UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS

CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LA FORMACIÓN KAYRA CON FINES DE CONTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES EN EL SECTOR CHOCCO, DISTRITO DE SANTIAGO - CUSCO

PRESENTADO POR:

Br. ALFREDO CARLOS VARGAS REYES
Br. PAUL ARNOLD PACSI ALAVE

PARA OBTENER AL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOLOGO

ASESOR:

MGT. ING. VICTOR VIDAL GARATE GONGORA

CUSCO – PERÚ

2026

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el **Asesor** VICTOR VIDAL GARATE GONGORA quien aplica el software de detección de similitud al trabajo de investigación/tesis titulada: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LA FORMACIÓN KAYRA CON FINES DE CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES EN EL SECTOR CHOCCO, DISTRITO DE SANTIAGO - CUSCO

Presentado por: ALFREDO CARLOS VARGAS REYES DNI N° 74620541;
presentado por: DAUL ARNOLD PACSI ALAVE DNI N°: 73762798
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO GEOLOGO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 3 veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del ***Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC*** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 9 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 21 de JUNIO de 2026

Firma

Post firma VICTOR VIDAL GARATE GONGORA

Nro. de DNI 29390015

ORCID del Asesor 0000 0002 4296 6482

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:601720279

Pacsi- Vargas

Caracterización Geomecánica de la Formación Kayra con fines de Construcción de obras civiles en el Sector Chocco

Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::27259:601720279

Fecha de entrega
21 jun 2026, 7:50 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
21 jun 2026, 7:54 p.m. GMT-5

Nombre del archivo
Tesis Pacsi.-Vargas(2).pdf

Tamaño del archivo
10.3 MB

213 páginas

39.928 palabras

227.518 caracteres

9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Coincidencias menores (menos de 11 palabras)
- Fuentes de Internet
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

Exclusiones

- N.º de coincidencia excluida

Fuentes principales

0% Fuentes de Internet
0% Publicaciones
9% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

Caracteres reemplazados
9 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

AGRADECIMIENTO

De Alfredo Carlos Vargas Reyes:

A Dios, por darme la vida, la salud y la fortaleza necesaria para seguir adelante y permitirme alcanzar esta meta tan importante.

A mi familia, por su amor, apoyo incondicional y sacrificio constante, quienes han sido el pilar fundamental en cada paso de mi formación.

A mi enamorada, por su amor, paciencia y motivación permanente, por estar a mi lado en los momentos difíciles y celebrar conmigo cada logro; gracias por ser mi inspiración. Y a mi querida angelita Kiara, por brindarme alegría, compañía y momentos de tranquilidad que hicieron más llevadero este camino.

De Paul Arnold Pacsi Alave:

A mis queridos padres, por su amor, apoyo incondicional y sacrificio constante, siendo siempre mi mayor motivación para seguir adelante.

A mi asesor de tesis Mgt. Victor Garate, por su orientación, paciencia y valioso acompañamiento durante el desarrollo de esta investigación.

A mi compañera de vida Estrella y a mi pequeña Margaret, que día a día me dan fuerza y motivación para mejorar.

A mis amigos y compañeros de trabajo, gracias por su apoyo, consejos y palabras de ánimo a lo largo de este camino.

Asimismo, agradezco a la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica y todos quienes son parte, por mi formación profesional y por brindarme los conocimientos necesarios para alcanzar este logro.

A todos quienes contribuyeron de alguna manera en esta etapa, mi eterna gratitud.

INDICE

RESUMEN 13
ABSTRACT 14
INTRODUCCIÓN 15
CAPITULO I 17
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN. 17
1.1.1. Definición del problema 17
1.1.2. Formulación del problema 18
1.2 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD 19
1.2.1. Ubicación política. 19
1.2.2. Ubicación geográfica. 19
1.2.3. Accesibilidad. 19
1.3. Objetivos de la investigación 20
1.3.1. Objetivo general 20
1.3.2. Objetivo especifico 21
1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN 21
1.4.1. Hipótesis general. 21
1.4.2. Hipótesis especifica. 21
1.5. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN 22
1.5.1 Conveniencia 23
1.5.2 Relevancia Social 23
1.5.3 Implicancias Practicas 23
1.5.4 Valor teórico 23
1.5.5 Utilidad Metodológica 24
1.6 VARIABLES 24
1.6.1. Variables Independientes 24
1.6.2. Variables Dependientes 24
1.7. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 25
1.7.1. Tipo de investigación 25
1.7.2. Diseño de investigación. 26
1.6.3. Nivel de investigación. 27

CAPITULO II 28
MARCO TEORICO 28
2.1. Antecedentes Teóricos de la Investigación. 28
2.1.1. Antecedentes Internacionales. 28
2.1.2. Antecedentes Nacionales. 29
2.1.3. Antecedentes Locales. 30
2.2. BASES TEORICAS DE LA INVESTIGACION 32
2.2.1. Roca. 32
2.2.2. Macizo rocoso. 33
2.2.3. Matriz rocosa. 33
2.2.4. Discontinuidades. 34
2.2.5. Geología estructural. 37
2.2.6. Esfuerzo 41
2.2.7. Deformación. 42
2.2.8. Fallas y discontinuidades. 45
2.2.9. Criterios de rotura. 45
2.2.10. Mecanismos de rotura 52
2.2.11. Caracterización geomecánica 53
2.2.12. Clasificaciones geomecánicas 58
2.2.13. Parámetros de clasificación 60
2.2.14. Geological strength index 68
2.2.15. Clasificación SMR (slope mass rating) 73
2.2.16. Q de Barton a partir de RMR 76
2.2.17. Estado tensional natural. 77
2.2.18. Formulación de Sheorey. 77
2.2.19. Ensayos en geomecánica de rocas. 80
CAPITULO III 84
GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA 84
3.1. GEOLOGIA REGIONAL 84
3.1.1. Formación Kayra- Eoceno. 84
3.1.2. Formación Soncco Eoceno Superior -Oligoceno Inferior 84
3.1.2. Formación San Sebastián – Cuaternario 86

3.2. GEOLOGIA LOCAL 86
3.3. GEOMORFOLÓGICA REGIONAL 88
3.4. GEOMORFOLOGÍA LOCAL 90
3.5. INFORMACIÓN DE PENDIENTES EN EL AREA DE ESTUDIO 92
3.6. MARCO ESTRUCTURAL 94
CAPITULO IV 95
MARCO GEOMECÁNICO 95
4.1 Estación Geomecánica N°1 95
4.2 Estación Geomecánica N°2 102
4.3 Estación Geomecánica N°3 109
4.4 Estación Geomecánica N°4 116
4.5 Estación Geomecánica N°5 123
4.6 Estación Geomecánica N°6 130
4.7 Estación Geomecánica N°7 137
4.8 Estación Geomecánica N°8 144
4.9 Estación Geomecánica N°9 151
4.10 Estación Geomecánica N°10 158
4.11 Estación Geomecánica N°11 165
4.12 Estación Geomecánica N°12 172
4.13 Estación Geomecánica N°13 179
4.14 Estación Geomecánica N°14 186
4.15 Estación Geomecánica N°15 193
RESULTADOS Y DISCUSIONES 200
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 208
Conclusiones 208
Recomendaciones 210
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 212
ANEXOS 214

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: *Acceso vía terrestre del terminal de buses de cuzo hacia lo zona de Chocco*. 20
Figura 2: *Descripción de discontinuidades* 36
Figura 3: *Grado de deformación en rocas, en función de la presión, profundidad y temperatura* 38
Figura 4:*Comportamiento estructural de la una Formación litológica*. 39
Figura 5: *Geometría de las fallas*. 40
Figura 6: *Comportamiento de elasticidad y plasticidad de una roca* 44
Figura 7: *Elementos de un pliegue* 44
Figura 8: *Comportamiento de fallas y fracturas.* 45
Figura 9: *Envolventes de Mohr – Coulomb.* 47
Figura 10: *Envolventes de rotura del criterio de Hoek y Brown.* 48
Figura 11: *Estimación de la rugosidad mediante el peine de Barton.* 55
Figura 12: *Escala de rugosidad definida por perfiles de 10 cm de longitud.* 56
Figura 13: *Abaco de resistencia a la compresión simple* 56
Figura 14:*Puntaje o Rating asociado a la resistencia en compresión uniaxial de la "Roca Intacta", UCS* 61
Figura 15: *Puntaje o Rating asociado al Índice de calidad de RQD del Macizo Rocoso* 62
Figura 16: *Vista de condición de Juntas del macizo rocoso.* 64
Figura 17: *Correlación entre "s" y RQD.* 65
Figura 18: *GSI para Macizos Fracturados* 71
Figura 19: *GSI para Macizos Estratificados Heterogéneos* 72
Figura 20: *Toma de numero de rebotes con martillo de Schmidt* 80
Figura 21: *Ensayo de compresión simple* 82
Figura 22: *Peso de la muestra.* 82
Figura 23: *Columna estratigráfica de las formaciones Kayra y Soncco, levantada al sur de San Jerónimo, en el corte de referencia* 85
Figura 24: *Mapa de Dominios Morfoestructurales del Cuadrángulo de Cusco* 90
Figura 25: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 1.: Familia de discontinuidades.* 96
Figura 26: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 1.: Roseta Estructural.* 96

Figura 27: *Ploteo de datos obtenidos en campo para cálculo del GSI en la estación N°1* 98
Figura 28: *Análisis de Esfuerzos Rocdata utilizando la clasificación de Morh – Coulomb y el criterio de Hoek y Brown en la estación N°1* 100
Figura 29:*Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 2: Familia de discontinuidades* 103
Figura 30: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 2: Roseta estructural* 103
Figura 31: *Ploteo de datos obtenidos en campo para cálculo del GSI en la estación Geomecánica N°2.* 105
Figura 32: *Análisis de Esfuerzos Rocdata utilizando la clasificación de Morh – Coulomb y el criterio de Hoek y Brown en la estación N°2.* 107
Figura 33: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 3: Familia de discontinuidades.* 110
Figura 34: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 3: Roseta estructural.* 110
Figura 35:*Ploteo de datos obtenidos en campo para cálculo del GSI en la estación N°3.* 112
Figura 36: *Análisis de Esfuerzos Rocdata utilizando la clasificación de Morh – Coulomb y el criterio de Hoek y Brown en la estación N°3.* 114
Figura 37: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 3: Familia de discontinuidades.* 117
Figura 38: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 3: Roseta estructural* 117
Figura 39: *Ploteo de datos obtenidos en campo para cálculo del GSI en la estación N°4* 119
Figura 40: *Análisis de Esfuerzos Rocdata utilizando la clasificación de Morh – Coulomb y el criterio de Hoek y Brown en la estación N°4.* 121
Figura 41: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 5: Familia de discontinuidades* 124
Figura 42: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 5: Roseta estructural* 124
Figura 43: *Ploteo de datos obtenidos en campo para cálculo del GSI en la estación N°5* 126
Figura 44: *Análisis de Esfuerzos Rocdata utilizando la clasificación de Morh – Coulomb y el criterio de Hoek y Brown en la estación N°5.* 128

Figura 45: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 6: Familia de discontinuidades.* 131
Figura 46: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 6: Roseta estructural.* 131
Figura 47:*Ploteo de datos obtenidos en campo para cálculo del GSI en la estación N°6.* 133
Figura 48: *Análisis de Esfuerzos Rocdata utilizando la clasificación de Morh – Coulomb y el criterio de Hoek y Brown en la estación N°6.* 135
Figura 49: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 7: Familia de discontinuidades.* 138
Figura 50: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 7: Roseta estructural.* 138
Figura 51: *Ploteo de datos obtenidos en campo para cálculo del GSI en la estación N°7.* 140
Figura 52: *Análisis de Esfuerzos Rocdata utilizando la clasificación de Morh – Coulomb y el criterio de Hoek y Brown en la estación N°7.* 142
Figura 53: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 8: Familia de discontinuidades.* 145
Figura 54: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 8: Roseta estructural.* 145
Figura 55*. Cuadro de registro Geomecánico de la Matriz Rocosa de la estación N°8.* 146
Figura 56: *Ploteo de datos obtenidos en campo para cálculo del GSI en la estación N°8* 147
Figura 57: *Análisis de Esfuerzos Rocdata utilizando la clasificación de Morh – Coulomb y el criterio de Hoek y Brown en la estación N°8.* 149
Figura 58: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 9: Familia de discontinuidades* 152
Figura 59: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 9: Roseta estructural* 152
Figura 60: *Ploteo de datos obtenidos en campo para cálculo del GSI en la estación N°9.* 154
Figura 61: *Análisis de Esfuerzos Rocdata utilizando la clasificación de Morh – Coulomb y el criterio de Hoek y Brown en la estación N°9.* 156
Figura 62: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 10: Familia de discontinuidades.* 159

