | | | | X | | | | | | C | 0.1 | | | | | X | | | | | | | X | | | | | X | | | J3 | 35 | 38 | 43 | 44 | 38 | 39.60 | 90 |
| | 350 | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 360 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 355 | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 4 | 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 352 | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 356 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| TIPO DE PLANO | | | RELLENO | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Eo.- Estratificación | J1..Jn- Juntas | | S - Arena | B - Brecha | Q - Cuarzo | O - Óxidos |
| | S1.- Esquistosidad | F1..Fn Fallas | | G - Gravas | A - Arcillas | M - Milonita | C - Calcita / F - Feldespato |

- Estación B4

FICHA PARA LEVANTAMIENTO GEOMECÁNICO

| ESTACIÓN | | | ESPACIADO (cm) | | | | | | | CONTINUIDAD (m) | | | | | APERTURA (mm) | | | | | | | | | R. Apr | | RUGOSIDAD | | | | | | | | | RELLENOS | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ESCALONADA | | | ONDULADA | | | PLANA | | | METEORIZACIÓN | | | | | | FILTRACIONES | | | | Resist. Martillo (Geo. Schmidt | | | | | | | |
| TIPO DE PLANO | DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO | BUZAMIENTO | Ext. Juntas | Muy Juntas | Juntas | Moder. Juntas | Separadas | Muy Separadas | Ext. Separadas | Muy Baja | Baja | Moderada | Alta | Muy Alta | Muy Cerrada | Cerrada | Parc. Cerrada | Abierta | Moder. Abierta | Ancha | Muy Ancha | Ext. Ancha | Cavernosa | Composición | Espesor (cm) | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | Sana | Algo meteorizada | Med. Meteorizada | Muy meteorizada | Complet. Meteorizada | Suelo Residual | Seco | Húmedo | Goteos | Flujo | Muy blando | Blando | Consistente | Muy consistente | Duro | Muy Duro | Índice R | Dirección |
| | | | <2 | 2 - 6 | 6 - 20 | 20 - 60 | 60 - 200 | 200 - 600 | > 600 | <1 | 1 - 3 | 3 - 10 | 10 - 20 | >20 | <0,1 | 0,1 - 0,25 | 0,25 - 0,5 | 0,5 - 2,5 | 2,5 - 10 | >10 | 10 - 100 | 100 - 1000 | > 1000 | | | I | II | III | I | II | III | I | II | III | I | II | III | IV | V | VI | | | | | F | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| J1 | 115 | 66 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 122 | 75 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 125 | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 123 | 90 | | | X | | | | | | | | | X | | | | X | | | | | | A C | 0.5 | | | | | | | | X | | | | X | | | | | | X | | | | J1 | 45 | 44 | 38 | 49 | 46 | 44.40 | |
| | 130 | 89 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 115 | 75 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 125 | 81 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 131 | 81 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J2 | 355 | 35 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 350 | 35 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 350 | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 3 | 40 | | X | | | | | | | | | | X | | | | | | | X | | | A C | 10 | | | | | | | | X | | | | X | | | | | | X | | | | J2 | 24 | 28 | 39 | 32 | 38 | 32.20 | |
| | 335 | 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 345 | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 5 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 355 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J3 | 85 | 65 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 93 | 75 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 82 | 90 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 70 | 90 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 67 | 85 | | | | X | | | | | | | | X | | | | X | | | | | | A C | 0.5 | | | | | X | | | | | | | X | | | | | | X | | | | J3 | 35 | 38 | 53 | 39 | 48 | 42.60 | |
| | 15 | 90 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 55 | 85 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 68 | 81 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 67 | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| TIPO DE PLANO | Eo.- Estratificación | J1..Jn- Juntas |
|---|---|---|
| | S1.- Esquistosidad | F1..Fn Fallas |

| RELLENO | S - Arena | B - Brecha | Q - Cuarzo | O - Óxidos |
|---|---|---|---|---|
| | G - Gravas | A - Arcillas | M - Milonita | C - Calcita | F - Feldespato |

- Estación B5

| TIPO DE PLANO | DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO | BUZAMIENTO | ESPACIADO (cm): Ext. Juntas <2 | Muy Juntas 2 - 6 | Juntas 6 - 20 | Moder. Juntas 20 - 60 | Separadas 60 - 200 | Muy Separadas 200 - 600 | Ext. Separadas > 600 | CONTINUIDAD (m): Muy Baja <1 | Baja 1 - 3 | Moderada 3 - 10 | Alta 10 - 20 | Muy Alta >20 | APERTURA (mm): Muy Cerrada <0,1 | Cerrada 0,1 - 0,25 | Parc. Cerrada 0,25 - 0,5 | Abierta 0,5 - 2,5 | Moder. Abierta 2,5 - 10 | Ancha >10 | Muy Ancha 10 - 100 | Ext. Ancha 100 - 1000 | Cavernosa > 1000 | R. Apr: Composición | Espesor (cm) | RUGOSIDAD: ESCALONADA I Rugosa | ESCALONADA II Lisa | ESCALONADA III Slickensided | ONDULADA I Rugosa | ONDULADA II Lisa | ONDULADA III Slickensided | PLANA I Rugosa | PLANA II Lisa | PLANA III Slickensided | RELLENOS: METEORIZACIÓN: Sana I | Algo meteorizada II | Med. Meteorizada III | Muy meteorizada IV | Complet. Meteorizada V | Suelo Residual VI | FILTRACIONES: Seco | Húmedo | Goteos | Flujo | Resist. Martillo (Geo. Schmidt): Muy blando F | Blando 1 | Consistente 2 | Muy consistente 3 | Duro 4 | Muy Duro 5 | Índice R | Dirección |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| J1 | 120 | 56 | | X | | | | | | | | | | X | | | | X | | | | | | C | 0.2 | | X | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | J1 | 44 | 30 | 45 | 48 | 33 | 40.00 | 90 |
| | 120 | 55 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 123 | 56 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 134 | 57 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 125 | 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 117 | 54 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 128 | 58 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J2 | 22 | 60 | | | X | | | | | | | | | X | | | | X | | | | | | C | 0.2 | | X | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | J2 | 44 | 35 | 35 | 38 | 36 | 37.60 | 90 |
| | 25 | 76 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 20 | 73 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 22 | 74 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 17 | 90 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 21 | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J3 | 253 | 27 | | | X | | | | | | | | | X | | | | X | | | | | | C | 0.2 | | X | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | J3 | 44 | 41 | 46 | 42 | 44 | 43.40 | 90 |
| | 257 | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 251 | 28 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 252 | 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 248 | 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 251 | 26 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J4 | 355 | 36 | | | | X | | | | | | | | X | | | | X | | | | | | C | 0.2 | | X | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | J4 | 60 | 61 | 42 | 39 | 52 | 50.80 | 90 |
| | 353 | 39 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 354 | 35 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 357 | 33 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 360 | 35 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 356 | 37 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

**TIPO DE PLANO**: Eo.- Estratificación; J1..Jn- Juntas; S1.- Esquistosidad; F1..Fn Fallas

**RELLENO**: S - Arena; B - Brecha; Q - Cuarzo; O - Óxidos; G - Gravas; A - Arcillas; M - Milonita; C - Calcita; F - Feldespato

- Estación B6

**FICHA PARA LEVANTAMIENTO GEOMECÁNICO**

| ESTACIÓN | | | ESPACIADO (cm) | | | | | | | CONTINUIDAD (m) | | | | | APERTURA (mm) | | | | | | | | | R. Apr | | RUGOSIDAD | | | | | | | | | RELLENOS | | | | | | | | | | | | | | | | Índice R | Dirección |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TIPO DE PLANO | DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO | BUZAMIENTO | Ext. Juntas | Muy Juntas | Juntas | Moder. Juntas | Separadas | Muy Separadas | Ext. Separadas | Muy Baja | Baja | Moderada | Alta | Muy Alta | Muy Cerrada | Cerrada | Parc. Cerrada | Abierta | Moder. Abierta | Ancha | Muy Ancha | Ext. Ancha | Cavernosa | Composición | Espesor (cm) | ESCALONADA | | | ONDULADA | | | PLANA | | | METEORIZACIÓN | | | | | | FILTRACIONES | | | | Resist. Martillo (Geo. Schmidt) | | | | | | | |
| | | | <2 | 2 - 6 | 6 - 20 | 20 - 60 | 60 - 200 | 200 - 600 | > 600 | <1 | 1 - 3 | 3 - 10 | 10 - 20 | >20 | <0,1 | 0,1 - 0,25 | 0,25 - 0,5 | 0,5 - 2,5 | 2,5 - 10 | >10 | 10 - 100 | 100 - 1000 | > 1000 | | | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | Sana | Algo meteorizada | Med. Meteorizada | Muy meteorizada | Complet. Meteorizada | Suelo Residual | Seco | Húmedo | Goteos | Flujo | Muy blando | Blando | Consistente | Muy consistente | Duro | Muy Duro | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | I | II | III | I | II | III | I | II | III | I | II | III | IV | V | VI | | | | | F | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| J1 | 115 | 56 | | X | | | | | | | | | | X | | | | X | | | | | | B | 0.1 | | X | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | J1 | 31 | 29 | 30 | 31 | 39 | 32.00 | 90 |
| | 114 | 64 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 113 | 62 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 110 | 58 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 118 | 62 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 111 | 59 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J2 | 25 | 75 | | | X | | | | | | | | | X | | | | | X | | | | | B | 0.5 | | X | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | J2 | 33 | 31 | 28 | 38 | 40 | 34.00 | 90 |
| | 20 | 67 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 10 | 68 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 16 | 72 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | 75 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 75 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J3 | 217 | 30 | | | X | | | | | | | | | X | | | | | X | | | | | B | 0.5 | | X | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | J3 | 41 | 36 | 33 | 35 | 40 | 37.00 | 90 |
| | 215 | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 225 | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 225 | 29 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 223 | 33 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 225 | 32 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J4 | 345 | 33 | | | | X | | | | | | | | X | | | | X | | | | | | B | 0.1 | | X | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | J4 | - | - | - | - | - | - | 90 |
| | 347 | 32 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 346 | 35 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 345 | 34 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 356 | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 340 | 31 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 339 | 31 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| TIPO DE PLANO | | | RELLENO | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Eo.- Estratificación | J1..Jn- Juntas | | S - Arena | B - Brecha | Q - Cuarzo | O - Óxidos | | |
| S1.- Esquistosidad | F1..Fn Fallas | | G - Gravas | A - Arcillas | M - Milonita | C - Calcita | F - Feldespato | |