Figura 63*: Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 10: Roseta estructural.* 159
Figura 64: *Ploteo de datos obtenidos en campo para cálculo del GSI en la estación N°10.* 161
Figura 65: *Análisis de Esfuerzos Rocdata utilizando la clasificación de Morh – Coulomb y el criterio de Hoek y Brown en la estación N°10.* 163
Figura 66: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 11: Familia de discontinuidades.* 166
Figura 67: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 11: Roseta estructural.* 166
Figura 68: *Ploteo de datos obtenidos en campo para cálculo del GSI en la estación N°11.* 168
Figura 69: *Análisis de Esfuerzos Rocdata utilizando la clasificación de Morh – Coulomb y el criterio de Hoek y Brown en la estación N°11.* 170
Figura 70: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 12: Familia de discontinuidades* 173
Figura 71: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 12: Roseta estructural.* 173
Figura 72: *Ploteo de datos obtenidos en campo para cálculo del GSI en la estación N°12.* 175
Figura 73: *Análisis de Esfuerzos Rocdata utilizando la clasificación de Morh – Coulomb y el criterio de Hoek y Brown en la estación N°12.* 177
Figura 74: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica N°13: Familia de discontinuidades.* 180
Figura 75: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica N°13: Roseta estructural.* 180
Figura 76: *Ploteo de datos obtenidos en campo para cálculo del GSI en la estación N°13.* 182
Figura 77: *Análisis de Esfuerzos Rocdata utilizando la clasificación de Morh – Coulomb y el criterio de Hoek y Brown en la estación N°13.* 184
Figura 78: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica N°14: Familia de discontinuidades.* 187
Figura 79: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica N°14: Roseta estructural.* 187
Figura 80: *Ploteo de datos obtenidos en campo para cálculo del GSI en la estación N°14.* 189

Figura 81: *Análisis de Esfuerzos Rocdata utilizando la clasificación de Morh – Coulomb y el criterio de Hoek y Brown en la estación N°14* 191
Figura 82: *Proyección esterográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica N°15:Familia de discontinuidades* 194
Figura 83: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica N°15: Roseta estructural.* 194
Figura 84: *Ploteo de datos obtenidos en campo para cálculo del GSI en la estación N°15.* 196
Figura 85: *Análisis de Esfuerzos Rocdata utilizando la clasificación de Morh – Coulomb y el criterio de Hoek y Brown en la estación N°15.* 198
Figura 86: *Abaco para estimar la resistencia a la compresión de la Estación Geomecánica Nº1* .. 201

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: *Accesibilidad para la zona de estudio* 20
Tabla 2: *Estimación de texturas según el tipo de roca.* 50
Tabla 3: *Guías para estimar el factor de alteración D, del criterio de rotura de Hoek & Brown, D.* 51
Tabla 4: *Terminología de espaciados recomendada por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (SIMR)* 55
Tabla 5: *Clasificación de la persistencia.* 55
Tabla 6: *Terminología de apertura recomendada por la SIMR* 57
Tabla 7: *Interpretación del RQD* 59
Tabla 8: *Parámetros geomecánicos utilizados en la clasificación RMR.* 60
Tabla 9: *Tabla de Puntajes de la resistencia de la "Roca Intacta"* 61
Tabla 10:*Puntaje asociado al Índice RQD* 62
Tabla 11: *Puntajes asociados a la condición de las estructuras, JC.* 63
Tabla 12: *Guías para una Evaluación Detallada del Puntaje Asociado a JC.* 64
Tabla 13:*Puntajes Asociados a la Condición de Aguas WC.* 65
Tabla 14: *Puntuaciones de la clasificación RMR* 66
Tabla 15: *Margen de error para cada valor de RMR de Bieniawski* 66
Tabla 16: *Calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR.* 67
Tabla 17: *Margen de error para cada valor de GSI de Hoek* 69
Tabla 18: *Valoración RMR adaptada por Romana para SMR.* 74

Tabla 19: *Valorización del Factor F1* 75
Tabla 20: *Valorización Del Factor F2* 75
Tabla 21: *Valorización del factor F3 para el SMR.* 76
Tabla 22:*Clasificación SMR* 76
Tabla 23. *Coordenadas de la Estación Geomecánica 1* 95
Tabla 24: *Resumen de los valores obtenidos en el Software Rocdata aplicando los valores de la estación N°1.* 101
Tabla 25: *Coordenadas de la Estación Geomecánica N°2* 102
Tabla 26: *Resumen de los valores obtenidos en el Software Rocdata aplicando los valores de la estación Geomecánica N°2.* 108
Tabla 27: *Coordenadas de la Estación Geomecánica N°3.* 109
Tabla 28: *Resumen de los valores obtenidos en el Software Rocdata aplicando los valores de la estación N°3.* 115
Tabla 29: *Coordenadas de la Estación Geomecánica N°4.* 116
Tabla 30: *Resumen de los valores obtenidos en el Software Rocdata aplicando los valores de la estación N°4.* 122
Tabla 31: *Coordenadas de la Estación Geomecánica N°5.* 123
Tabla 32: *Resumen de los valores obtenidos en el Software Rocdata aplicando los valores de la estación N°5.* 129
Tabla 33: *Coordenadas de la Estación Geomecánica N°6.* 130
Tabla 34: *Resumen de los valores obtenidos en el Software Rocdata aplicando los valores de la estación N°6.* 136
Tabla 35: *Coordenadas de la Estación Geomecánica N°7.* 137
Tabla 36: *Resumen de los valores obtenidos en el Software Rocdata aplicando los valores de la estación N°7.* 143
Tabla 37:*Coordenadas de la Estación Geomecánica N°8* 144
Tabla 38: *Resumen de los valores obtenidos en el Software Rocdata aplicando los valores de la estación N°8.* 150
Tabla 39: *Coordenadas de la Estación Geomecánica N°9.* 151
Tabla 40: *Resumen de los valores obtenidos en el Software Rocdata aplicando los valores de la estación N°9.* 157
Tabla 41:*Coordenadas de la Estación Geomecánica N°10.* 158

Tabla 42: *Resumen de los valores obtenidos en el Software Rocdata aplicando los valores de la estación N°10.* 164
Tabla 43: *Coordenadas de la Estación Geomecánica N°11.* 165
Tabla 44: *Resumen de los valores obtenidos en el Software Rocdata aplicando los valores de la estación N°11.* 171
Tabla 45: *Coordenadas de la Estación Geomecánica N°12* 172
Tabla 46: *Resumen de los valores obtenidos en el Software Rocdata aplicando los valores de la estación N°12.* 178
Tabla 47: *Coordenadas de la Estación Geomecánica N°13* 179
Tabla 60: *Resumen de los valores obtenidos en el Software Rocdata aplicando los valores de la estación N°13.* 185
Tabla 49: *Coordenadas de la Estación Geomecánica N°14* 186
Tabla 50: *Resumen de los valores obtenidos en el Software Rocdata aplicando los valores de la estación N°14* 192
Tabla 51: *Coordenadas de la Estación Geomecánica N°15* 193
Tabla 52: *Resumen de los valores obtenidos en el Software Rocdata aplicando los valores de la estación N°15* 199
Tabla 53: *Valores de rebote del esclerómetro* 201
Tabla 54: *Resultados de la resistencia a la compresión calculada con el esclerómetro para cada Estación Geomecánica* 202
Tabla 55: *Resultados de la resistencia a la compresión* 203
Tabla 56: *Resultados de las propiedades geomecánicas de cada estación* 205

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo caracterizar geomecánicamente la Formación Kayra en el sector Chocco, al sureste del Cusco, área que experimenta un crecimiento urbano acelerado. La litología dominante son areniscas feldespáticas intercaladas con lutitas rojas, cuyo comportamiento geomecánico depende de la interacción entre la roca intacta y sus discontinuidades.

La metodología comprendió fases de gabinete, campo y análisis. Se realizaron 15 estaciones geomecánicas con levantamientos estructurales, evaluación de discontinuidades y esclerometría, sumados a ensayos de compresión en laboratorio. La clasificación del macizo empleó el RMR de Bieniawski (1989) y el índice RQD de Deere (1964), reforzados con los criterios de rotura de Mohr-Coulomb y Hoek-Brown.

Los resultados indican que el macizo presenta, en general, una calidad entre buena y regular, con predominio de roca tipo II y menor proporción de tipo III. Esto sugiere condiciones adecuadas para cimentaciones y obras civiles, aunque se registran variaciones locales asociadas a la orientación, espaciamiento, persistencia y estado de las discontinuidades. También se verificó que las propiedades físico-mecánicas de la roca intacta no son suficientes para describir su comportamiento de forma independiente; la estructura geológica y la geomorfología del sector tienen una influencia determinante.

Se concluyó que la caracterización geomecánica es una herramienta esencial para planificar y diseñar obras, pues permite reducir riesgos geotécnicos y mejorar la toma de decisiones. Este estudio ofrece una base técnica que apoyará el desarrollo seguro de la infraestructura en la región.

Palabras clave: Caracterización geomecánica, Macizo rocoso, RMR, Areniscas, Discontinuidades.

ABSTRACT

This study aims to geomechanically characterize the Kayra Formation in the Chocco sector, southeast of Cusco, an area experiencing rapid urban growth. The dominant lithology consists of feldspathic sandstones interbedded with red shales, whose geomechanical behavior depends on the interaction between the intact rock and its discontinuities.

The methodology comprised office, field, and analytical phases. Fifteen geomechanical stations were established, including structural surveys, discontinuity evaluation, and sclerometric testing, in addition to laboratory compression tests. The rock mass classification employed Bieniawski's RMR (1989) and Deere's RQD (1964) index, reinforced by the Mohr-Coulomb and Hoek-Brown failure criteria.

The results indicate that the rock mass generally exhibits good to fair quality, with a predominance of Type II rock and a smaller proportion of Type III. This suggests suitable conditions for foundations and civil works, although local variations are observed related to the orientation, spacing, persistence, and condition of the discontinuities. It was also verified that the physical-mechanical properties of the intact rock are insufficient to independently describe its behavior; the geological structure and geomorphology of the area have a determining influence.

It was concluded that geomechanical characterization is an essential tool for planning and designing projects, as it allows for the reduction of geotechnical risks and improves decision-making. This study provides a technical basis that will support the safe development of infrastructure in the region.

Keywords: Geomechanical Characterization, Rock mass, RMR, Sandstones, Discontinuities.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó con el fin de desarrollar un estudio de las propiedades geomecánicas de la Formación Kayra, que se encuentra aflorando en el sureste de la ciudad del Cusco, lugar donde actualmente se vienen construyendo viviendas y obras de ingeniería debido a la explosión demográfica. El material geológico observado en la zona de estudio corresponde a una roca arenisca feldespática con intercalaciones de lutitas rojas (Carlotto, 2011).

Los estudios sobre geomecánica de rocas en el departamento de Cusco son escasos y, en caso de existir, suelen ser muy limitados. En la práctica, cuando se observó un afloramiento rocoso, a menudo se asume que este puede soportar cierto número de cargas sin mayores problemas. Esta percepción se refuerza cuando los ensayos realizados en testigos de roca arrojan valores de resistencia elevados, lo que lleva a pensar que el afloramiento puede sostener cargas de diseño considerables.

Los proyectos ingenieriles deben tener un correcto sustento técnico y una correcta construcción de estructuras, para llegar a esto es importante realizar un riguroso estudio de las características geomecánicas del terreno donde se desarrollarán las obras y proyectos.

El comportamiento geológico - geotécnico de los macizos rocosos está condicionado por su resistencia a la deformación y su deformabilidad, es decir depende del estado del macizo rocoso y de las características de las discontinuidades que se encuentran en el mismo (cantidad, persistencia, relleno, rugosidad, presencia de agua, ángulo de fricción interna y otros).

Para determinar la clasificación y caracterización geomecánica del macizo rocoso se utilizó el método RMR (Rock Mass Rating) propuesto por Bieniawski en 1989 y para la designación de la calidad del macizo rocoso se utilizó el método de RQD propuesto y desarrollado por D.U. Deere

en 1964. También se llevó a cabo ensayos de resistencia en campo (Esclerometría) y en gabinete (Compresión simple).

El estudio tuvo como propósito principal realizar la caracterización geomecánica del macizo rocoso de la Formación Kayra, con el fin de analizar su comportamiento y evaluar sus condiciones para la ejecución de obras civiles en el sector Chocco, distrito de Santiago – Cusco.

En el primer capítulo se desarrolló los aspectos generales de la investigación, incluyendo la ubicación del área de estudio, accesibilidad, planteamiento del problema, objetivos, hipótesis, variables y la justificación del trabajo.

En el segundo capítulo se desarrolló el marco teórico, donde se revisan los antecedentes y las bases conceptuales relacionadas con el tema de investigación.

El tercer capítulo estuvo orientado al análisis geológico del área de estudio, abarcando la geología, geomorfología y el marco estructural de la zona.

Finalmente, en el cuarto capítulo se desarrolló el análisis geomecánico del macizo rocoso, donde se describieron las estaciones geomecánicas evaluadas y se detallan las características principales de cada una de ellas.

CAPITULO I

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

1.1.1. Definición del problema

El área de estudio se observó un crecimiento urbano acelerado, con nuevas construcciones que surgen constantemente y proyecciones de expansión futura. Sin embargo, actualmente no existe un trabajo de investigación que desarrolle las características geomecánicas de las rocas del subsuelo de la Formación Kayra y su relación con la construcción de viviendas, obras de ingeniería y estructuras en el sector Chocco, al Sureste de la ciudad del Cusco.

Esta falta de conocimiento incrementa los riesgos de fallas estructurales, asentamientos o deslizamientos, afectando la seguridad de las edificaciones y de las personas. Por ello, es fundamental realizar una caracterización geomecánica de las rocas, proporcionando una base confiable para decisiones de planificación urbana.

González Vallejo sostiene que la ingeniería geológica busca integrar los factores del entorno geológico en el diseño y ejecución de obras de ingeniería, con la finalidad de prevenir o reducir los riesgos de desastres asociados a dichas condiciones. Hoy en día estos estudios son necesarios y hasta obligatorios, para la construcción de obras viales, residenciales, puentes, etc., ya que conociendo el comportamiento de los materiales geológicos se puede disminuir el impacto de algún evento geológico. (Gonzáles de Vallejo, 2002)

Los estudios geomecánicos (mapeo geomecánico, ensayos de carga uniaxial, esclerómetro y ensayos degradación física y química), y geológicos (mapeo estructural, geomorfológico y litológico) guardan una estrecha e inseparable relación, y estos son fundamentales para el desarrollo de cualquier construcción, obra y estructura, ya sea por el tiempo de vida útil o por los factores económicos, es por esta razón que es necesario contar con una investigación que pueda

servir de soporte para futuras obras que se lleven a cabo sobre el área de estudio. Karl Terzaghi, considerado el padre de la mecánica de suelos, decía que para la realización de una de obra ingenieril no bastaba con tener conocimientos o fundamentos teóricos, ensayos de laboratorio, más allá de esto lo que prima a la hora de tomar una decisión es el grado de expertiz, la experiencia en campo y lo observado en campo, para poder llevar a la práctica lo intangible.

El área seleccionada para este estudio, al carecer de estudios geomecánicas y geológicos puede desencadenar catástrofes en el futuro.

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Cuáles son las características geomecánicas del macizo rocoso de la Formación Kayra y de qué manera influyen para la construcción de obras civiles en el sector Chocco, distrito de Santiago – Cusco?

1.1.2.2. Problema especifico

- ¿Como influyen las características geológicas (estratigrafía, características estructurales, geomorfología) del macizo rocoso de la formación Kayra en la construcción de obras civiles en el sector Chocco?
- ¿Qué calidad presenta el macizo rocoso de la Formación Kayra en el sector Chocco según la clasificación geomecánica de RMR?
- ¿Cuáles son las características físicas, mecánicas y químicas del macizo rocoso de la Formación Kayra en el sector Chocco?
- ¿Cuáles son las características de las discontinuidades del macizo rocoso de la Formación Kayra en el sector Chocco?

1.2 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

1.2.1. Ubicación política.

Desde el punto de vista político-administrativo, el área de estudio se localiza en el sector de Chocco, dentro del distrito de Santiago, en la provincia y región del Cusco, Perú. El área comprende aproximadamente 31 hectáreas, donde se desarrolla el presente estudio.

1.2.2. Ubicación geográfica.

Geográficamente, el sector Chocco se encuentra en el distrito de Santiago, de la provincia y departamento del Cusco, en el sur del Perú. Esta área forma parte del entorno periurbano de la ciudad del Cusco y presenta un relieve característico de la región andina, con formas montañosas y pendientes variables.

En este sector afloran unidades rocosas pertenecientes a la Formación Kayra, las cuales constituyen el principal objeto de análisis geomecánico. Las condiciones del terreno, sumadas a la variación del relieve, influyen directamente en el comportamiento del macizo rocoso. Asimismo, la zona cuenta con accesos relativamente adecuados que permiten el desarrollo de trabajos de reconocimiento y campo, lo que facilita la ejecución de estudios geológicos y geomecánicos.

1.2.3. Accesibilidad.

El acceso al área de estudio se realiza desde la ciudad del Cusco, dirigiéndose hacia el suroeste por la carretera asfaltada Cusco–Paruro. Desde el terminal de buses, el recorrido continúa hasta el sector de Chocco, con una distancia aproximada de 4,1 km.

Tabla 1: *Accesibilidad para la zona de estudio*

Tramo	Vía	Distancia (Km)	Tiempo(min)
Cuzco-Chocco	Carretera asfaltada	4.1	16

Figura 1: *Acceso vía terrestre del terminal de buses de cuzo hacia lo zona de Chocco*.

Fuente: (*Google Maps, 2026)*

1.3.Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Realizar la caracterización geomecánica del macizo rocoso de la Formación Kayra para evaluar su comportamiento y su aptitud para la construcción de obras civiles en el sector Chocco, distrito de Santiago – Cusco.

1.3.2. Objetivo especifico

- Conocer cómo influyen las características geológicas (estratigrafía, características estructurales, geomorfología) del macizo rocoso de la Formación Kayra en la construcción de obras civiles en el sector Chocco.
- Determinar la calidad del macizo rocoso de la Formación Kayra en el sector Chocco.
- Determinar las características físicas, mecánicas y químicas del macizo rocoso de la Formación Kayra en el sector Chocco.
- Determinar las características de las discontinuidades del macizo rocoso de la Formación Kayra en el sector Chocco.

1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Hipótesis general.

La caracterización geomecánica de la Formación Kayra en el sector Chocco, en el distrito de Santiago, permitirá identificar las condiciones litológicas, estructurales y morfológicas que influyen en la calidad del macizo rocoso y el comportamiento del afloramiento frente a esfuerzos externos que puedan suceder sobre el mismo y afectar la construcción de las obras civiles.

1.4.2. Hipótesis especifica.

- Las condiciones geológicas locales como la estratigrafía, estructuras (discontinuidades) y geomorfología influyen directamente en la viabilidad, planificación y la construcción de las obras civiles, afectando principalmente la estabilidad y el comportamiento a largo plazo de las estructuras.
- La calidad geomecánica del macizo rocoso en el sector Chocco varía moderadamente, permitiendo identificar zonas con condiciones buenas y regulares para el desarrollo de obras civiles. En general presenta calidades óptimas para soportar cargas de obras civiles.

- La variabilidad litológica y los procesos de alteración Física y química generan diferencias marcadas en las propiedades físico-mecánicas del macizo rocoso, reduciendo su resistencia y su calidad del macizo rocoso El macizo estudiado posee propiedades físicas y químicas que favorecen su resistencia y durabilidad frente a cargas de obras civiles.
- Las discontinuidades del macizo rocoso en la Formación Kayra presentan orientaciones predominantes y espaciamientos regulares, se encuentran distribuidas de manera que no comprometen significativamente la estabilidad del macizo rocoso para la construcción de obras civiles.

1.5. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN

La explosión demográfica en el sector Chocco, ha generado la ejecución de nuevas obras civiles en áreas donde las condiciones del terreno aún no han sido evaluadas con el nivel de detalle necesario. Es por esto que la caracterización geomecánica del macizo rocoso adquiere relevancia, ya que permite comprender su comportamiento a partir de parámetros como el grado de fracturamiento, la resistencia de la roca y la disposición de las discontinuidades, factores que influyen directamente en la estabilidad de excavaciones, cimentaciones y taludes. La importancia del estudio radica en que aporta información técnica clave para la planificación y el diseño de infraestructura, reduciendo la incertidumbre sobre la respuesta del terreno frente a las cargas y modificaciones propias de las obras civiles. De este modo, se convierte en un soporte fundamental para orientar decisiones de ingeniería en un contexto de expansión urbana, contribuyendo a un desarrollo más seguro y controlado del entorno construido.

1.5.1 Conveniencia

El estudio resulta conveniente debido al crecimiento acelerado de la población en el área, lo que ha incrementado la demanda de espacios para infraestructura y obras civiles. Ante este escenario, disponer de información geomecánica del macizo rocoso permite anticipar condiciones del terreno y reducir incertidumbres técnicas durante el diseño y ejecución de proyectos. La ausencia de estudios previos refuerza la necesidad inmediata de generar esta base de datos geológica.

1.5.2 Relevancia Social

La investigación tiene relevancia social porque contribuye a la seguridad de la población asentada o en proceso de expansión en la zona. La caracterización del macizo rocoso permite identificar posibles riesgos asociados a inestabilidad de taludes, asentamientos o fallas en obras civiles. En un contexto de crecimiento urbano no planificado, este tipo de información resulta clave para prevenir afectaciones a viviendas, vías de comunicación y servicios básicos.

1.5.3 Implicancias Practicas

Desde el punto de vista ingenieril, los resultados permitirán contar con parámetros geomecánicos útiles para el diseño de cimentaciones, taludes y otras estructuras. Asimismo, facilitarán la toma de decisiones en campo al identificar sectores con diferentes niveles de calidad del macizo rocoso, lo que contribuye a optimizar soluciones constructivas y reducir riesgos durante la ejecución de obras.

1.5.4 Valor teórico

El estudio aporta al conocimiento de la geomecánica de macizos rocosos en zonas con limitada información previa, generando datos que pueden ser comparados con investigaciones en contextos geológicos similares. Además, fortalece la comprensión del comportamiento de los materiales

rocosos frente a procesos de meteorización, fracturamiento y condiciones estructurales propias del entorno.

1.5.5 Utilidad Metodológica

La investigación permite consolidar una metodología aplicada de caracterización geomecánica en campo, mediante el uso de parámetros estandarizados y sistemas de clasificación como RMR, GSI u otros afines. Este procedimiento puede ser replicado en estudios futuros, sirviendo como guía técnica para la evaluación de macizos rocosos en zonas con condiciones geológicas comparables.

1.6 VARIABLES

1.6.1. Variables Independientes

- Estratigrafía
- Geomorfología
- Geología estructural (Discontinuidades)
- Tipo de roca

1.6.2. Variables Dependientes

- Propiedades físicas de la roca.
- Propiedades mecánicas de la roca.
- Propiedades químicas de la roca.
- Calidad geomecánica del macizo rocoso.
- Clasificaciones geomecánicas (RMR).

1.7. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1. Tipo de investigación

El estudio se enmarcó, dentro de una investigación aplicada, ya que busca generar conocimiento específico sobre las propiedades geomecánicas del macizo rocoso que pueda ser utilizado directamente en la planificación y diseño de obras civiles en zonas de expansión urbana. Además, tiene un enfoque cuantitativo, porque implica mediciones y análisis de propiedades físicas, mecánicas de las rocas.

Aplicada: Según Hernández-Sampieri (2014), la investigación aplicada se orienta a la solución de problemas concretos a partir del uso del conocimiento científico disponible.

Desde esta perspectiva, este tipo de investigación se centra en la aplicación de teorías y conceptos científicos para abordar situaciones reales. En el caso de la caracterización geomecánica de un macizo rocoso, su uso resulta pertinente debido a que los hallazgos obtenidos se emplean directamente en el desarrollo de proyectos de ingeniería civil y minera, tales como la construcción de túneles, cimentaciones, estabilidad de taludes y otras obras geotécnicas.

A partir de la información geológica y geomecánica recopilada en campo, es posible analizar el comportamiento del macizo rocoso y sustentar propuestas técnicas que contribuyan a mejorar la estabilidad y seguridad de las obras proyectadas (Hernández-Sampieri, 2014).

Cuantitativo: Según Hernández-Sampieri (2014), el enfoque cuantitativo se basa en la recopilación de datos que permiten contrastar hipótesis mediante mediciones numéricas y el uso de análisis estadístico.

Este tipo de investigación se distingue por trabajar con información expresada en valores numéricos, lo que facilita su procesamiento y evaluación objetiva. En la caracterización geomecánica, este enfoque se refleja en la obtención de parámetros medibles como el RQD, el

espaciamiento de discontinuidades, la resistencia de la roca, el buzamiento, la persistencia, así como los índices de clasificación RMR, Q y GSI.

El uso de estos indicadores permite realizar una evaluación más objetiva del macizo rocoso y sustentar su clasificación geomecánica con base en datos verificables (Hernández-Sampieri, 2014).

1.7.2. Diseño de investigación.

El diseño de investigación es no experimental, descriptivo y transversal.

No experimental: Según Hernández-Sampieri (2014), la investigación no experimental se caracteriza por la observación de los fenómenos tal como se presentan en su contexto natural, sin la manipulación deliberada de las variables. El estudio adopta un diseño no experimental, ya que no se realiza ninguna intervención sobre las variables de análisis. Se observaron, registraron y analizaron las condiciones naturales del macizo rocoso directamente en campo.

Descriptivo: De acuerdo con Hernández-Sampieri (2014), los estudios descriptivos se orientan a identificar y detallar las principales características, propiedades y particularidades de un fenómeno de interés. Este tipo de diseño busca retratar con precisión las condiciones del objeto de estudio sin intervenir en él.

En el caso de la caracterización geomecánica, el análisis se centra en describir aspectos clave del macizo rocoso, tales como las discontinuidades presentes, la litología, el grado de meteorización, la calidad del macizo, y el comportamiento estructural de la roca. Este nivel de descripción permite comprender de manera más clara el estado y las condiciones geomecánicas del macizo rocoso en su contexto natural (Hernández-Sampieri, 2014).

Transversal: De acuerdo con Hernández-Sampieri (2014), los estudios de corte transversal se caracterizan por la recolección de información en un solo momento, lo que permite describir variables y analizar su comportamiento en un periodo específico.

Bajo este enfoque, los datos se obtienen en una única campaña de trabajo, sin realizar un seguimiento continuo a lo largo del tiempo. En la caracterización geomecánica, este procedimiento se aplica mediante observaciones y mediciones de campo realizadas en una fase determinada de evaluación geológica y geotécnica. De este modo, no se estudia la evolución del macizo rocoso, sino que se analiza su estado en un momento puntual (Hernández-Sampieri, 2014).

1.6.3. Nivel de investigación.

El estudio se sitúa en un nivel explicativo-descriptivo.

Explicativo: Según Hernández-Sampieri (2014), los estudios explicativos se enfocan en identificar las causas que originan los fenómenos y en analizar las relaciones que existen entre las variables involucradas.

Este nivel de investigación no solo describe lo que ocurre, sino que busca comprender por qué ocurre. En el ámbito de la geomecánica, este enfoque permite analizar la influencia de factores como el grado de fracturamiento, la presencia de agua, la orientación estructural y la meteorización sobre la estabilidad y la calidad del macizo rocoso. A partir de ello, es posible interpretar por qué ciertas zonas presentan menor resistencia o una mayor tendencia a la inestabilidad (Hernández-Sampieri, 2014).