- Estación B7

**FICHA PARA LEVANTAMIENTO GEOMECÁNICO**

| ESTACIÓN | | | ESPACIADO (cm) | | | | | | | CONTINUIDAD (m) | | | | | APERTURA (mm) | | | | | | | | | R. Apr | | RUGOSIDAD | | | | | | | | | RELLENOS | | | | | | | | | | | | | | | | Índice R | Dirección |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | ESCALONADA |  |  | ONDULADA |  |  | PLANA |  |  | METEORIZACIÓN |  |  |  |  |  | FILTRACIONES |  |  |  | Resist. Martillo (Geo. Schmidt) |  |  |  |  |  |  |  |
| TIPO DE PLANO | DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO | BUZAMIENTO | Ext. Juntas | Muy Juntas | Juntas | Moder. Juntas | Separadas | Muy Separadas | Ext. Separadas | Muy Baja | Baja | Moderada | Alta | Muy Alta | Muy Cerrada | Cerrada | Parc. Cerrada | Abierta | Moder. Abierta | Ancha | Muy Ancha | Ext. Ancha | Cavernosa | Composición | Espesor (cm) | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | Sana | Algo meteorizada | Med. Meteorizada | Muy meteorizada | Complet. Meteorizada | Suelo Residual | Seco | Húmedo | Goteos | Flujo | Muy blando | Blando | Consistente | Muy consistente | Duro | Muy Duro |  |  |
|  |  |  | <2 | 2 - 6 | 6 - 20 | 20 - 60 | 60 - 200 | 200 - 600 | > 600 | <1 | 1 - 3 | 3 - 10 | 10 - 20 | >20 | <0,1 | 0,1 - 0,25 | 0,25 - 0,5 | 0,5 - 2,5 | 2,5 - 10 | >10 | 10 - 100 | 100 - 1000 | > 1000 |  |  | I | II | III | I | II | III | I | II | III | I | II | III | IV | V | VI |  |  |  |  | F | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |  |  |
|  | 357 | 35 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 355 | 32 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 348 | 33 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 2 | 15 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| J1 | 0 | 31 |  |  | X |  |  |  |  |  |  |  | X |  |  |  | X |  |  |  |  |  |  | A | 0.1 |  |  |  |  |  |  | X |  |  |  |  | X |  |  |  |  | X |  |  | J1 | 28 | 29 | 27 | 21 | 31 | 27.20 | 90 |
|  | 5 | 24 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 356 | 36 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 1 | 30 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 350 | 31 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 116 | 61 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 118 | 59 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 117 | 60 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 114 | 63 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| J2 | 115 | 62 |  |  | X |  |  |  |  |  |  |  | X |  |  |  | X |  |  |  |  |  |  | A | 0.1 |  |  |  |  |  |  | X |  |  |  |  | X |  |  |  |  | X |  |  | J2 | 40 | 44 | 42 | 44 | 34 | 40.80 | 90 |
|  | 113 | 63 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 112 | 61 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 119 | 54 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 5 | 79 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 13 | 86 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 10 | 82 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| J3 | 40 | 77 |  |  |  | X |  |  |  |  |  |  | X |  |  |  |  |  | X |  |  |  |  | A | 1 |  |  |  |  |  |  |  | X |  |  |  | X |  |  |  |  | X |  |  | J3 | 28 | 24 | 27 | 28 | 31 | 27.60 | 90 |
|  | 11 | 84 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 36 | 78 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 4 | 84 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 7 | 80 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

| TIPO DE PLANO | | | RELLENO | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Eo.- Estratificación | J1..Jn- Juntas | | S - Arena | B - Brecha | Q - Cuarzo | O - Óxidos | |
| | S1.- Esquistosidad | F1..Fn Fallas | | G - Gravas | A - Arcillas | M - Milonita | C - Calcita | F - Feldespato |

- Estación B8

FICHA PARA LEVANTAMIENTO GEOMECÁNICO

| ESTACIÓN | | | ESPACIADO (cm) | | | | | | | CONTINUIDAD (m) | | | | | APERTURA (mm) | | | | | | | | | R. Apr | | RUGOSIDAD | | | | | | | | | RELLENOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TIPO DE PLANO | DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO | BUZAMIENTO | Ext. Juntas | Muy Juntas | Juntas | Moder. Juntas | Separadas | Muy Separadas | Ext. Separadas | Muy Baja | Baja | Moderada | Alta | Muy Alta | Muy Cerrada | Cerrada | Parc. Cerrada | Abierta | Moder. Abierta | Ancha | Muy Ancha | Ext. Ancha | Cavernosa | Composición | Espesor (cm) | ESCALONADA | | | ONDULADA | | | PLANA | | | METEORIZACIÓN | | | | | | FILTRACIONES | | | | Resist. Martillo (Geo. Schmidt) | | | | | | Índice R | Direción |
| | | | <2 | 2 - 6 | 6 - 20 | 20 - 60 | 60 - 200 | 200 - 600 | > 600 | <1 | 1 - 3 | 3 - 10 | 10 - 20 | >20 | <0,1 | 0,1 - 0,25 | 0,25 - 0,5 | 0,5 - 2,5 | 2,5 - 10 | >10 | 10 - 100 | 100 - 1000 | > 1000 | | | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | Sana | Algo meteorizada | Med. Meteorizada | Muy meteorizada | Complet. Meteorizada | Suelo Residual | Seco | Húmedo | Goteos | Flujo | Muy blando | Blando | Consistente | Muy consistente | Duro | Muy Duro | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | I | II | III | I | II | III | I | II | III | I | II | III | IV | V | VI | | | | | F | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| J1 | 14 | 78 | | X | | | | | | | | | X | | | | | X | | | | | | A C | 0.1 | | X | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | J1 | 32 | 34 | 35 | 28 | 24 | 30.60 | 90 |
| | 23 | 72 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 4 | 82 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 358 | 84 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 17 | 76 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 13 | 79 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 359 | 83 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 21 | 73 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 18 | 78 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J2 | 123 | 75 | X | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | | | | A C | 0.1 | | X | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | J2 | 28 | 32 | 34 | 30 | 33 | 31.40 | 90 |
| | 111 | 79 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 114 | 85 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 110 | 82 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 110 | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 112 | 78 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 120 | 76 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 112 | 76 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J3 | 217 | 59 | | | X | | | | | | | | X | | | | | X | | | | | | A C | 0.1 | | X | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | J3 | 28 | 25 | 29 | 28 | 28 | 27.60 | 90 |
| | 190 | 53 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 184 | 50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 210 | 33 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 193 | 49 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 192 | 50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 211 | 33 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 190 | 54 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| **TIPO DE PLANO** | | | **RELLENO** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Eo.- Estratificación | J1..Jn- Juntas | | S - Arena | B - Brecha | Q - Cuarzo | O - Óxidos | |
| | S1.- Esquistosidad | F1..Fn Fallas | | G - Gravas | A - Arcillas | M - Milonita | C - Calcita | F - Feldespato |

- Estación B9

FICHA PARA LEVANTAMIENTO GEOMECÁNICO

| ESTACIÓN: TIPO DE PLANO | ESTACIÓN: DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO | ESTACIÓN: BUZAMIENTO | ESPACIADO (cm) | | | | | | | CONTINUIDAD (m) | | | | | APERTURA (mm) | | | | | | | | | R. Apr | | RUGOSIDAD | | | | | | | | | RELLENOS: METEORIZACIÓN | | | | | | RELLENOS: FILTRACIONES | | | | RELLENOS: Resist. Martillo (Geo. Schmidt) | | | | | | Índice R | Dirección |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Ext. Juntas <2 | Muy Juntas 2 - 6 | Juntas 6 - 20 | Moder. Juntas 20 - 60 | Separadas 60 - 200 | Muy Separadas 200 - 600 | Ext. Separadas > 600 | Muy Baja <1 | Baja 1 - 3 | Moderada 3 - 10 | Alta 10 - 20 | Muy Alta >20 | Muy Cerrada <0,1 | Cerrada 0,1 - 0,25 | Parc. Cerrada 0,25 - 0,5 | Abierta 0,5 - 2,5 | Moder. Abierta 2,5 - 10 | Ancha >10 | Muy Ancha 10 - 100 | Ext. Ancha 100 - 1000 | Cavernosa > 1000 | Composición | Espesor (cm) | ESCALONADA I Rugosa (I) | ESCALONADA II Lisa (II) | ESCALONADA III Slickensided (III) | ONDULADA I Rugosa (I) | ONDULADA II Lisa (II) | ONDULADA III Slickensided (III) | PLANA I Rugosa (I) | PLANA II Lisa (II) | PLANA III Slickensided (III) | Sana (I) | Algo meteorizada (II) | Med. Meteorizada (III) | Muy meteorizada (IV) | Complet. Meteorizada (V) | Suelo Residual (VI) | Seco | Húmedo | Goteos | Flujo | Muy blando (F) | Blando (1) | Consistente (2) | Muy consistente (3) | Duro (4) | Muy Duro (5) | | |
| J1 | 345 | 56 | | | X | | | | | | | | | X | | | | | X | | | | | A C | 0.5 | | X | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | J1 | 24 | 32 | 38 | 36 | 36 | 33.20 | 90 |
| | 325 | 59 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 323 | 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 325 | 65 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 330 | 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 329 | 63 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 332 | 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 335 | 65 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 335 | 62 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 329 | 65 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 330 | 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 330 | 61 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J2 | 110 | 55 | | | X | | | | | | | | | X | | | | X | | | | | | A C | 0.2 | | X | | | | | | | | | X | | | | | | X | | | J2 | 20 | 36 | 26 | 40 | 38 | 32.00 | 90 |
| | 97 | 52 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 80 | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 87 | 42 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 75 | 40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 92 | 55 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 82 | 35 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 100 | 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 85 | 40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 87 | 58 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 96 | 51 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 97 | 50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 96 | 51 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| TIPO DE PLANO | | | RELLENO | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Eo.- Estratificación | J1..Jn- Juntas | | S - Arena | B - Brecha | Q - Cuarzo | O - Óxidos | | |
| S1.- Esquistosidad | F1..Fn Fallas | | G - Gravas | A - Arcillas | M - Milonita | C - Calcita | F - Feldespato | |