Descriptivo: De acuerdo con Hernández-Sampieri (2014), los estudios descriptivos se orientan a identificar y detallar las principales propiedades y rasgos de un fenómeno en análisis.

En este nivel de investigación, la caracterización del macizo rocoso se realiza mediante la descripción de elementos como las discontinuidades, las familias estructurales, la calidad de la roca, el grado de meteorización, la presencia de agua y los principales parámetros geomecánicos. El propósito es representar con precisión las condiciones reales del macizo en su estado natural, sin modificar sus características (Hernández-Sampieri, 2014).

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes Teóricos de la Investigación.

2.1.1. Antecedentes Internacionales.

Antecedente 1: Gonzales (2018), en su tesis tuvo como objetivo determinar los parámetros físico-mecánicos del macizo rocoso presentes en dicha zona. Para ello, se realizaron ensayos de campo como el uso del esclerómetro, así como pruebas de laboratorio que incluyeron compresión simple, determinación de densidad, esclerometría en núcleos de roca y ensayos tilt test. Estos ensayos permitieron establecer las propiedades fisco – mecánicas del macizo rocoso y evaluar su comportamiento geomecánico. Asimismo, se aplicaron 5 sistemas de clasificación geomecánica: RQD, RMR, SMR, Q de Barton y GSI, para determinar la calidad del macizo rocoso y su comportamiento frente a aplicaciones geotécnicas. El presente trabajo constituye un aporte relevante porque presenta una forma ordenada y práctica de realizar la caracterización geomecánica de un macizo rocoso en condiciones reales de campo. Su principal valor radica en la metodología empleada para identificar y evaluar parámetros como RQD, RMR, GSI, el grado de fracturamiento, la calidad de la roca y el estado de las discontinuidades, lo que permite obtener una visión clara del comportamiento del macizo.

Antecedente 2: Martínez & Hernández (2020), en su estudio , tuvieron como objetivo analizar las condiciones geomecánicas del macizo rocoso presentes en los taludes de la vía. Para ello, realizaron trabajos de campo que incluyeron levantamientos estructurales, identificación de discontinuidades y mediciones del índice RQD. Además, se llevaron a cabo ensayos de laboratorio

para determinar parámetros físico-mecánicos de las rocas. Con la información recopilada se aplicaron los sistemas RMR de Bieniawski, SMR y el índice GSI, para determinar la calidad del macizo rocoso y evaluar su influencia en la estabilidad de los taludes, lo cual contribuyó a proponer medidas de estabilización y mitigación de riesgos geotécnicos. Este estudio sirve como referencia metodológica porque organiza la evaluación del macizo a partir de parámetros como: el grado de fracturamiento, calidad de roca, condiciones estructurales y presencia de discontinuidades, los cuales se integran en sistemas de clasificación geomecánica para interpretar el nivel de estabilidad. A partir de ello, establece criterios técnicos que permiten identificar zonas críticas y estimar su susceptibilidad a deslizamientos.

2.1.2. Antecedentes Nacionales.

Antecedente 1: Coila (2019), en su investigación, tuvo como objetico analizar y determinar las propiedades geomecánicas de las ignimbritas pertenecientes a la Formación Huaylillas, ubicadas en el Cerro Intiorko, con la finalidad de evaluar su idoneidad como material para cimentaciones en el distrito de Alto de la Alianza, región de Tacna. Para ello, se realizaron trabajos de campo y análisis geomecánicos del macizo rocoso aplicándose los sistemas de clasificación geomecánica RMR (Rock Mass Rating) propuesto por Bieniawski (1989) y el sistema Q de Barton (1974). Los resultados permitieron determinar la calidad del macizo rocoso y su comportamiento geomecánico, estableciendo criterios técnicos para su aplicación en obras de cimentación. El presente estudio constituye un aporte metodológico, ya que contribuye al mostrar cómo se integran diferentes sistemas de clasificación geomecánica para interpretar el comportamiento del macizo rocoso, permitiendo traducir datos de campo en criterios de calidad y estabilidad. En ese sentido, sirve como base para estructurar el proceso de levantamiento geomecánico en otros contextos

litológicos, como los macizos de arenisca, donde las condiciones de meteorización, cementación y fracturamiento también influyen de manera determinante.

Antecedente 2: Sánchez (2017), en su estudio, tuvo como objetivo evaluar la calidad geomecánica y geotécnica de los materiales presentes en la zona de la carretera, con el fin de analizar su comportamiento frente a las condiciones de estabilidad y seguridad vial. Para ello, se realizaron estudios de campo y ensayos de laboratorio orientados a determinar propiedades físicas y mecánicas del material, tales como resistencia a la compresión, densidad y permeabilidad. Los resultados obtenidos permitieron caracterizar el comportamiento geotécnico de los materiales presentes en el área de estudio y proponer recomendaciones técnicas y medidas de mitigación para mejorar la estabilidad y seguridad de la infraestructura vial. El aporte de este trabajo es la forma en que organiza el trabajo de campo y el análisis de parámetros geomecánicos como el grado de fracturamiento, la calidad del macizo, la resistencia de la roca y las condiciones estructurales, los cuales son fundamentales también en estudios de areniscas.

2.1.3. Antecedentes Locales.

Antecedente 1: Montesinos (2019), en su estudio denominado, tuvo como objetivo de evaluar las condiciones geomecánicas del macizo rocoso presente en el área de estudio. Para ello se efectuaron estaciones geomecánicas, levantamiento estructural y clasificación del macizo rocoso mediante el sistema RMR. Los resultados evidenciaron que el macizo rocoso presenta un grado moderado de fracturamiento y meteorización, lo cual influye en la estabilidad de los taludes. El estudio concluyó que es necesario implementar medidas de estabilización en algunos sectores para disminuir el riesgo de caída de rocas y deslizamientos en la vía. El aporte del estudio es metodológico y

aplicado: proporciona un esquema para transformar la información geomecánica del macizo rocoso en modelos de estabilidad, lo que permite evaluar condiciones de seguridad en taludes y adaptar ese enfoque a otros contextos litológicos como las areniscas.

Antecedente 2: Quispe (2018), en su estudio, desarrolló una investigación geotécnica. El estudio tuvo como objetivo caracterizar geomecanicámente el macizo rocoso para determinar su influencia en la estabilidad de los taludes de corte. Para ello se realizaron ensayos de campo y laboratorio, además de aplicar el sistema de clasificación geomecánica RMR. Los resultados mostraron valores promedios de RMR que corresponden a un macizo rocoso de calidad media, indicando que la estabilidad de los taludes depende principalmente del espaciamiento de discontinuidades, la orientación estructural y el grado de alteración de la roca. El aporte del estudio es metodológico y practico, ya que ofrece un esquema claro para evaluar macizos rocosos y relacionar sus propiedades con la estabilidad de taludes, lo que puede adaptarse de forma directa al análisis de areniscas en proyectos de ingeniería.

Antecedente 3: Condori (2020), en su estudio llevó a cabo una investigación con el objetivo de analizar condiciones geomecánicas de un macizo rocoso y su relación con la estabilidad de taludes. En el estudio se realizaron levantamientos geomecánicos, determinación de parámetros de resistencia de la roca intacta y evaluación del sistema de discontinuidades. Los resultados permitieron clasificar el macizo rocoso mediante el sistema RMR y determinar zonas potencialmente inestables a lo largo del tramo evaluado. El autor concluyó que la caracterización geomecánica constituye una herramienta fundamental para la planificación y diseño de obras de estabilización en carreteras de zonas montañosas. El aporte de estudio es enfoque aplicado para

vincular la caracterización geomecánica del macizo rocoso con la identificación de zonas inestables en taludes de carreteras en ambientes montañosos. Su contribución más importante radica en la integración de trabajos de campo y el uso del sistema de clasificación RMR para interpretar la calidad del macizo a partir de parámetros como la resistencia de la roca intacta y el análisis de las discontinuidades.

2.2. BASES TEORICAS DE LA INVESTIGACION

2.2.1. Roca.

Una roca puede describirse como un material sólido constituido por uno o varios minerales que conforman grandes extensiones de la corteza terrestre (Ramírez & Alejano, 2004). A esta conceptualización se suma que presenta características físicas y químicas propias que permiten su identificación y clasificación.

En el campo de la geomecánica, el término roca —o también roca intacta o matriz rocosa— se utiliza para referirse al material que no presenta discontinuidades visibles a simple vista ni con ayuda de una lupa geológica, es decir, aquel que se considera continuo desde el punto de vista ingenieril.

Sin embargo, en condiciones naturales, las rocas rara vez se encuentran completamente intactas, ya que suelen estar afectadas por discontinuidades de diversa procedencia, ya sea de origen geológico, tectónico o estructural, incluyendo planos de estratificación o esquistosidad, los cuales condicionan significativamente el comportamiento del macizo rocoso. Propiedades de las rocas: porosidad, contenido de agua, peso volumétrico, alteración, alterabilidad, mineralogía y densidad.

2.2.2. Macizo rocoso.

El macizo rocoso se entiende como la disposición natural en la que las rocas se encuentran en la corteza terrestre (Ramírez & Alejano, 2004). En este contexto, no se trata de un medio homogéneo, ya que su estructura está interrumpida por discontinuidades o planos de debilidad que generan una división del material en bloques dentro de la matriz rocosa. Estas características controlan en gran medida el comportamiento mecánico del macizo y su respuesta frente a cargas o procesos geológicos.

Un macizo rocoso se caracteriza por ser un sistema geológico complejo, en el que coexisten la matriz rocosa y las discontinuidades, lo que le confiere un comportamiento discontinuo, heterogéneo, anisótropo e inelástico, condición resumida bajo el acrónimo "DIANE" (Discontinuous, Inhomogeneous, Anisotropic & Non-Elastic) **(Ramírez & Alejano, 2004).**

Este enfoque contrasta con el modelo idealizado "CHILE" (Continuous, Homogeneous, Isotropic & Linear-Elastic), el cual asume un medio continuo, homogéneo, isótropo y con comportamiento linealmente elástico, supuesto que no representa adecuadamente el comportamiento real de los macizos rocosos en condiciones naturales.

2.2.3. Matriz rocosa.

La matriz rocosa corresponde a la porción del macizo rocoso que no presenta discontinuidades visibles, es decir, la roca intacta o los bloques de roca ubicados entre planos de debilidad. A nivel general, se considera un medio continuo; sin embargo, su comportamiento real no es completamente uniforme, ya que mantiene condiciones de heterogeneidad y anisotropía.

Estas propiedades deben entenderse principalmente a escala macroscópica, debido a que, al analizarla a nivel microscópico, se evidencian microfisuras y discontinuidades internas que interrumpen su continuidad idealizada.

Desde el punto de vista geomecánico, la matriz rocosa se describe a partir de parámetros fundamentales como el peso específico, la resistencia mecánica y la deformabilidad, los cuales permiten caracterizar su respuesta frente a esfuerzos externos. **(Ramirez Oyanguren & Alejano Monge, 2004)**

2.2.4. Discontinuidades.

Las discontinuidades corresponden a los espacios o superficies que separan los bloques de roca dentro del macizo rocoso, manteniendo interacción directa con la matriz rocosa y configurando, en conjunto, la estructura global del macizo. Desde el punto de vista geomecánico, estas discontinuidades actúan como planos de debilidad que influyen de manera determinante en el comportamiento del macizo rocoso, ya que condicionan su deformación y los mecanismos de rotura frente a esfuerzos externos. **(Gonzáles de Vallejo, 2002)**

Generalmente tienen origen geológico, tectónico, estructural o de formación (estratificación o esquistosidad).

Tipos de discontinuidades.

Diaclasas o juntas:

Diaclasas de origen tectónico: Estas fracturas suelen generarse como resultado de procesos de deformación de las rocas, especialmente durante el plegamiento de unidades sedimentarias.

Diaclasas de enfriamiento: Se originan en rocas ígneas como consecuencia de su enfriamiento y consolidación.

Diaclasas por reducción de carga litostática: Se desarrollan cuando la presión ejercida por las capas de roca suprayacentes disminuye, lo que genera tensiones internas en el macizo rocoso y provoca la aparición de planos de fractura.

Planos de Estratificación: son planos de debilidad que se da por la depositación de sedimentos en el caso de las rocas sedimentarias o por diferentes episodios de pulsos magmáticos en rocas volcánicas, flujos de lava y depósitos volcánicos. Los planos de estratificación varían en dimensiones y forma.

Fallas Geológicas: son planos de debilidad (Fractura o conjunto de fracturas) de origen tectónico, pueden o no producir desplazamiento entre bloques.

Esquistosidad o exfoliación: son discontinuidad que se forman por actividad tectónica intensa, se da principalmente en rocas metamórficas foliadas. La esquistosidad es una propiedad estructural de ciertas rocas metamórficas que se caracteriza por la disposición paralela de minerales en micas o laminares, como la moscovita o la clorita. Esta alineación es el resultado de la presión y el calor durante el proceso de metamorfismo, que causa que los minerales se reorganicen en planos paralelos, dando a la roca una apariencia de capas o foliación.