- Estación B10

FICHA PARA LEVANTAMIENTO GEOMECÁNICO

| ESTACIÓN | | | ESPACIADO (cm) | | | | | | | CONTINUIDAD (m) | | | | | APERTURA (mm) | | | | | | | | | R. Apr | | RUGOSIDAD | | | | | | | | | RELLENOS | | | | | | | | | | | | | | | | Índice R | Dirección |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TIPO DE PLANO | DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO | BUZAMIENTO | Ext. Juntas | Muy Juntas | Juntas | Moder. Juntas | Separadas | Muy Separadas | Ext. Separadas | Muy Baja | Baja | Moderada | Alta | Muy Alta | Muy Cerrada | Cerrada | Parc. Cerrada | Abierta | Moder. Abierta | Ancha | Muy Ancha | Ext. Ancha | Cavernosa | Composición | Espesor (cm) | ESCALONADA | | | ONDULADA | | | PLANA | | | METEORIZACIÓN | | | | | | FILTRACIONES | | | | Resist. Martillo (Geo. Schmidt) | | | | | | | |
| | | | <2 | 2 - 6 | 6 - 20 | 20 - 60 | 60 - 200 | 200 - 600 | > 600 | <1 | 1 - 3 | 3 - 10 | 10 - 20 | >20 | <0,1 | 0,1 - 0,25 | 0,25 - 0,5 | 0,5 - 2,5 | 2,5 - 10 | >10 | 10 - 100 | 100 - 1000 | > 1000 | | | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | I Rugosa | II Lisa | III Slickensided | Sana | Algo meteorizada | Med. Meteorizada | Muy meteorizada | Complet. Meteorizada | Suelo Residual | Seco | Húmedo | Goteos | Flujo | Muy blando | Blando | Consistente | Muy consistente | Duro | Muy Duro | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | I | II | III | I | II | III | I | II | III | I | II | III | IV | V | VI | | | | | F | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| | 15 | 80 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 17 | 85 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 15 | 80 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 14 | 80 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 14 | 78 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 14 | 85 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| J1 | 17 | 78 |  |  |  | X |  |  |  |  |  |  |  | X |  |  |  |  | X |  |  |  |  | A C | 0.5 |  | X |  |  |  |  |  |  |  |  |  | X |  |  |  |  | X |  |  | J1 | 32 | 34 | 28 | 28 | 34 | 31.20 | X |
| | 28 | 85 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 30 | 86 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 23 | 80 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 16 | 80 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 17 | 79 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 18 | 81 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 100 | 76 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 105 | 65 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 103 | 70 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 100 | 65 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 122 | 60 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| J2 | 105 | 60 |  |  |  | X |  |  |  |  |  |  |  | X |  |  |  | X |  |  |  |  |  | A C | 0.20 |  |  |  |  |  |  |  | X |  |  |  | X |  |  |  |  | X |  |  | J2 | 26 | 32 | 34 | 30 | 30 | 30.40 | X |
| | 118 | 60 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 122 | 55 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 115 | 67 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 110 | 61 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 111 | 60 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 112 | 62 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

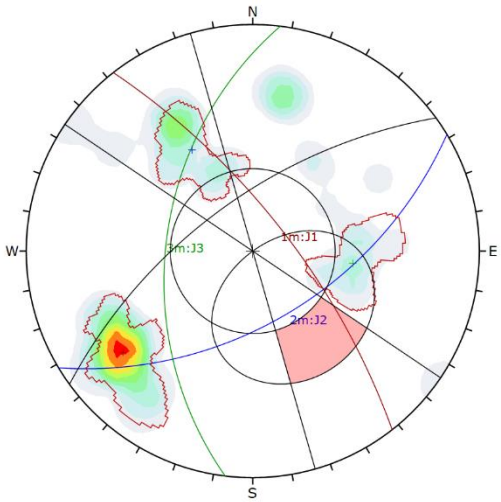
**TIPO DE PLANO**: Eo.- Estratificación J1..Jn- Juntas S1.- Esquistosidad F1..Fn Fallas

**RELLENO**: S - Arena B - Brecha Q - Cuarzo O - Óxidos G - Gravas A - Arcillas M - Milonita C - Calcita F - Feldespato

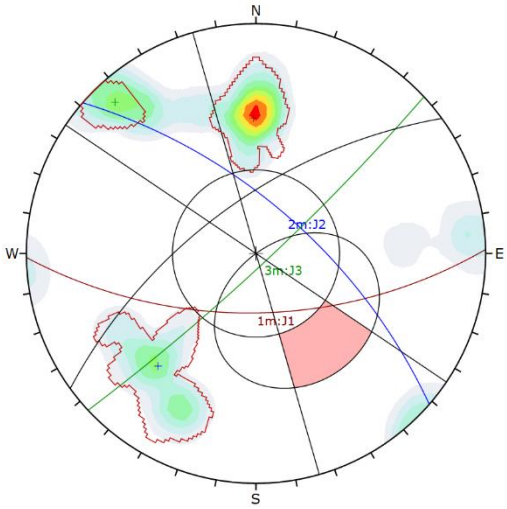
## 8.5 Estereogramas de tipos de roturas

### 8.5.1 Rotura planar

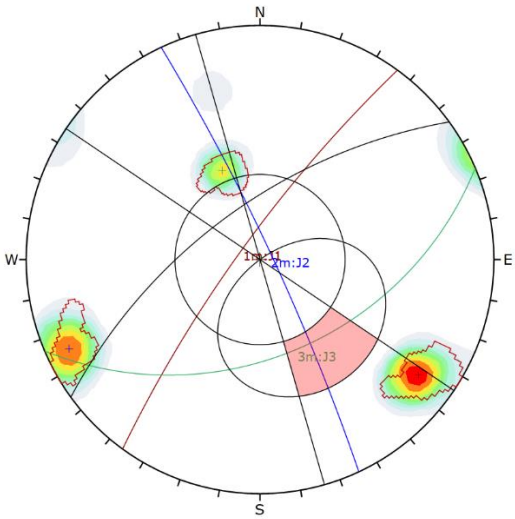
Zona 1



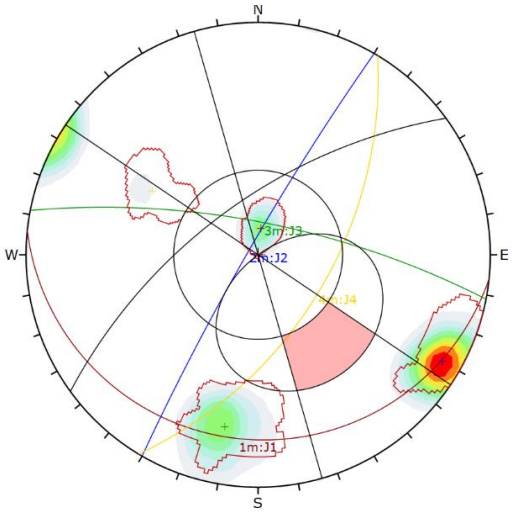

Zona 2



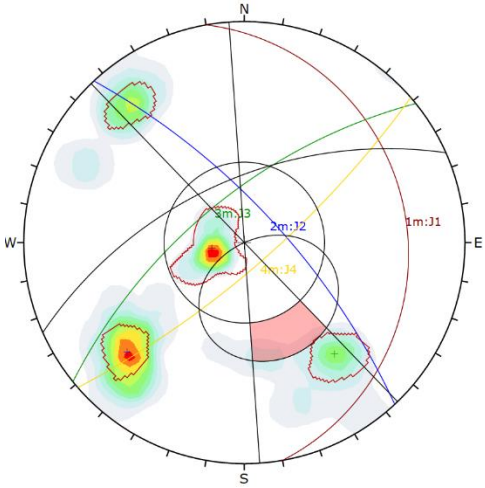

Zona 3



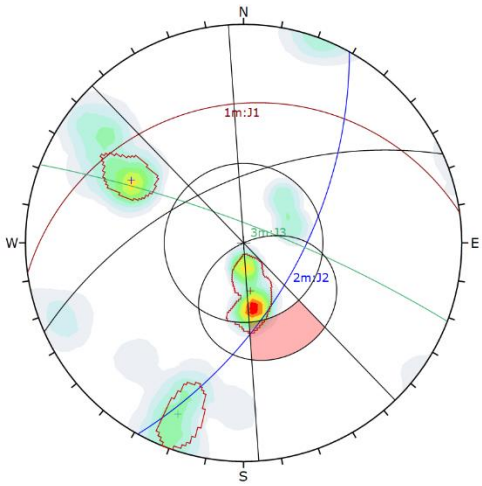

Zona 4



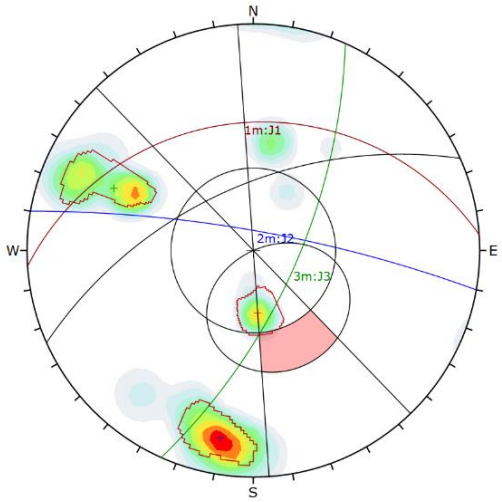

Zona 5



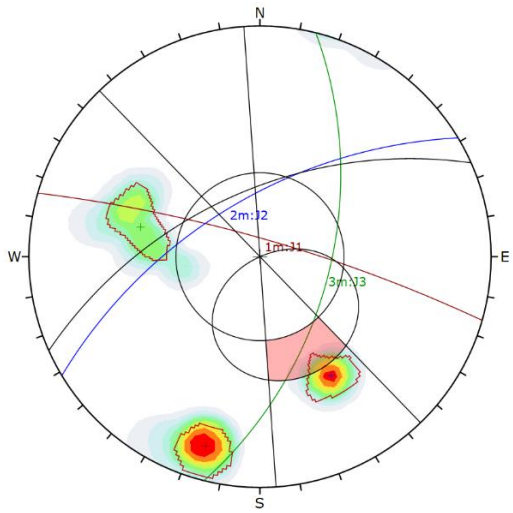

Zona 7



Zona 8

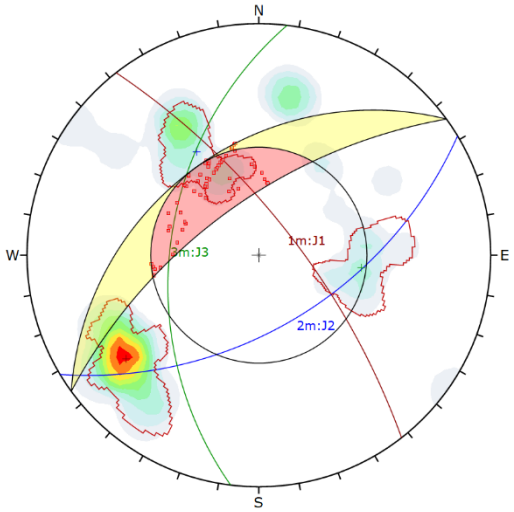



Zona 9

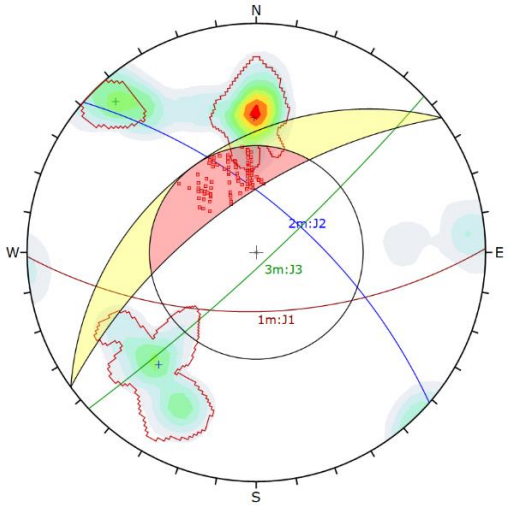



### 8.5.2 Rotura en cuña

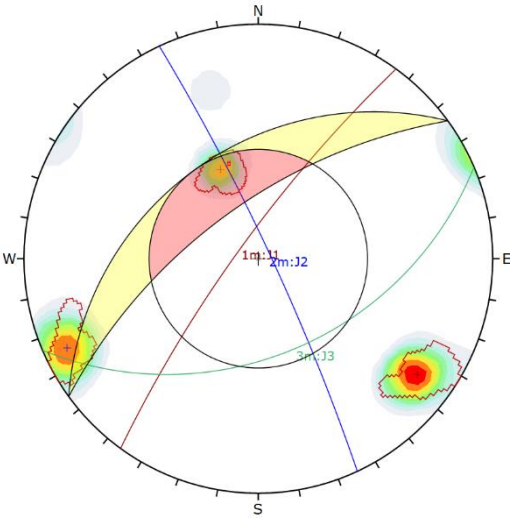
Zona 1



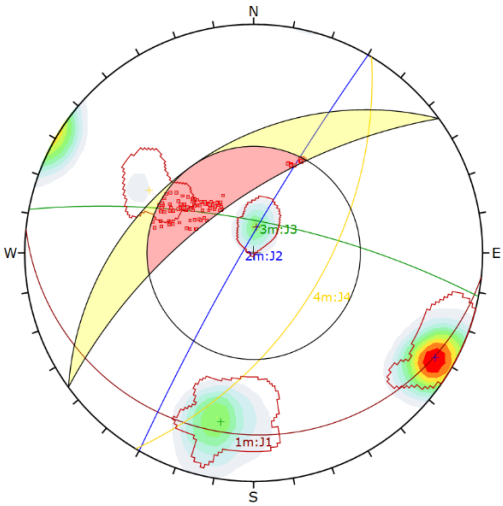

Zona 2



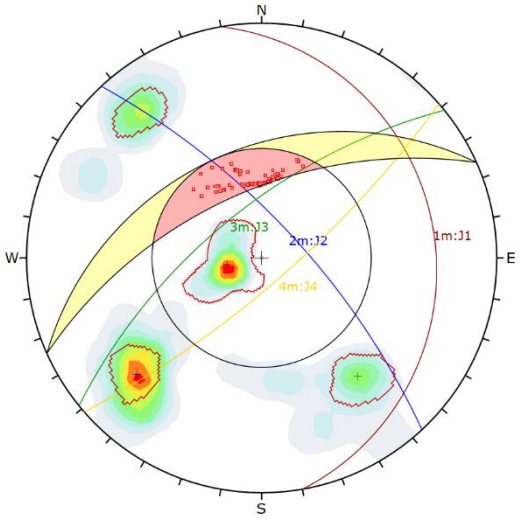

Zona 3



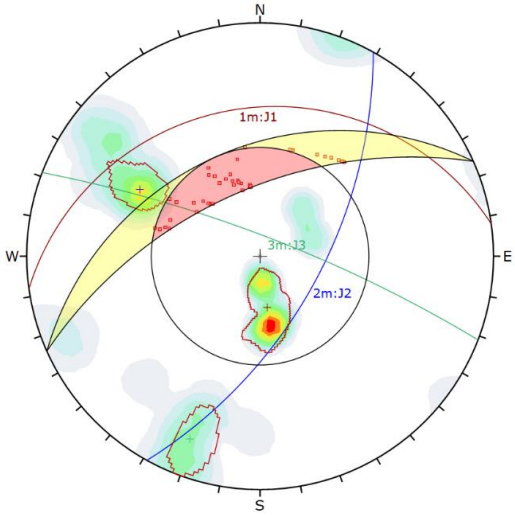

Zona 4



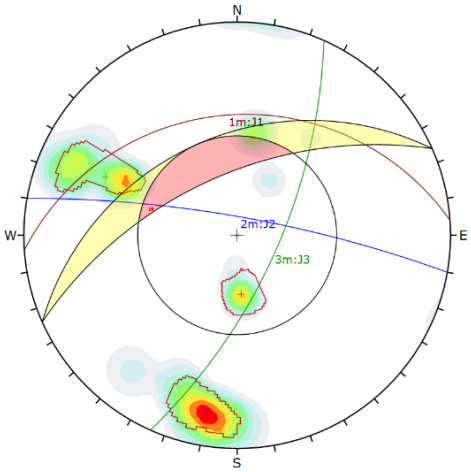
Zona 5



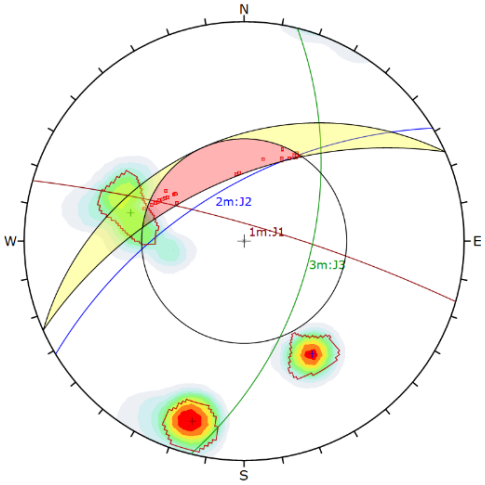

Zona 7




Zona 8

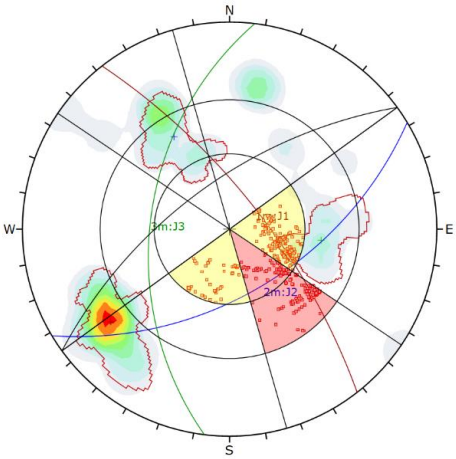



Zona 9

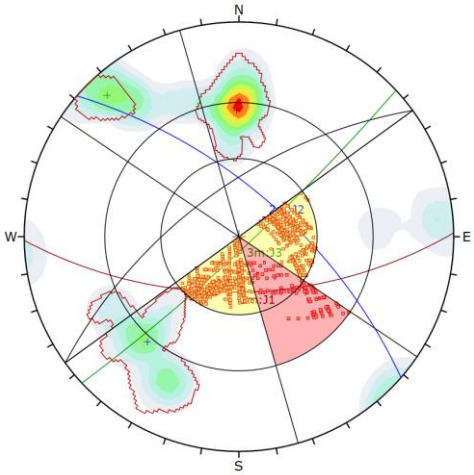


### 8.5.3 Rotura por volcamiento o caída de bloques

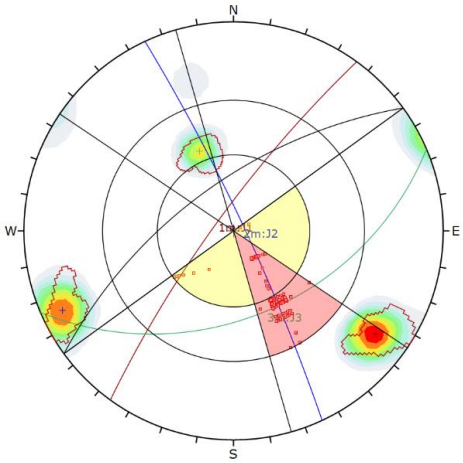
Zona 1



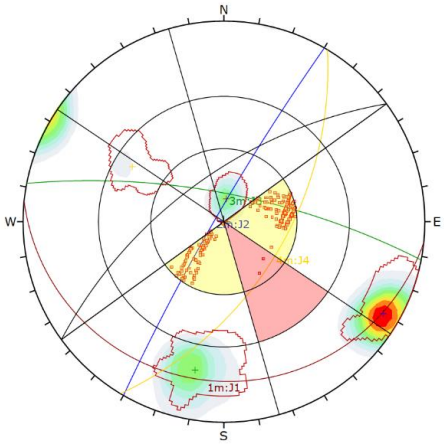

Zona 2



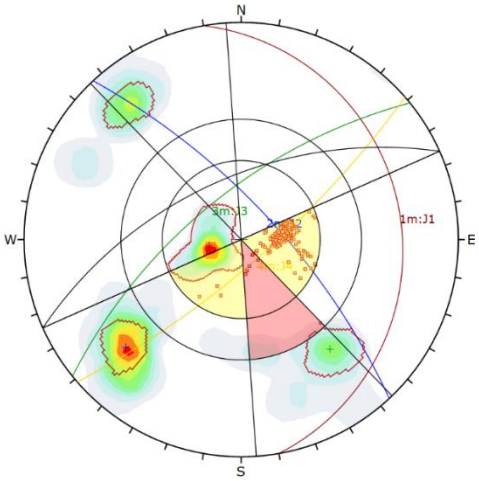

Zona 3



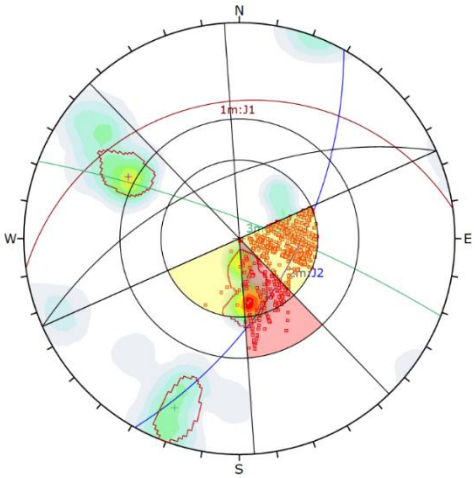

Zona 4

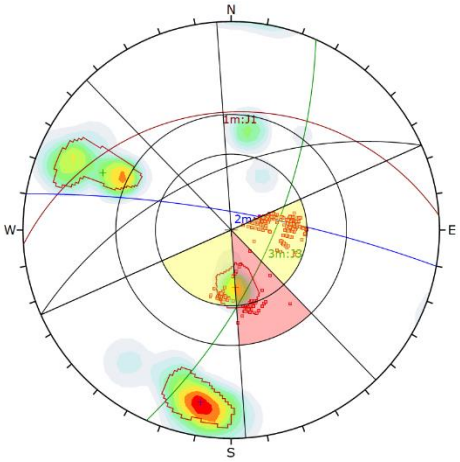
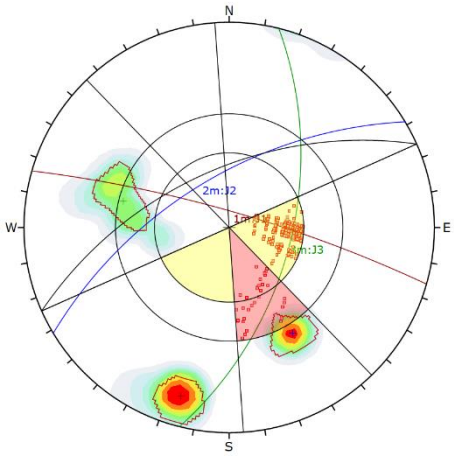