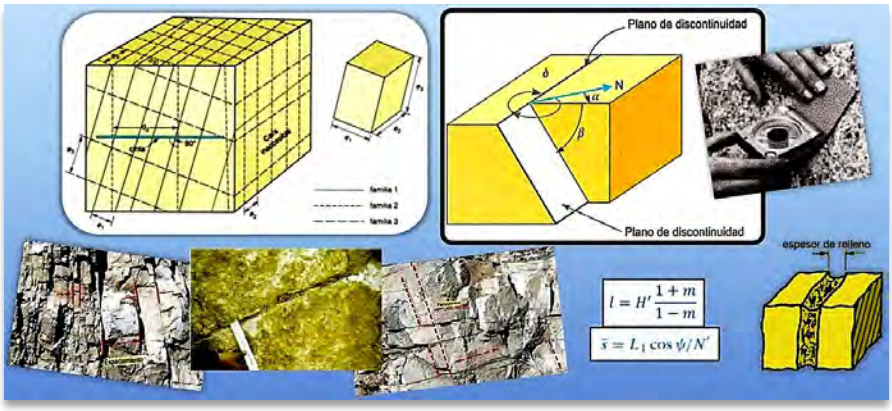
Contactos litológicos: Un contacto litológico es la superficie o zona de transición entre dos unidades de roca con diferentes características litológicas (es decir, con diferentes composiciones, texturas, o estructuras). Estos contactos pueden ser observados en afloramientos de rocas, cortes geológicos y perfiles de pozos, y son de gran importancia en la geología para entender la historia geológica y los procesos que han afectado a una región.

Venillas: Se forman por la precipitación de minerales a partir de soluciones hidrotermales en las grietas, fisuras, fracturas, zonas de debilidad en rocas preexistentes. Estas dispuestos horizontal o

verticalmente, varia desde centímetros hasta metros de espesor. Su importancia radica tanto para la geología económica como para el entendimiento de procesos geológicos.

Diques: son intrusiones de roca ígnea de forma tabular, que se presentan generalmente empinadas o verticales. Se forman cuando el magma ingresa en las rocas preexistentes por medios de grietas, fisuras, fractura o zonas de debilidad.

Figura 2: *Descripción de discontinuidades*



Nota: *Descripción de discontinuidades Adaptada del Manual de Geomecánica y Geotecnia de Oyarzun*

Anisotropía: El comportamiento del macizo rocoso está fuertemente influenciado por la presencia de discontinuidades, las cuales generan respuestas geomecánicas específicas en el material. En este contexto, la anisotropía de la roca se entiende como la variación de sus propiedades físicas y mecánicas según la dirección de medición.

Esto implica que parámetros como la resistencia, la elasticidad, la conductividad térmica y la permeabilidad no permanecen constantes, sino que dependen de la orientación en la que se evalúan. Por ello, la anisotropía constituye una propiedad fundamental en geomecánica, ya que condiciona de manera directa el comportamiento de las rocas tanto en su estado natural como en aplicaciones de ingeniería geológica.

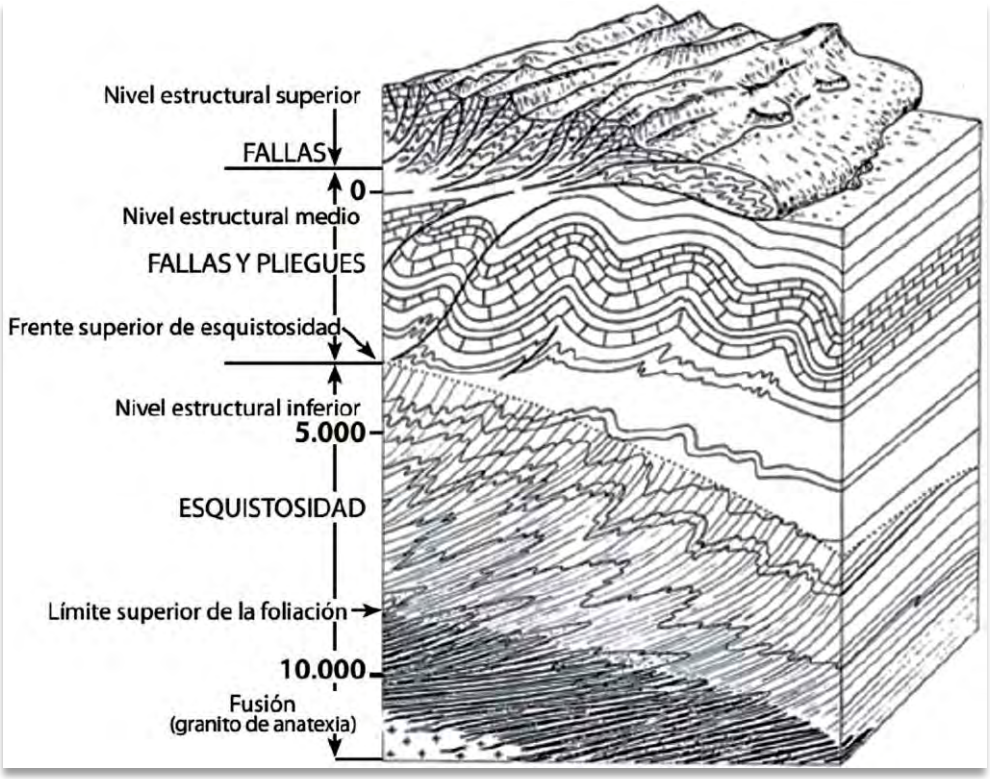
Heterogeneidad: Se refiere a la variación de las propiedades físicas y mecánicas dentro del macizo rocoso, la cual depende tanto de las características propias de los bloques de matriz rocosa como de su interacción con las discontinuidades.

2.2.5. Geología estructural.

La geología estructural es la rama de la geología dedicada a analizar la forma, disposición y organización interna de las estructuras que conforman las rocas. Su origen se remonta al siglo XIX, vinculándose estrechamente con los estudios de Geodinámica. A diferencia de la tectónica, esta disciplina se basa principalmente en la observación directa de los macizos rocosos, prestando especial atención a la distribución de las rocas y a los efectos de los procesos que las han transformado o deformado. Estos cambios son el resultado de diversas tensiones generadas tanto por procesos internos como externos del planeta, y pueden afectar a rocas sedimentarias, ígneas o metamórficas.

Dentro de este campo de estudio, la deformación de las rocas constituye un aspecto fundamental, ya que puede producirse en una amplia variedad de ambientes geológicos. Estas deformaciones están estrechamente relacionadas con las condiciones de presión y temperatura presentes en el interior de la Tierra. **Según García (2012),** los procesos de deformación pueden desarrollarse bajo condiciones que superan aproximadamente 10 Kb de presión y temperaturas mayores a 1000º C. Por esta razón, para comprender adecuadamente el origen y desarrollo de cada estructura geológica, es necesario vincularla con el nivel estructural en el que se formó y analizar como estas condiciones cambian con la profundidad.

Figura 3: *Grado de deformación en rocas, en función de la presión, profundidad y temperatura*



Fuente: *(catalán, 2003)*

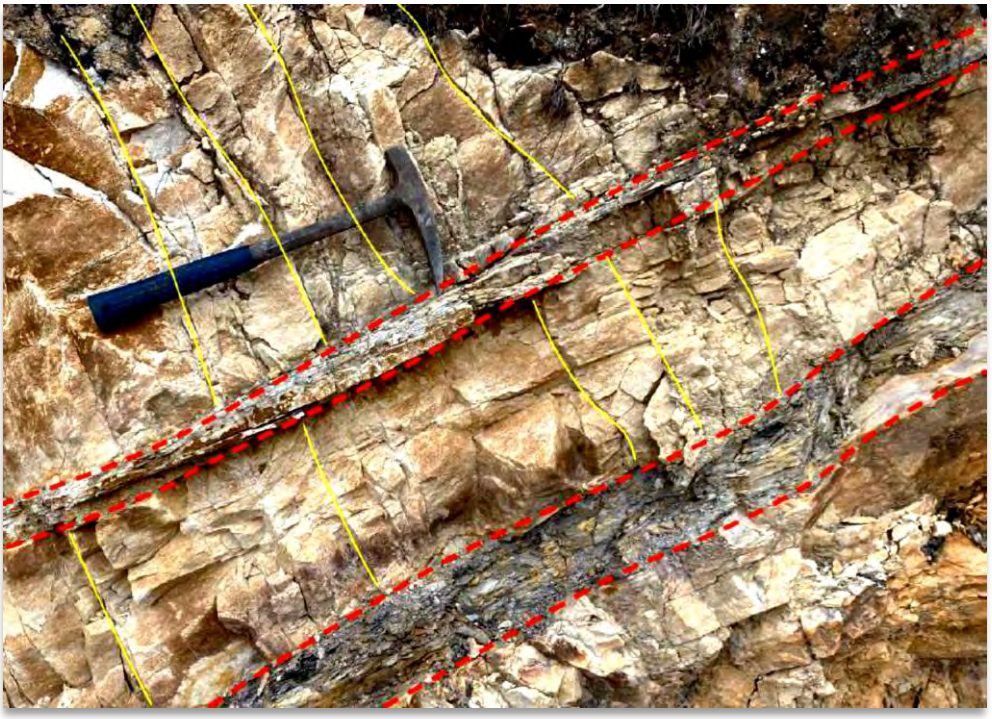
2.2.5.1. Formas estructurales primarias y secundarias.

Al estudiar la cinemática de las rocas, es posible identificar sus formas estructurales y determinar si estas se originaron durante la propia formación del material o si son producto de alteraciones posteriores. En otras palabras, podemos distinguir entre rasgos que surgieron de manera simultánea a la deposición de los sedimentos y aquellos generados por deformaciones posteriores. Un ejemplo básico de forma estructural primaria es la horizontalidad de un estrato, que refleja la disposición inicial de los sedimentos y su posición al momento de la litificación. Otras características primarias incluyen el tamaño y la orientación de los granos, la porosidad, la posición de los fósiles,

evidencias de movimientos oscilatorios de los sedimentos, así como el contenido de materiales o clastos, entre otros factores que se generan exclusivamente durante el momento de formación.

.

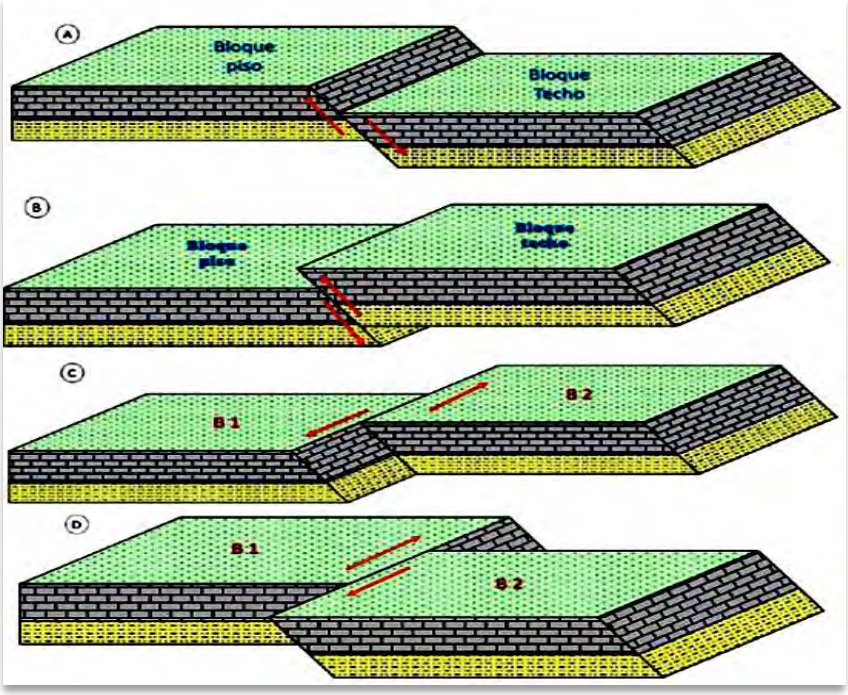
Figura 4:*Comportamiento estructural de la una Formación litológica*.



En contraste, las estructuras secundarias se forman como consecuencia de procesos de deformación que afectan a las rocas después de su consolidación. Un ejemplo claro es el plegamiento de los estratos, que refleja la acción de fuerzas capaces de curvar las capas rocosas. Sin embargo, no siempre las rocas responden únicamente mediante deformación; en ocasiones, cuando la resistencia del material es superada, se producen rupturas que dan lugar a discontinuidades conocidas como fallas, un término ampliamente utilizado en geología estructural. La deformación de las rocas suele estar asociada principalmente a fuerzas externas, que generan los cambios más notorios en la estructura del macizo, incluyendo fracturas y discontinuidades. No obstante, también existen procesos internos que pueden modificar la roca. Por ejemplo, los

materiales con alta porosidad pueden absorber agua, aumentando su volumen, mientras que fenómenos como la desecación o la evapotranspiración inducen variaciones en su estructura. A esto se suman procesos químicos, como la alteración de minerales, el metasomatismo y la recristalización, que contribuyen a transformar las propiedades y la organización interna de las rocas.

Figura 5: *Geometría de las fallas*.



Nota: *A pesar de que esta clasificación es ampliamente utilizada, presenta cierto grado de subjetividad**,** debido a que las fallas geológicas suelen evidenciar más de un tipo de movimiento cinemático**.***

Por esta razón, en muchos casos resulta complejo asignarlas a una única categoría, ya que pueden mostrar combinaciones de desplazamientos producidos durante su evolución tectónica.

Para el caso de las estructuras secundarias, el agente generador predominante es el tectonismo, por los esfuerzos en diferentes direcciones que actúan sobre la estructura primaria y generar una

alteración estructural como las discontinuidades y dislocaciones a las que llamamos fallas geológicas y se clasifican según su desplazamiento, es decir, el movimiento de los bloques de cada lado de la discontinuidad, por ejemplo, llamamos falla normal a aquella discontinuidad que ha generado el movimiento o desplazamiento vertical en el que el bloque de techo ha bajado y el bloque de base ha subido, entendiendo que el término bajado y subido es relativo a la posición del observador, no descartando que ambos bloques hayan subido o bajado por esfuerzos mayores, sin embargo, los bloques poseen esa relación de desplazamiento uno respecto del otro.

En el caso de las fallas inversas, el desplazamiento vertical de los bloques provoca que el bloque superior (techo) se eleve mientras que el bloque inferior (piso) desciende, lo que refleja un acortamiento de la corteza terrestre debido a esfuerzos compresivos. Por otro lado, cuando el desplazamiento ocurre principalmente en dirección horizontal, hablamos de fallas transformantes o de rumbo. Estas fallas pueden clasificarse como sinestrales o dextrales, según el sentido del movimiento relativo de los bloques, tomando como referencia la dirección de giro observada.

2.2.6. Esfuerzo

El esfuerzo se define como la fuerza que actúa sobre una determinada superficie o área de un cuerpo, siendo el resultado de la relación entre la fuerza aplicada y el área sobre la cual se ejerce. Este esfuerzo puede provocar deformaciones en las rocas, produciendo modificaciones en su forma, volumen o incluso generando fracturas y fallas. Comprender el comportamiento del esfuerzo es fundamental para analizar la forma en que las rocas reaccionan frente a las fuerzas tectónicas y otros procesos geológicos.

Sin embargo, cuando una fuerza actúa sobre un macizo rocoso, el esfuerzo no se distribuye de manera uniforme en toda su superficie. Esto se debe principalmente a las características

heterogéneas y anisotrópicas del macizo rocoso, las cuales influyen en la manera en que las tensiones se transmiten y se concentran en diferentes zonas.

2.2.6.1.Esfuerzo compresivo.

Ocurre cuando las fuerzas actúan en el mismo sentido. Asociado con ambientes tectónicos convergentes, como las zonas de colisión continental y las zonas de subducción. Puede causar el acortamiento y engrosamiento de la corteza terrestre, dando lugar a plegamientos y fallas inversas.

2.2.6.2.Esfuerzo tensional.

Ocurre cuando las fuerzas en sentido contrario. Común en ambientes tectónicos divergentes, como las dorsales oceánicas y los rifts continentales. Puede provocar el adelgazamiento de la corteza terrestre y la formación de fallas normales.

2.2.6.3.Esfuerzo cortante.

Ocurre cuando las fuerzas actúan paralelas a la superficie de la roca y en direcciones opuestas. Asociado con fallas de desgarre o transcurrentes, donde las rocas se deslizan lateralmente unas sobre otras. Ejemplos incluyen la Falla de San Andrés en California y otras fallas transformantes.

2.2.7. Deformación.

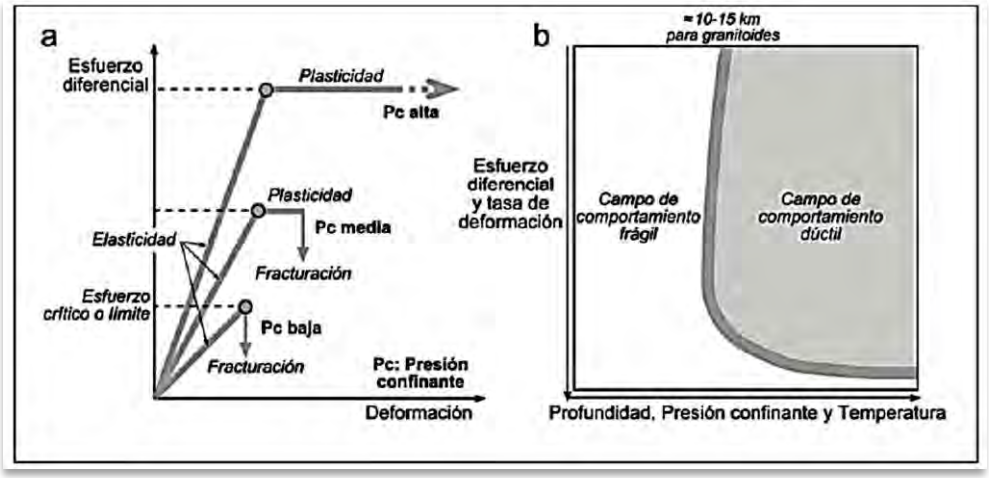
La deformación se refiere a los cambios en la forma o el volumen de una roca como resultado de la acción de esfuerzos. Este proceso depende principalmente de la magnitud de las tensiones aplicadas, de la respuesta mecánica del macizo rocoso y de las propiedades propias del material. Las rocas pueden experimentar diferentes tipos de cambios, que se manifiestan como deformaciones elásticas, plásticas o frágiles, según las condiciones a las que estén sometidas. Factores como el ambiente geológico, la composición mineralógica y la intensidad de los esfuerzos influyen directamente en la forma en que la roca se deforma.

Cuando una roca se deforma sin llegar a romperse y desarrolla estructuras como pliegues, se habla de deformación dúctil. Por el contrario, si los esfuerzos provocan la ruptura del material, se trata de deformación frágil. Además, según el comportamiento mecánico, se distingue entre deformación elástica y plástica. La deformación elástica ocurre cuando la roca es capaz de recuperar su forma original una vez que cesan los esfuerzos, un comportamiento frecuente en rocas situadas a grandes profundidades bajo alta presión litostática. La deformación plástica, en cambio, aparece cuando la roca supera su límite elástico y sufre cambios permanentes en su forma. Si las tensiones continúan aumentando más allá del límite plástico, la roca finalmente se fractura, adoptando un comportamiento frágil.

La deformación también puede clasificarse de acuerdo con la manera en que se manifiesta en el macizo rocoso:

- Continua: ocurre cuando la roca se deforma sin que exista separación entre los granos o los materiales que la constituyen.
- Discontinua: se presenta cuando la deformación genera rupturas o separaciones entre los componentes del sólido.
- Homogénea: se da cuando todas las partes del material se deforman de manera similar, manteniendo una distribución uniforme de la deformación.
- Heterogénea: ocurre cuando la deformación varía entre distintos puntos del mismo bloque rocoso, generando cambios desiguales dentro del material **(García, 2012)**

Figura 6: *Comportamiento de elasticidad y plasticidad de una roca*

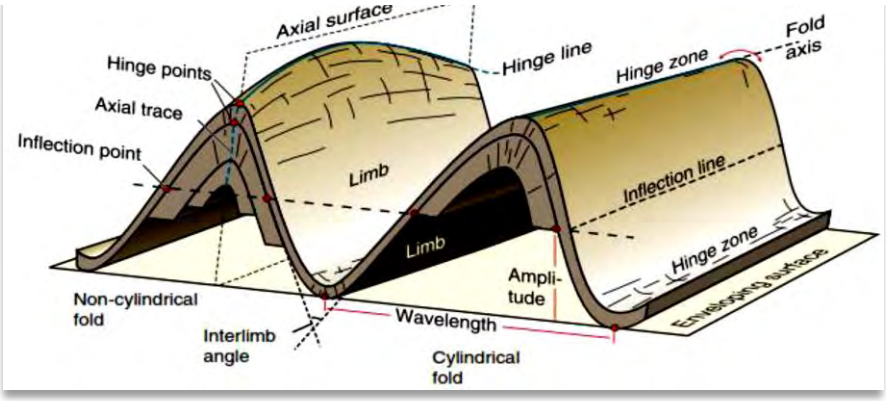


Fuente: *(Paterson & Wong, 2005)*

2.2.7.1.Geometría De Los Pliegues.

Los pliegues geológicos se originan como consecuencia de los esfuerzos tectónicos que actúan sobre las rocas, generalmente relacionados con el movimiento de las placas tectónicas y los procesos de formación de cadenas montañosas. La forma que adquieren estos pliegues puede variar considerablemente, ya que depende de factores como el comportamiento mecánico de la roca, las condiciones bajo las cuales ocurre la deformación y la intensidad de los esfuerzos aplicados.

Figura 7: *Elementos de un pliegue*

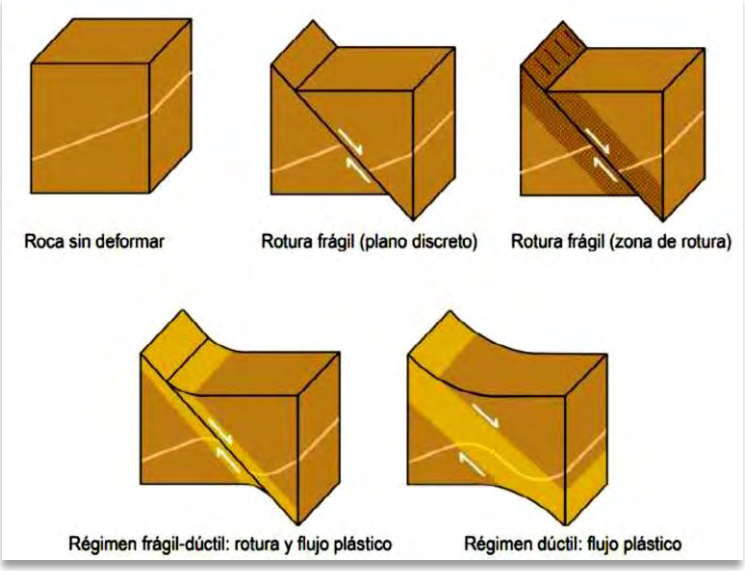


Fuente*: (Fossen, 2010).*

2.2.8. Fallas y discontinuidades.

Cuando las rocas son sometidas a esfuerzos que sobrepasan su límite de plasticidad, se produce la ruptura del material, originándose discontinuidades en el macizo rocoso. En ciertos casos, estas rupturas implican desplazamientos de los bloques en distintas direcciones; mientras que en otros únicamente se manifiestan como fracturas simples o separaciones sin movimiento significativo. Las fallas se reconocen generalmente como planos o superficies que separan una masa rocosa en dos bloques distintos.

Figura 8: *Comportamiento de fallas y fracturas.*



Fuente: *(Oyarzun,2013)*

2.2.9. Criterios de rotura.

2.2.9.1.El Criterio de Rotura de Mohr – Coulomb.

El modelo matemático inicial describe la resistencia al corte en un plano sometido a un estado triaxial de esfuerzos, estableciendo la relación entre los esfuerzos normal y tangencial en el instante de falla mediante una expresión matemática. **(Gonzáles de Vallejo, 2004):**

$$\boldsymbol{\tau = c + \sigma_n \tan \emptyset} \qquad (1)$$

Donde:

- τ y σ: Representan los esfuerzos cortante y normal que actúan sobre el plano de falla.
- c y ϕ: Corresponden a la cohesión del material y al ángulo de fricción interna de la matriz rocosa, parámetros fundamentales en la caracterización de su resistencia al corte.

El mismo criterio también puede formularse a partir de los esfuerzos principales mayor y menor, representados por σ_1 y σ_3, lo que permite describir el comportamiento de falla del material desde un enfoque de esfuerzos principales.

$$\boldsymbol{\sigma_1 = \frac{2c+\sigma_3[2\theta+\tan\emptyset\cos(1-\cos 2\theta)]}{2\theta-\tan\emptyset\cos(1+\cos 2\theta)}} \qquad (2)$$

Permite obtener la resistencia en un plano definido por θ. Para el plano crítico de falla, $\theta = 45° + \phi/2$, la expresión anterior se vera de la forma:

$$\boldsymbol{\sigma_1 = \frac{2c+\cos\theta+\sigma_3(1+\sin\emptyset)}{(1-\sin\emptyset)}} \qquad (3)$$

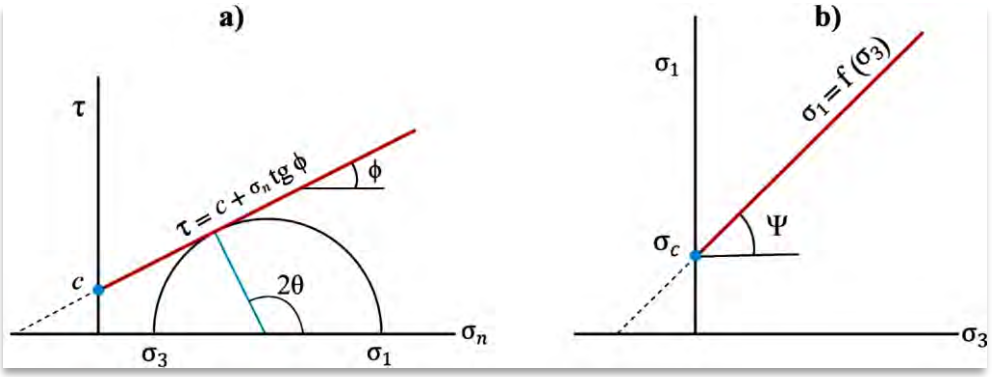
Si se tiene la condición $\sigma 3 = 0$, $\sigma 1$ será la resistencia a la compresión uniaxial de la roca:

$$\boldsymbol{\sigma_1 = \sigma_c = \frac{2c\cos\emptyset}{1-\sin\emptyset}} \qquad (4)$$

El criterio también brinda el valor de la resistencia a la tracción:

$$\boldsymbol{\sigma_1 = \frac{2c\cos\emptyset}{1+\sin\emptyset}} \qquad (5)$$

Figura 9: *Envolventes de Mohr – Coulomb.*



Nota**. En términos de esfuerzos tangenciales y normales (a) y esfuerzos principales (b) Para un estado tensional situado por debajo de las rectas o envolventes no se producirá la rotura.*/(Gonzáles de Vallejo, 2002)***

2.2.9.2.Criterio de Hoek y Brown.