Zona 5




Zona 7



| Zona 8 | Zona 9 |
| --- | --- |
|  |  |

## 8.6 Perfiles Geológicos – Geotécnicos

### 8.6.1 Perfil A' – A

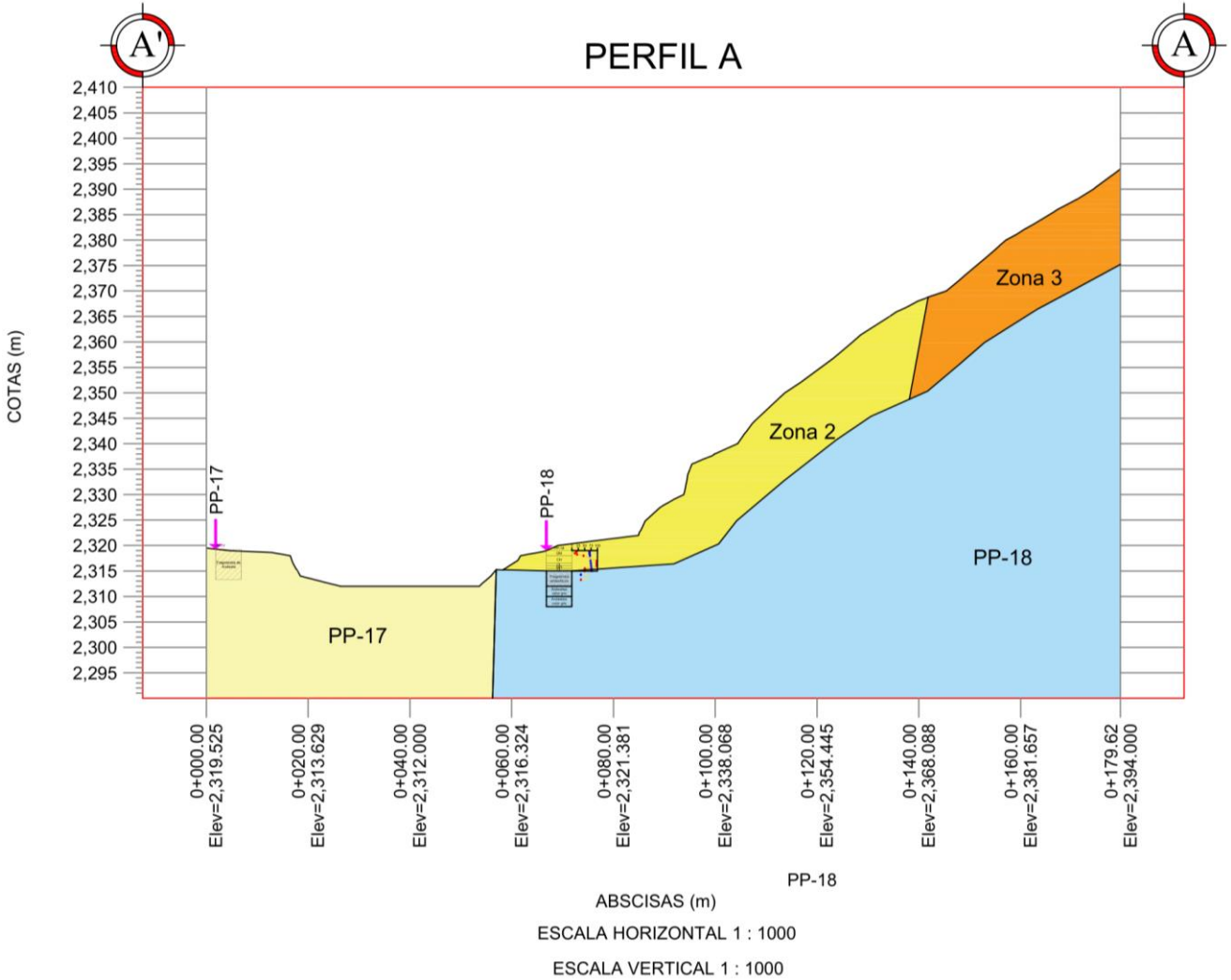



**Figura 8.4 Perfil A' – A**

### 8.6.2 Perfil B' – B

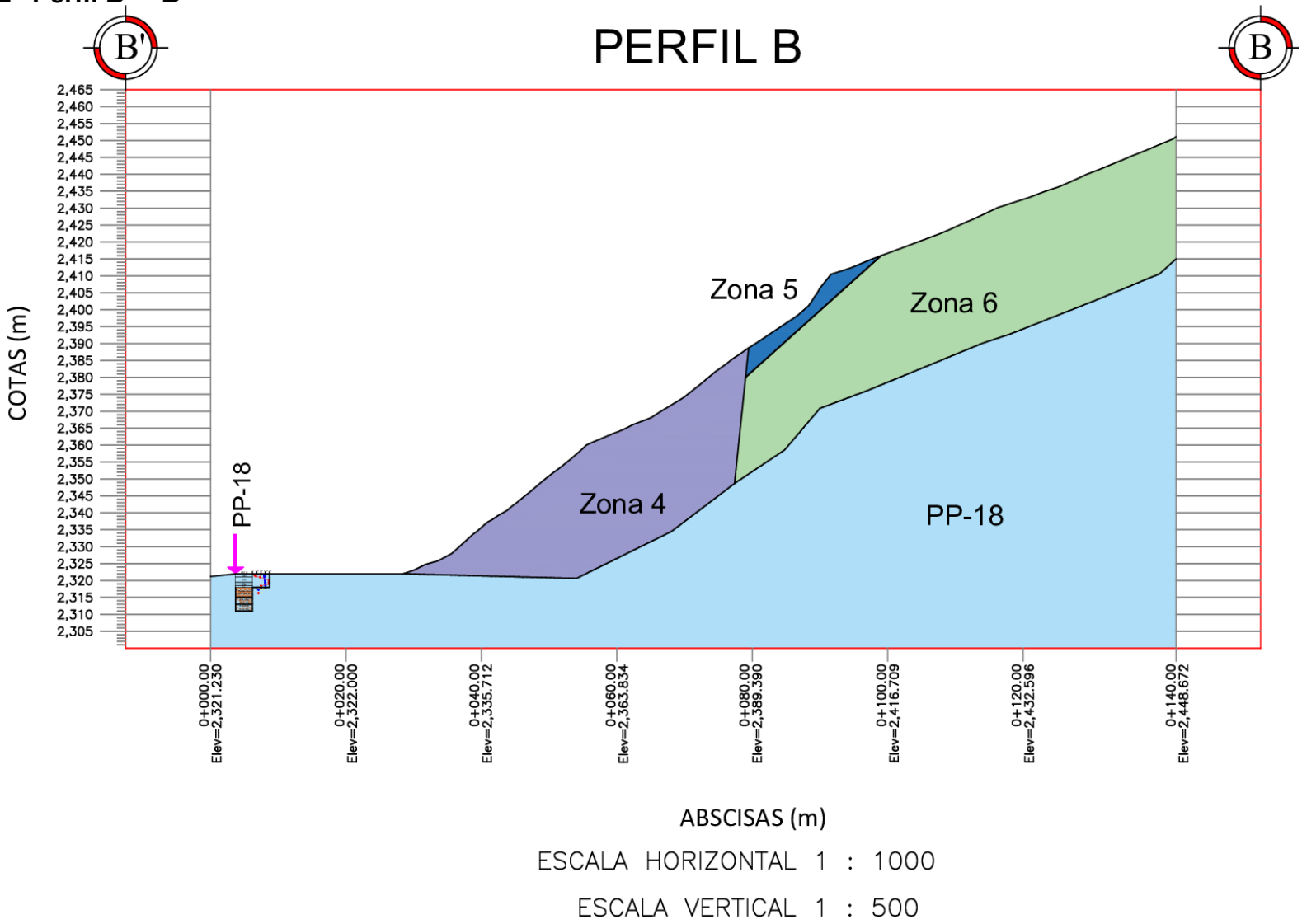
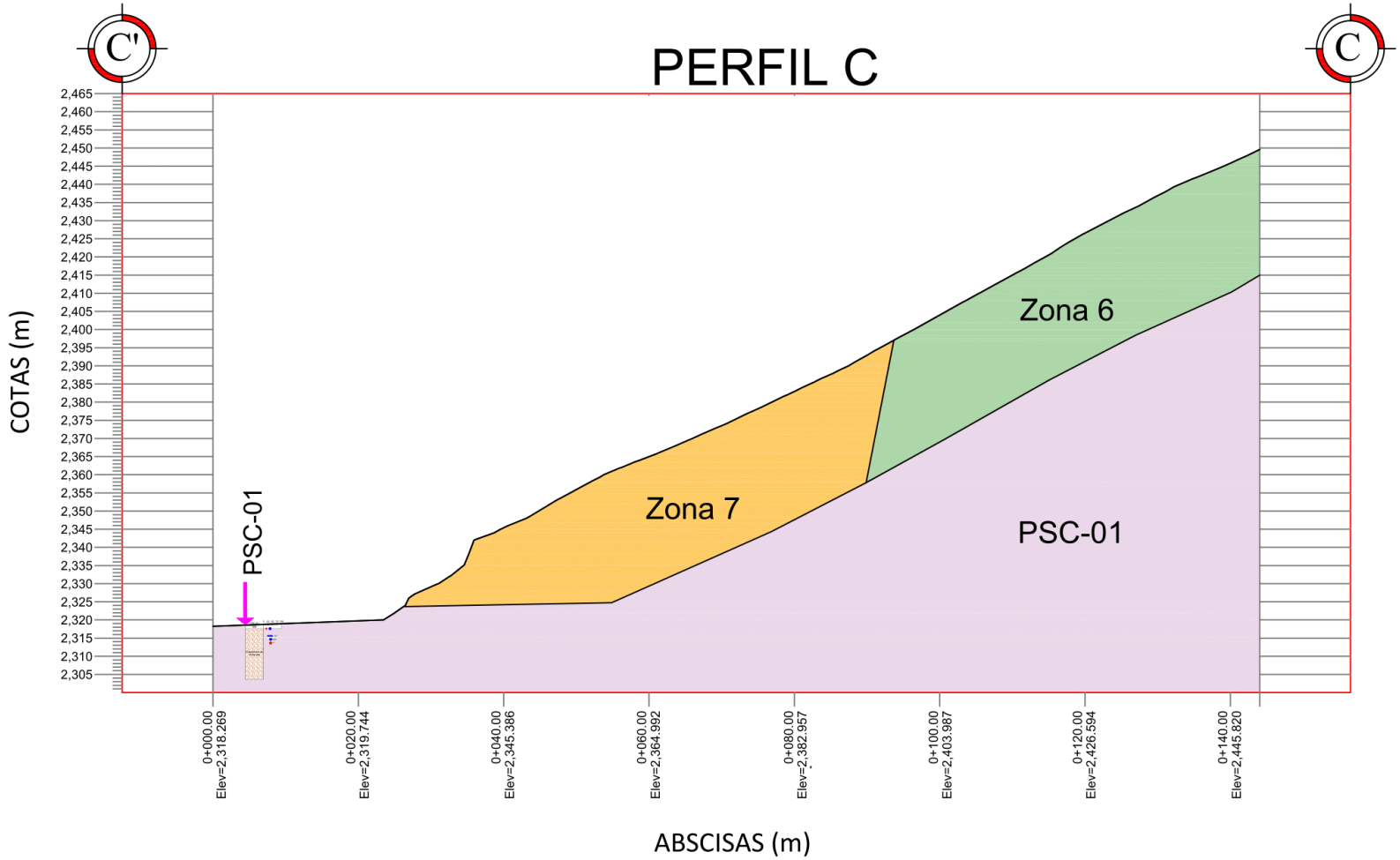