Para la evaluación de la resistencia de la matriz rocosa se emplea un enfoque no lineal, en el cual la condición de falla se representa mediante una envolvente curva de tipo cóncavo, que describe con mayor fidelidad la respuesta del material frente a distintos niveles de esfuerzo.

En este contexto, el criterio propuesto por Hoek y Brown (1980) constituye un modelo empírico de rotura no lineal, ampliamente utilizado para estimar la resistencia de la matriz rocosa isótropa bajo condiciones de carga triaxial. **(Gonzáles de Vallejo, 2002):**

$$\boldsymbol{\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m_i \sigma_{ci} \sigma_3 + \sigma_{ci}^2}} \qquad (6)$$

En la expresión, σ_1 y σ_3 representan los esfuerzos principales mayor y menor en condición de falla, mientras que σci corresponde a la resistencia a compresión simple de la matriz rocosa. Por su parte, mi es una constante que refleja las propiedades propias del material rocoso. El parámetro σci se determina a partir de ensayos de laboratorio especializados.

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{ci}} = \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + \sqrt{m_i \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + 1} \qquad (7)$$

La resistencia a compresión simple de la roca se obtiene a partir de la ecuación previa considerando $\sigma_3 = 0$. De manera similar, la resistencia a tracción se determina al resolver la expresión para condiciones en las que $\sigma_1 = 0$ y $\sigma_1 = \sigma t$.

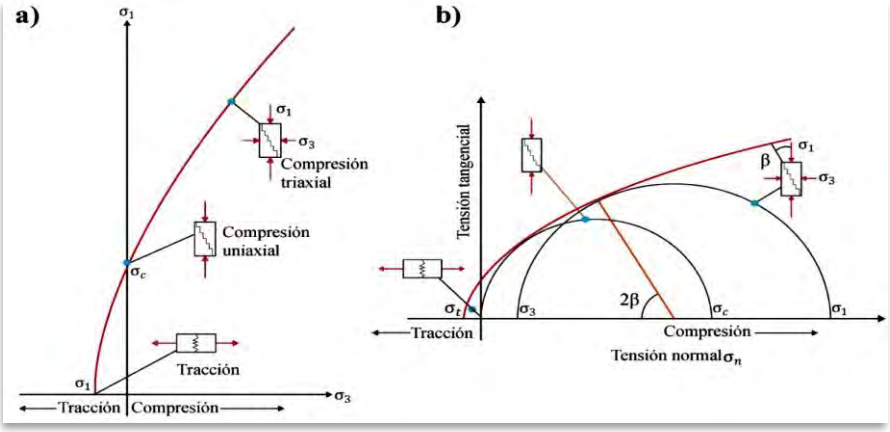
$$\sigma_t = \frac{1}{2}\sigma_{ci}(m_i - \sqrt{m_i^2 + 4} \qquad (8)$$

La expresión del criterio de falla en función de los esfuerzos tangenciales y normales es definida por:

$$\tau = A\sigma_{ci}\left(\frac{\sigma_n - \sigma_\tau}{\sigma_{ci}}\right)^B \qquad (9)$$

Donde σt es la resistencia a tracción y A, B son constantes dependientes del valor de mi.

Figura 10: *Envolventes de rotura del criterio de Hoek y Brown.*



Nota: *En función de los esfuerzos principales (a) y de los esfuerzos normal y tangencial (b), representación de las diferentes condiciones de esfuerzo para rotura de la matriz rocosa. Tomado de* ***(Gonzáles de Vallejo, 2002)***

Para extender el campo de aplicación del criterio generalizado de Hoek y Brown, los parámetros del macizo rocoso se determinan a partir de las siguientes expresiones:

$$\boldsymbol{\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci}(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s)^a} \qquad (10)$$

- El parámetro mb corresponde a una versión ajustada de la constante del material mi, la cual se calcula mediante una expresión específica:

$$\boldsymbol{m_b = m_i exp\ (\frac{GSI-100}{28-14D})} \qquad (11)$$

- s y a representan constantes propias del macizo rocoso, definidas a partir de relaciones establecidas para su evaluación en el modelo:

$$\boldsymbol{s = exp\ (\frac{GSI-100}{9-3D})} \qquad (12)$$

$$\boldsymbol{a = \left|\frac{1}{2} + \frac{1}{6}(e^{-\frac{GSI}{15}} - e^{-\frac{20}{3}})\right|} \qquad (13)$$

El factor D representa el parámetro que está principalmente relacionado con el grado de alteración o perturbación del macizo rocoso, el cual puede generarse por efectos de voladura o por la relajación de esfuerzos en la masa rocosa. Este factor adopta valores que van desde 0, cuando el macizo rocoso se encuentra intacto y sin perturbaciones en condiciones in situ, hasta 1, cuando presenta un alto nivel de alteración o disturbio debido a dichas acciones.

Tabla 2: *Estimación de texturas según el tipo de roca.*

Tipo roca	Clase	Grupo	TEXTURA			
			Gruesa	Media	Fina	Muy fina
Sedimentaria	Clásticas		Conglomerados (21±3) Brechas (19±5)	Arenisca (17±4)	Limonita (7±2) Grauvacas (18±3)	Lutita (4±2) Pizarra (6±2) Marga (7±2)
Sedimentaria	No Clásticas	Carbonatadas	Caliza cristalina (12±3)	Caliza esparitica (10±2)	Caliza micritica (9±2)	Dolomita (9±3)
Sedimentaria		Evaporitas		Yeso (8±2)	Anhidrita (12±2)	
Sedimentaria		Orgánicas				Creta (7±2)
Metamórfica	No foliadas		Mármol (9±3)	Hornfels (19±4) Meta-arenisca (19±3)	Cuarcitas (20±3)	
Metamórfica	Débilmente foliadas		Migmatita (29±3)	Anfibolita (26±6)		
Metamórfica	Foliadas		Gneis (28±5)	Esquisto (12±3)	Filita (7±3)	Pizarra (7±4)
Ígnea	Plutónicas	félsicas	Granito (32±3)	Diorita (25±5) Granodiorita (29±3)		
Ígnea		máficas	Gabro (27±3) Norita (20±5)	Dolerita (16±5)		
Ígnea	Hipabisales		Porfiriticas (20±5)		Diabasa (15±5)	Peridotita (25±5)
Ígnea	Volcánicas	lávicas		Riolita (25±5)	Andesita (25±5)	Basalto (25±5) Obsidiana (19±3)
Ígnea		Piroclásticas	Aglomerado (19±3)	Brecha (19±5)	Toba (13±5)	

Nota: *Los conglomerados y las brechas pueden presentar un variado rango de valores "mi" dependiendo de la naturaleza del material cementante y el grado de cementación, así que pueden variar de rangos de arenisca a valores usados para sedimentos finos. Hoek et al., 2002 Tomado de* ***Alcántara Quispe, E. et. al. (2014)***

Tabla 3: *Guías para estimar el factor de alteración D, del criterio de rotura de Hoek & Brown, D.*

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. 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.	$D = 0$ $D = 0.5$ No invert
	Voladura de muy mala calidad en un túnel en roca competente con daños locales severos, extendiéndose 2 o 3 m en el macizo rocoso circundante.	$D = 0.8$
	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.	$D = 0.7$ Good blasting $D = 1.0$ Poor blasting
	Los taludes en las grandes minas a cielo abierto sufren alteraciones significativas debido a las grandes voladuras de producción y también debido a la relajación de tensiónes al retirar el estéril de recubrimiento. En algunas rocas blandas la excavación puede llevarse a cabo mediante el ripado y empuje con tractores de orugas y el grado de afección a los taludes será menor.	$D = 1.0$ Production blasting $D = 0.7$ Mechanical excavation

Fuente: *(Hoek et al., 2002)*

2.2.10. Mecanismos de rotura

Rotura por esfuerzo cortante

Este mecanismo de falla se presenta cuando una superficie dentro de la roca es sometida a esfuerzos de corte suficientemente elevados, provocando el deslizamiento entre sus caras. Es un fenómeno frecuente en los macizos rocosos, especialmente en discontinuidades dentro de taludes o en techos de galerías con hastiales rígidos. Se trata de la modalidad de rotura más habitual y con mayor relevancia en estudios geotécnicos **(Gonzáles de Vallejo, 2004).**

Rotura por compresión

La rotura por compresión ocurre cuando la roca experimenta esfuerzos compresivos, lo que conduce a la generación de grietas de tracción y planos de corte que avanzan dentro de la matriz del material. Aunque la compresión pura es rara en la naturaleza y en obras de ingeniería, se pueden observar casos cercanos en los pilares de soporte de excavaciones mineras y en estructuras que sostienen desmontes en voladizo (Gonzáles de Vallejo, 2004).

Rotura por flexión

Este tipo de rotura se desarrolla cuando una sección de la roca es sometida a momentos flectores, lo que genera tensiones normales variables a lo largo de la sección. La fractura se produce en las zonas donde las tensiones de tracción se acumulan (Gonzáles de Vallejo, 2004).

Rotura por tracción

La rotura por tracción se produce cuando la configuración y la estructura del macizo rocoso generan un estado de tracción, ya sea completo o casi total, en una determinada sección de la roca. En estas condiciones, las fuerzas actúan separando el material, lo que puede llevar a la fractura si se supera la resistencia del macizo. Dado que en condiciones naturales este fenómeno es difícil de

manifestarse, se observa principalmente en ciertos segmentos de la superficie de rotura de taludes, donde predominan tensiones traccionales (Gonzáles de Vallejo, 2004).

Rotura por colapso

El colapso mecánico ocurre cuando la roca se encuentra bajo un régimen de compresión isotrópica, es decir, cuando los esfuerzos actúan de manera uniforme en todas las direcciones. Bajo estas condiciones, la estructura de la roca se rompe y se fragmenta, transformándose en un material con menor cohesión, que se comporta de manera similar a un suelo. Este comportamiento se encuentra principalmente en rocas de alta porosidad, como algunas variedades de rocas volcánicas de baja densidad o areniscas cementadas tipo creta (Gonzáles de Vallejo, 2004).

2.2.11. Caracterización geomecánica

La caracterización geomecánica permite anticipar cómo se comportará un macizo rocoso frente a los esfuerzos provocados tanto por fenómenos geológicos como por actividades humanas, como la construcción de presas, excavaciones superficiales o subterráneas y edificaciones, entre otras. Su propósito es garantizar la seguridad antes, durante y después de cualquier intervención sobre o dentro del macizo rocoso.

Para realizar esta caracterización, se consideran varias propiedades fundamentales del macizo:

Litología: corresponde a la identificación del tipo de roca a partir de su composición mineralógica, textura, estructura y origen geológico.

Grado de meteorización: indica el nivel de alteración que presenta el macizo rocoso como resultado de procesos físicos, químicos o biológicos, los cuales modifican progresivamente sus propiedades originales.

Resistencia del macizo rocoso: indica el esfuerzo máximo que la roca puede soportar, determinado mediante ensayos de laboratorio o pruebas in situ.

Características geomecánicas de las discontinuidades:

La caracterización geomecánica de un macizo rocoso implica el estudio sistemático de las discontinuidades, debido a que estas controlan en gran medida su comportamiento mecánico y su estabilidad. Dentro de los parámetros más relevantes se consideran la orientación, el espaciamiento, la continuidad o persistencia, la rugosidad de las superficies, la resistencia de las paredes de las discontinuidades, la apertura, el material de relleno, la presencia de agua, el número de familias estructurales y el tamaño de los bloques formados.

- **Orientación:** Corresponde a la posición que adopta una discontinuidad dentro del espacio respecto a la horizontal. Esta característica se determina mediante el rumbo y el buzamiento del plano de discontinuidad, parámetros que generalmente se obtienen utilizando una brújula geológica durante el trabajo de campo.
- **Espaciamiento:** Se refiere a la distancia existente entre dos discontinuidades pertenecientes a una misma familia. Este parámetro permite evaluar el grado de fracturamiento del macizo rocoso y suele medirse directamente con una cinta métrica.
- **Persistencia:** Representa la extensión o longitud que alcanza una discontinuidad dentro del macizo. Su importancia radica en que las discontinuidades más persistentes tienen mayores probabilidades de interactuar con otras fracturas, lo que puede favorecer la generación de procesos de inestabilidad y desprendimiento de bloques.
- **Rugosidad:** Está relacionada con el nivel de irregularidad que presenta la superficie de una discontinuidad. Las asperezas y ondulaciones influyen directamente en la resistencia al desplazamiento de los bloques rocosos, de modo que superficies más rugosas tienden a ofrecer una mayor oposición al movimiento, mientras que superficies más lisas pueden favorecer el deslizamiento.