**Figura 8.5 Perfil B' - B**

### 8.6.3 Perfil C' – C

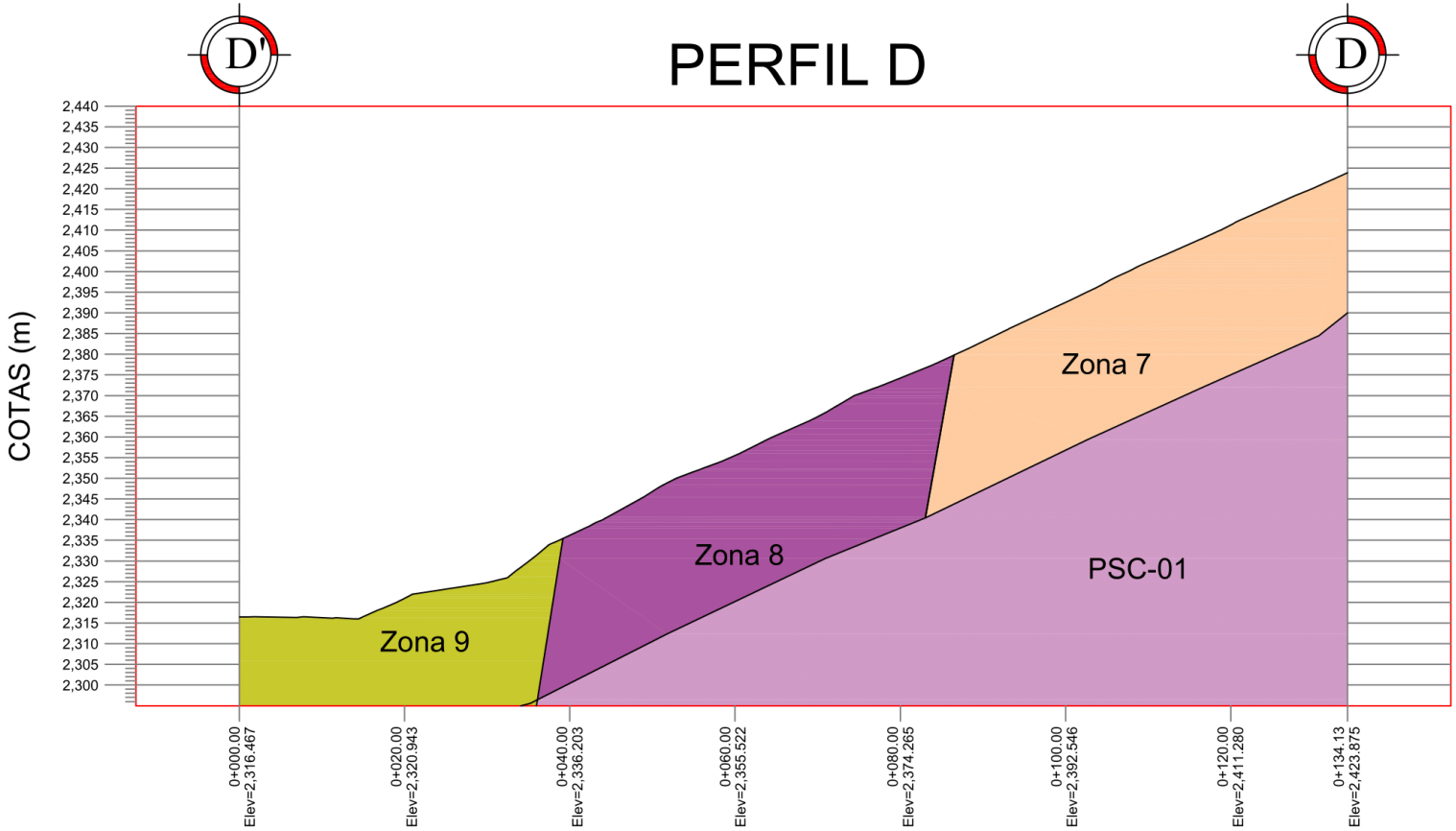



ESCALA HORIZONTAL 1 : 1000

ESCALA VERTICAL 1 : 500

**Figura 8.6 Perfil C' - C**

### 8.6.4 Perfil D' – D




ABSCISAS (m)

ESCALA HORIZONTAL 1 : 1000

ESCALA VERTICAL 1 : 500

**Figura 8.7 Perfil D' - D**

## 8.7 Factores de seguridad y superficies de falla

### 8.7.1 Perfil A’ - A

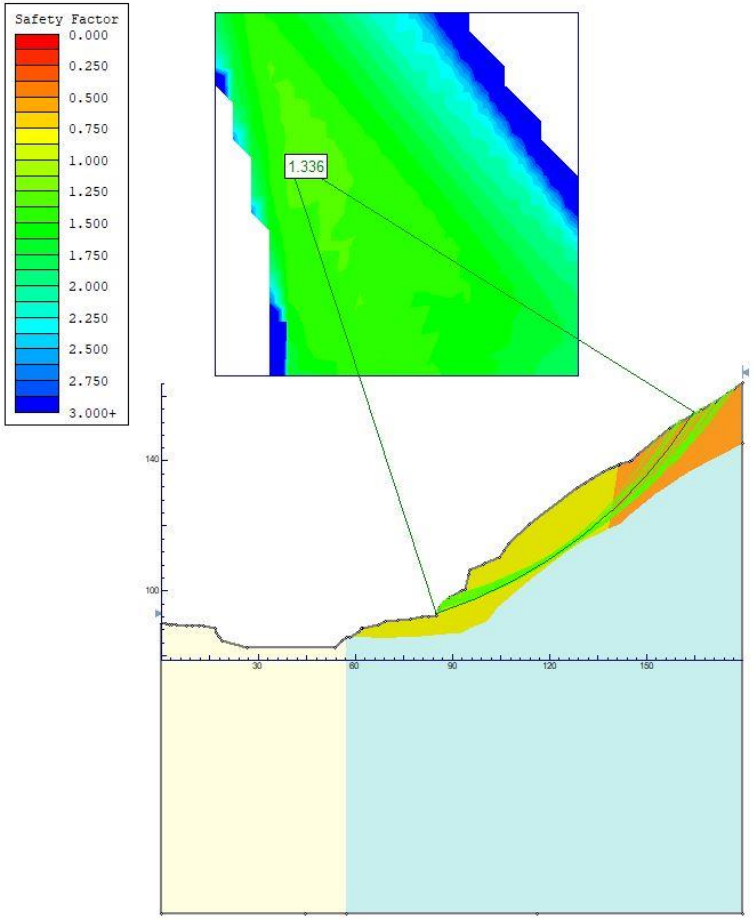



Figura 8.9 Condiciones secas perfil A’ - A

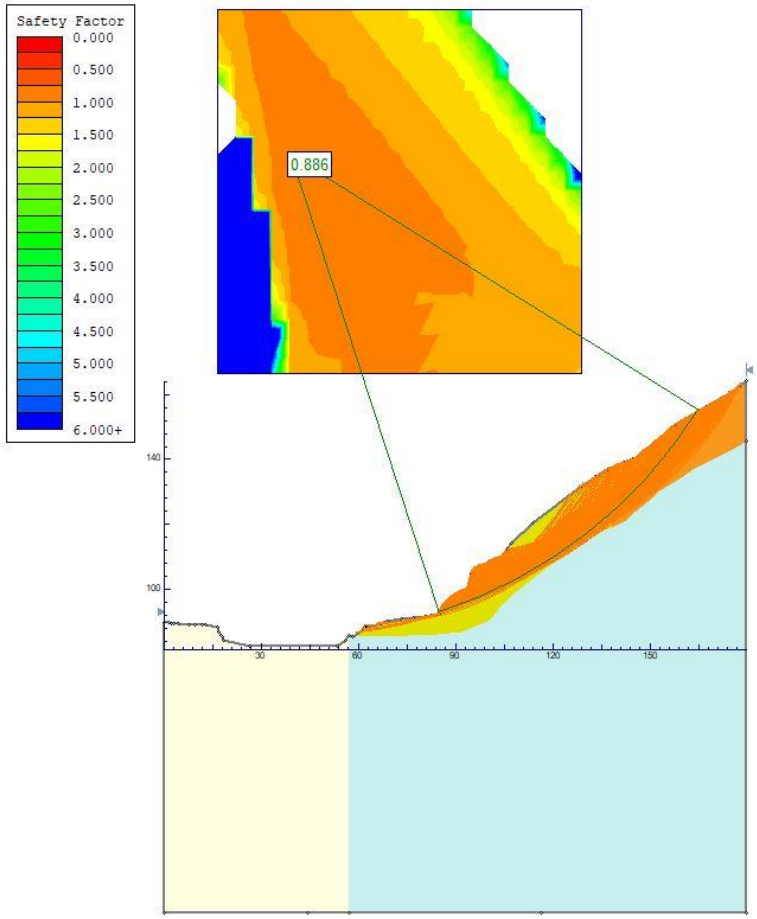



Figura 8.8 Condiciones sismicas perfil A’ - A

### 8.7.2 Perfil B’ - B

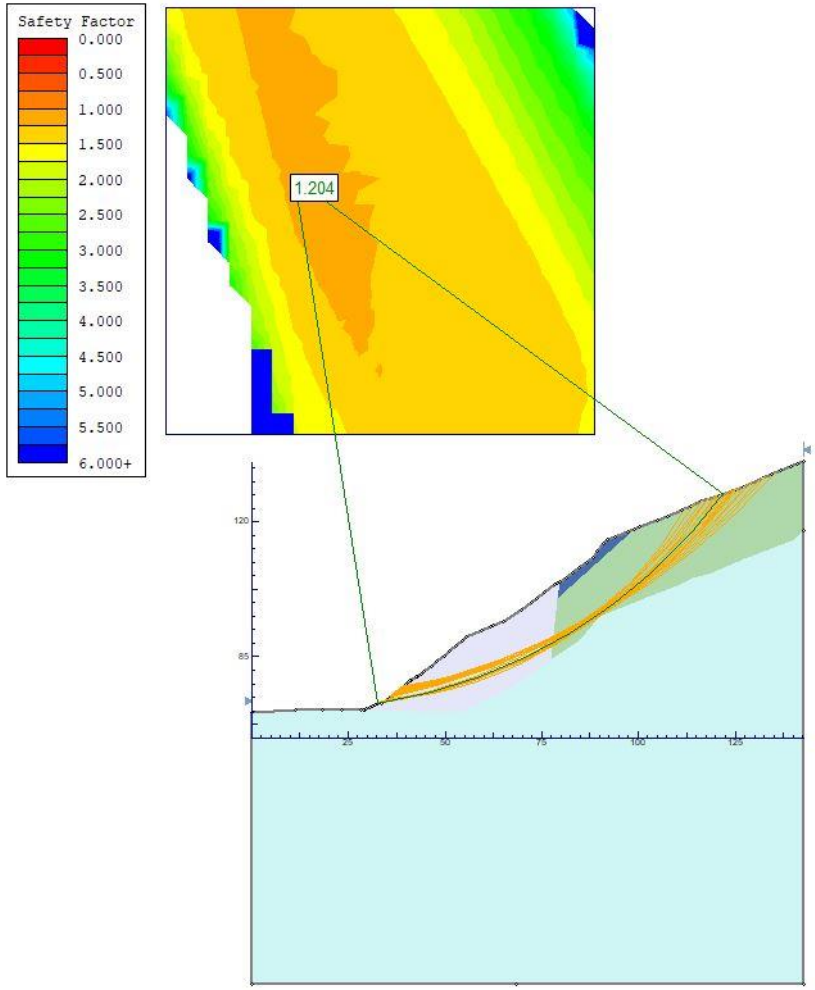



Figura 8.10 Condiciones secas perfil B’ - B

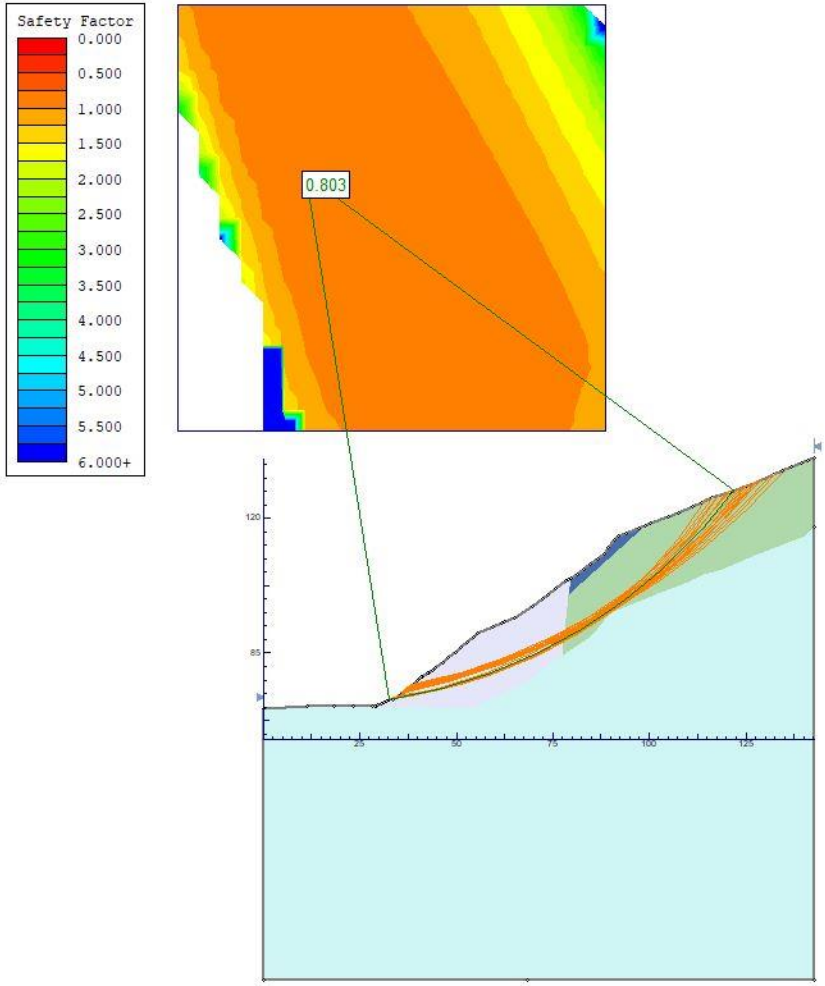



Figura 8.11 Condiciones sismicas perfil B’ - B

### 8.7.3 Perfil C’ - C

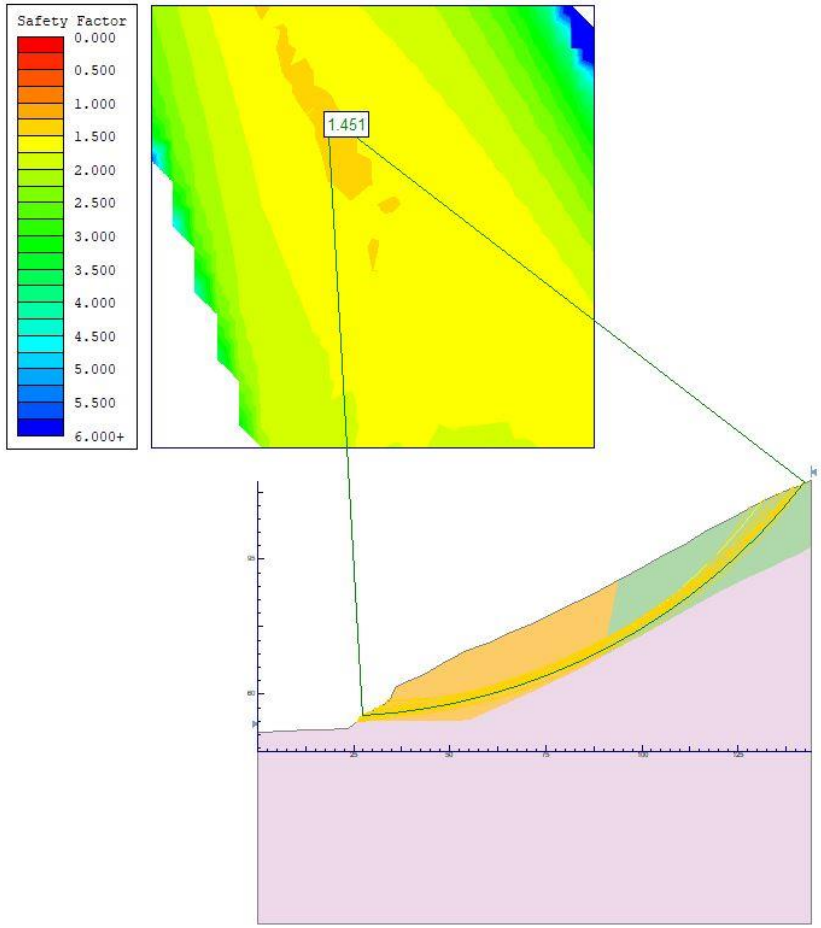



Figura 8.13 Condiciones secas perfil C’ - C

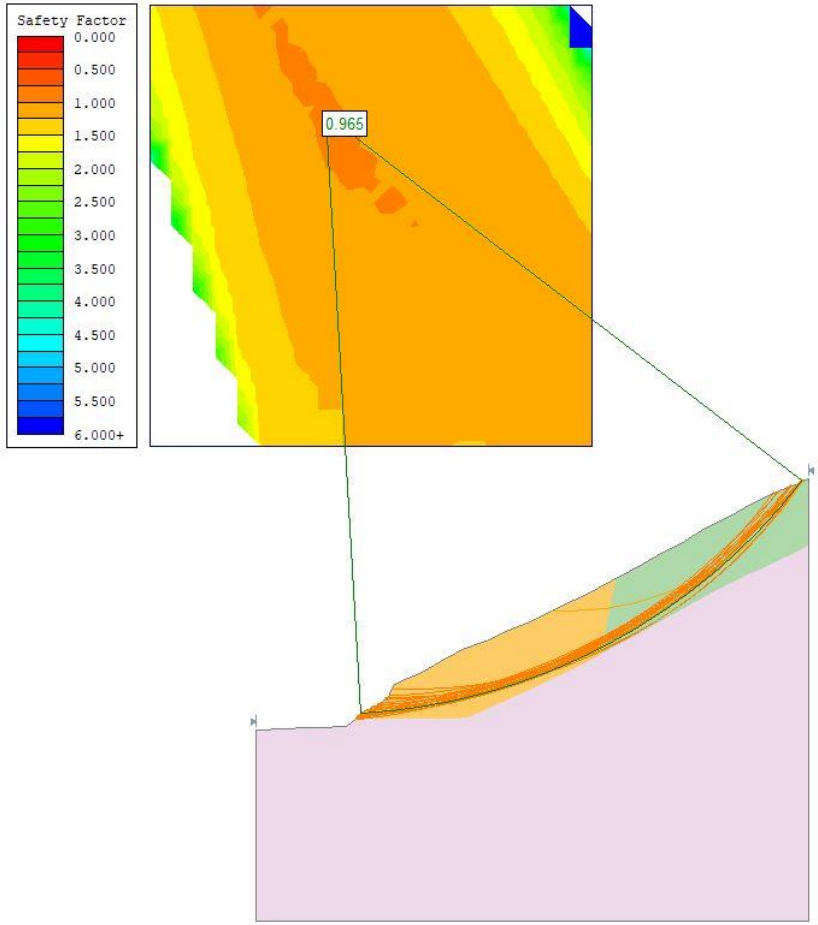



Figura 8.12 Condiciones sismicas perfil C’ - C

### 8.7.4 Perfil D’ - D

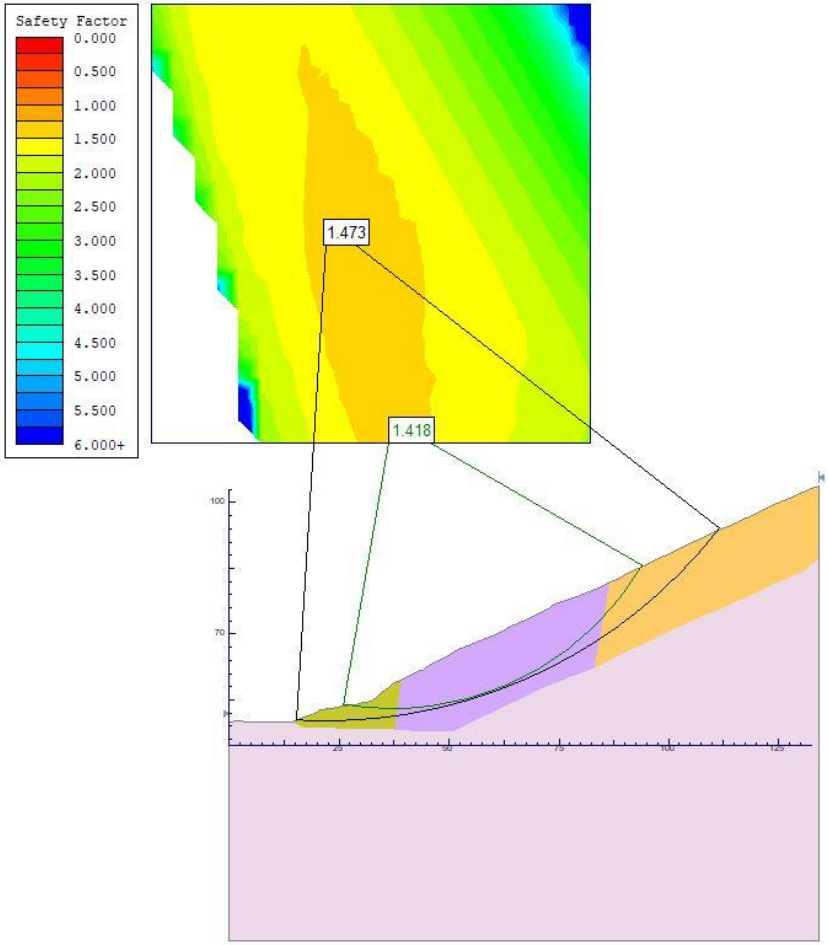



Figura 8.14 Condiciones secas perfil D’ - D

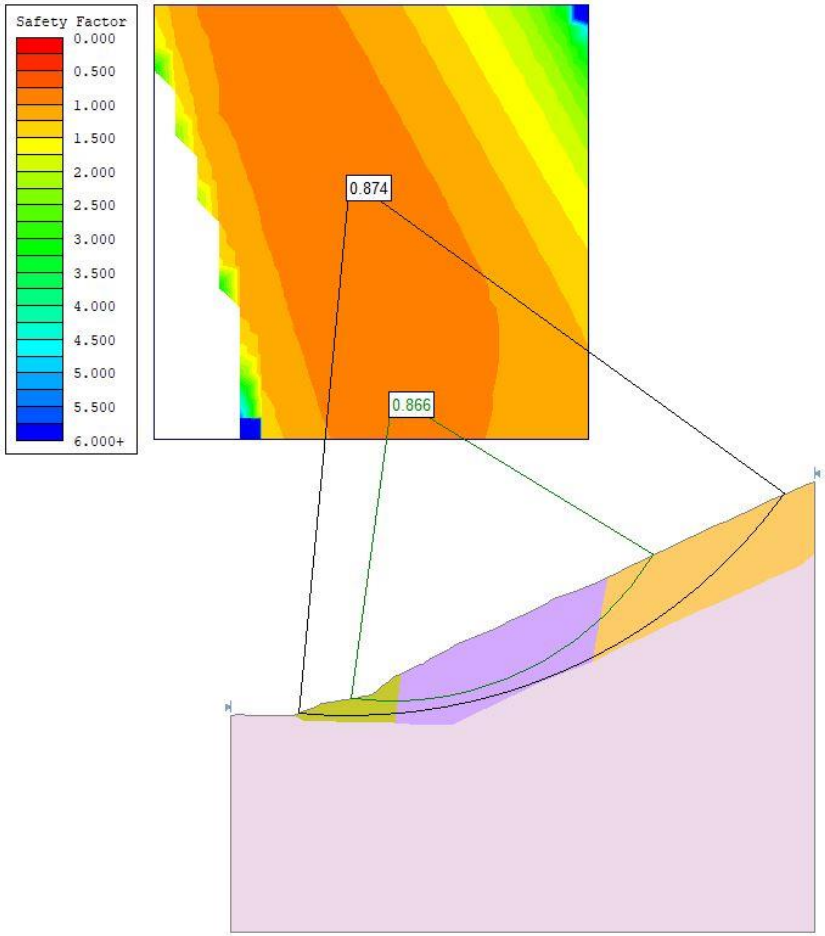



Figura 8.15 Condiciones sismicas perfil D’ - D

# 9. BIBLIOGRAFÍA


Aspden, J. A., & Litherland, M. (1992). The geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real, Ecuador. Tectonophysics, 205(1–3), 187–204. https://doi.org/10.1016/0040-1951(92)90426-7

Aspden, J., Bermúdez, R., Viteri, F., Pozo, M., & Alcocer, F. (1990). La Geología y Potencial Mineral de la Cordillera Real, Ecuador.

Bieniawski, Z. (1979). The geomechanics classification in rock engineering applications. International Society for Rock Mechanics.

Bristow, C. R. (1973). Guide to the geology of the Cuenca Basin,Southern Ecuador. Bulletin of the Geological Suvery of Canada.

Chen, Z. (1995). Recent developments in slope stability analysis. 8th ISRM Congress, 000(9), 1041–1048.

Domínguez Zeas, R. (1999). EL Deslizamiento De La Josefina “Tragedia Nacional.” (1), 87–98.

Duncan, C WyllieChristopher, W. M. (2004). Rock Slope Engineering, Fourth Edition. Rock Slope Engineering, Fourth Edition. https://doi.org/10.4324/9780203499085

Gonzales de Vallejo, L. I. (2002). Ingeniería Geológica.

Griffiths, D. V., & Fenton, G. A. (2004). Probabilistic slope stability analysis by finite elements. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 130(5), 507–518. https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2004)130:5(507)

Hack, R., Price, D., & Rengers, N. (2003). A new approach to rock slope stability— a probability classification (SSPC).

Hoek, E., & Corkum, B. (2002). El criterio de rotura de Hoek-Brown – Edición 2002 Hoek-Brown failure criterion – 2002 Edition. (1), 1–8.

Hoek, E., Kaiser, P., & Bawden, W. (1995). Support of underground excavations in hard rock.

ISRM. (1981). Suggested methods for rock characterization, testing and monitoring.

Litherland, M. (1994). The metamorphic belts of Ecuador / M. Litherland, J.A. Aspden and R.A. Jemielita. (J. A. (John A. Aspden, R. A. (Richard A. Jemielita, & British Geological Survey, Eds.) [Book]. Keyworth, Nottingham: British Geological Survey.

Luzieux, L. (2007). Origin and Late Cretaceous-Tertiary Evolution of the Ecuadorian Forearc (Dipl. de Géologue, Université de LAUSANNE). https://doi.org/10.3929/ethz-a-010782581

Marinos, P., & Hoek, E. (2000). GSI - a geologically friendly tool for rock mass strength. Technomic Publishing.

Municipalidad de Gualaceo. (n.d.). Retrieved November 2, 2019, from http://www.gualaceo.gob.ec/Josefina

Moon, B., & Selby, M. (1983). Rock mass strength and scarp forms in Southern Africa. Geografiska.

Morante, F., Aguilar, M., Ramírez, G., Blanco, R., Carrión, P., Briones, J., & Berrezueta, E. (2019). Evaluation of Slope Stability Considering the Preservation of the General Patrimonial Cemetery of Guayaquil, Ecuador. Geosciences, 9(3), 103. https://doi.org/10.3390/geosciences9030103

Nicholson, D., & Hencher, S. (1997). Assessing the potential for deterioration of engineered rockslopes.

Pantelidis, L. (2009). Rock slope stability assessment through rock mass classification systems. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 46(2), 315–325. https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2008.06.003

Reynaud, C., Jaillard, É., Lapierre, H., Mamberti, M., & Mascle, G. H. (1999). Oceanic plateau and island arcs of southwestern Ecuador: Their place in the geodynamic evolution of northwestern South America. Tectonophysics, 307(3–4), 235–254. https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00099-2

Robertson, A. (1988). Estimating weak rock strength. In: Proceedings of the SME annual meeting. Phoenix.

Rodriguez, P. (2014). Actualización Del Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Del Cantón Paute. Retrieved from http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/0160000510001_DIAGNÓSTICO_GADM_PAUTE FINAL_12-03-2015_09-21-02.pdf

Romana, M. (1985). New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes. Proceedings of the International Symposium on Role of Rock Mechanics, Zacatecas, Mexico.

Romana, M., Tomás, R., & Serón, J. B. (2015). Slope Mass Rating (SMR) geomechanics classification: Thirty years review. 13th ISRM International Congress of Rock Mechanics, 2015-MAY(November), 1–10.

Sari, M. (2019). Stability analysis of cut slopes using empirical, kinematical, numerical and limit equilibrium methods: case of old Jeddah–Mecca road (Saudi Arabia). Environmental Earth Sciences, 78(21), 621. https://doi.org/10.1007/s12665-019-8573-9

Vallejo, C., Winkler, W., Spikings, R. A., Luzieux, L., Heller, F., & Bussy, F. (2009). Mode and timing of terrane accretion in the forearc of the Andes in Ecuador.

Memoir of the Geological Society of America, 204(June), 197–216. https://doi.org/10.1130/2009.1204(09)