Tabla 4: *Terminología de espaciados recomendada por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (SIMR)*

Espaciado de las discontinuidades	
Descripción	Espaciado
Extremadamente junto	<2 cm
Muy junto	2-6 cm
Junto	6-20 cm
Moderadamente junto	20-60 cm
Separado	60-200 cm
Muy separado	2-6 m

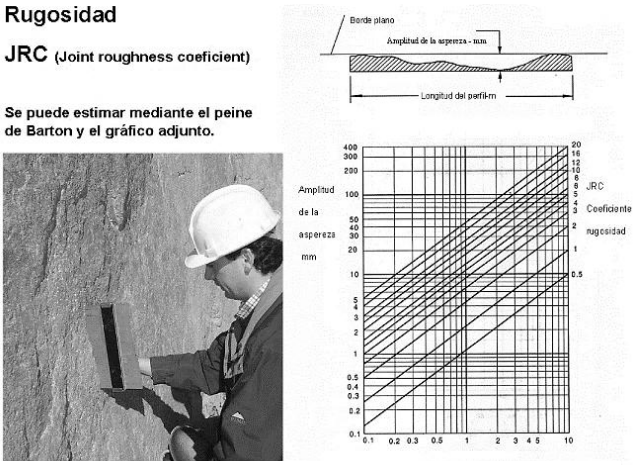
Fuente: *(Ramirez Oyanguren & Alejano Monge, 2004)*

Tabla 5: *Clasificación de la persistencia.*

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

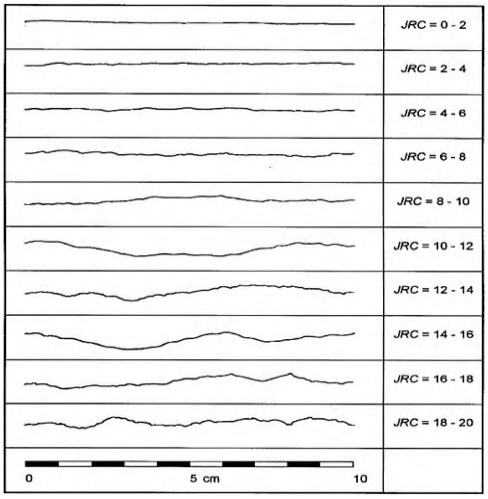
Fuente: *(Ramirez Oyanguren & Alejano Monge, 2004)*

Figura 11: *Estimación de la rugosidad mediante el peine de Barton.*



Fuente: *(Ramirez Oyanguren & Alejano Monge, 2004)*

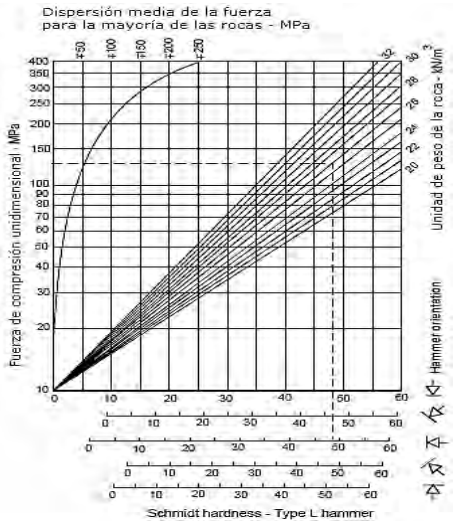
Figura 12: *Escala de rugosidad definida por perfiles de 10 cm de longitud.*



Fuente: *(Ramirez Oyanguren & Alejano Monge, 2004)*

- **Resistencia de las paredes de la discontinuidad:** Corresponde, por lo general, a la resistencia a la compresión simple, la cual se emplea como un indicador del nivel de alteración o intemperismo en las superficies de las discontinuidades.

Figura 13: *Abaco de resistencia a la compresión simple*



Fuente: *(Ramirez Oyanguren & Alejano Monge, 2004)*

- **Abertura:** Corresponde a la separación existente entre las superficies de dos bloques dentro del macizo rocoso cuando la discontinuidad no presenta material de relleno, encontrándose únicamente ocupada por aire o agua.

Terminología de apertura recomendada por la SIMR. (Ramirez Oyanguren & Alejano Monge, 2004).

Tabla 6: *Terminología de apertura recomendada por la SIMR*

Abertura de las discontinuidades	Descripción
<0,1 mm	Muy cerrada
0,1-0,25 mm	Cerrada
0,25-0,5 mm	Parcialmente abierta
0,5-2,5 mm	Abierta
2,5-10 mm	Moderadamente ancha
> 10mm	Ancha
1-10 cm	Muy ancha
10-100 cm	Extremadamente ancha
> 1m	Cavernosa

Fuente: *(Ramirez Oyanguren & Alejano Monge, 2004)*

- **Relleno:** Corresponde al material ubicado entre las superficies de contacto de dos bloques dentro del macizo rocoso, el cual influye directamente en su comportamiento mecánico. Por lo general, este material es más blando que la roca que lo rodea y puede influir en la estabilidad del bloque y en la forma en que interactúan las discontinuidades.
- **Flujo de agua:** Este parámetro evalúa la presencia y el movimiento de agua entre los bloques del macizo. La cantidad de humedad o el grado de flujo de agua puede afectar la resistencia del macizo y su comportamiento frente a procesos de erosión o deslizamiento.
- **Número de familias de discontinuidades:** Una familia se forma por un conjunto de discontinuidades que comparten un origen y una orientación similar. Cuantas más familias existan en un macizo, mayor será su grado de fracturamiento. Por lo general, un macizo

tiene al menos tres familias. Cada familia no solo se distingue por su dirección y espaciamiento, sino también por el tipo de relleno, la presencia de agua, su edad y los esfuerzos que las generaron.

- **Tamaño de los bloques:** Este aspecto mide las dimensiones de cada bloque dentro del macizo rocoso. Bloques más grandes suelen indicar un macizo más competente y estable, mientras que bloques más pequeños pueden señalar una mayor fragmentación y menor calidad del macizo.

2.2.12. Clasificaciones geomecánicas

2.2.12.1. RQD, Clasificación de Deere (1967).

Las clasificaciones geomecánicas son métodos que permiten describir y evaluar las características de los macizos rocosos utilizando información obtenida de afloramientos y perforaciones. Su aplicación es especialmente frecuente en obras subterráneas, como túneles, debido a las limitaciones que existen para analizar directamente el comportamiento del macizo en profundidad. **(González et al, 2004).**

La fracturación del macizo rocoso se determina a partir de la cantidad, distribución y estado de las discontinuidades presentes, independientemente de su origen o tipo. Este nivel de fracturamiento suele cuantificarse mediante el índice RQD (Rock Quality Designation), el cual permite estimar la calidad del macizo rocoso. **(Deere, 1967)**

El RQD, se calcula con la siguiente expresión matemática:

$$RQD = 100 * e^{-0.1\lambda} * (0.1^{\lambda} + 1) \qquad (14)$$

Dónde:

$\lambda = 1 / frecuencia\ de\ discontinuidad$es

Tabla 7: *Interpretación del RQD.*

RANGO	CALIDAD
0% - 25%	Muy mala calidad
25% - 50%	Mala calidad
50% - 75%	Calidad regular
75% - 90%	Buena calidad
90% - 100%	Excelente calidad

Fuente: *(Ramirez Oyanguren & Alejano Monge, 2004)*

2.2.12.2. Clasificación Geomecánica de Bieniawski (1989) RMR.

La clasificación geomecánica RMR, propuesta por Bieniawski en 1973 y posteriormente actualizada en 1979 y 1989, constituye un sistema de evaluación que permite caracterizar los macizos rocosos mediante la relación entre índices de calidad y parámetros geotécnicos. Además, integra criterios relacionados con la excavación y el diseño de sostenimiento**(Ramirez Oyanguren & Alejano Monge, 2004)**. Debido a su aplicabilidad práctica, es uno de los métodos más empleados en geomecánica. El valor del RMR se define a partir de la siguiente expresión:

$$RMR = P\ (UCS) + P\ (RQD) + P\ (s) + P\ (JC) + P\ (WC)\ (15)$$

Para la clasificación RMR se considera los parámetros, de geomecánica de rocas, detallados en la tabla 8:

Tabla 8: *Parámetros geomecánicos utilizados en la clasificación RMR.*

UCS	Mide la capacidad de la roca intacta para soportar esfuerzos de compresión. Puntaje: 0 (UCS < 1 MPa) a 15 (UCS > 250 MPa).
RQD	Indica el grado de fracturamiento del macizo rocoso según Deere et al. (1967). Puntaje: 3 (RQD < 25 %) a 20 (RQD 90–100 %).
s	Distancia entre estructuras dentro del macizo. Puntaje: 5 (s < 60 mm) a 20 (s > 2 m).
JC	Evalúa continuidad, rugosidad, apertura, alteración y relleno. Puntaje: 0 (estructuras continuas, abiertas o con rellenos blandos) a 30 (discontinuas, rugosas, cerradas y sin alteración).
WC	Considera flujo y presión de agua dentro del macizo. Puntaje: 0 (flujo > 125 L/min o presión > 50 % del esfuerzo principal) a 15 (estructuras secas).

Fuente: *(Ramirez Oyanguren & Alejano Monge, 2004)*

2.2.13. Parámetros de clasificación

2.2.13.1. Resistencia de la matriz rocosa (UCS).

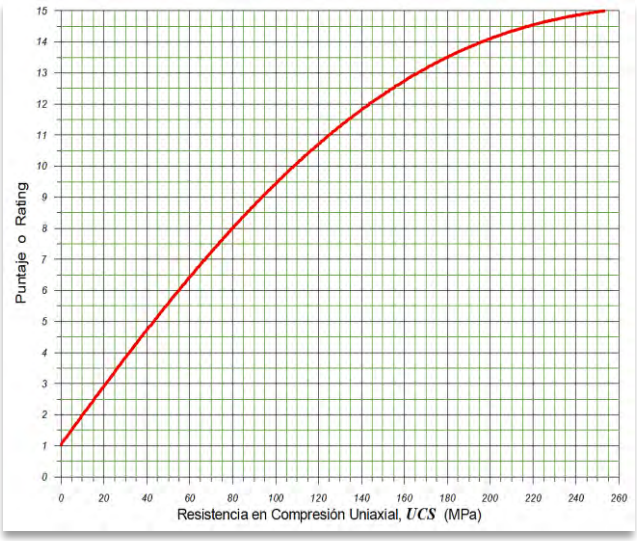
La resistencia a la compresión uniaxial (UCS) es un parámetro que permite determinar la capacidad de una roca para soportar esfuerzos de compresión antes de fracturarse o colapsar. Este ensayo se realiza sobre una muestra de roca sin aplicar presión lateral de confinamiento, por lo que también se conoce como compresión no confinada, ya que la presión de confinamiento es igual a cero. En los sistemas de clasificación geomecánica, la puntuación asignada a este parámetro se establece en función de los valores obtenidos de UCS para la roca intacta, siguiendo los criterios indicados en la Tabla 9 y la Figura 14.

Tabla 9: *Tabla de Puntajes de la resistencia de la "Roca Intacta"*

UCS (MPa)	PLS (MPa)	Golpe con Martillo Geológico	Puntaje	Comentarios
<1	En este rango no es recomendable los ensayos de carga puntual para estimar la resistencia de la roca "intacta".	Deleznable	0	Resistencia Muy Baja
1 a 5			1	
5 a 25		Raya con punta del martillo	2	
25 a 50	1 a 2	1 golpe	4	Resistencia Baja
50 a 100	2 a 4	3 golpes	7	Resistencia Moderada
100 a 250	4 a 10	5 golpes	12	Resistencia Alta
> 250	> 10	No rompe (Solo esquirlas)	15	Resistencia Muy Alta

Nota: *UCS: Resistencia a la compresión Uniaxial / PLS: Resistencia a la Carga Puntual*

Figura 14:*Puntaje o Rating asociado a la resistencia en compresión uniaxial de la "Roca Intacta", UCS*



Fuente: *(Bieniawski, 1989).*

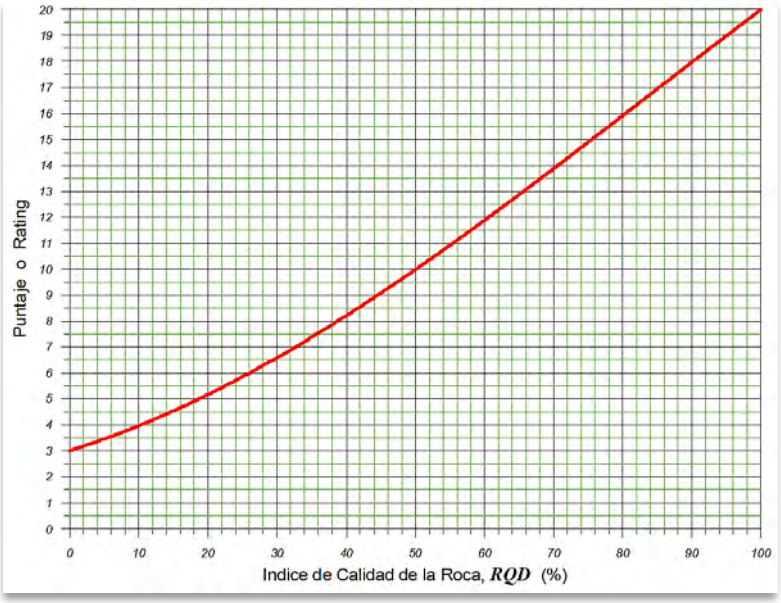
2.2.13.2. Parámetro Rock Quality Designation (RQD).

Corresponde al porcentaje de fragmentos de testigo con longitudes iguales o superiores a 10 cm, delimitados por discontinuidades naturales. Se detalla la presencia de juntas débilmente cementadas o aquellas que hayan sido abiertas durante el proceso de perforación **(OSINERGMIN, 2017)**. El valor del RQD se determina asignando la puntuación correspondiente según los criterios establecidos en la tabla 10 y la figura 15**.**

Tabla 10:*Puntaje asociado al Índice RQD*

Calidad del Macizo	RQD (%)	Puntaje
MUY MALA calidad Geotécnica	< 25	3
MALA calidad Geotécnica	25 a 50	8
REGULAR calidad Geotécnica	50 a 75	13
BUENA calidad Geotécnica	75 a 90	17
EXCELENTE calidad Geotécnica	90 a 100	20

Figura 15: *Puntaje o Rating asociado al Índice de calidad de RQD del Macizo Rocoso*



Fuente: *(Bieniawski, 1989).*

2.2.13.3. Condición de las discontinuidades (JC).

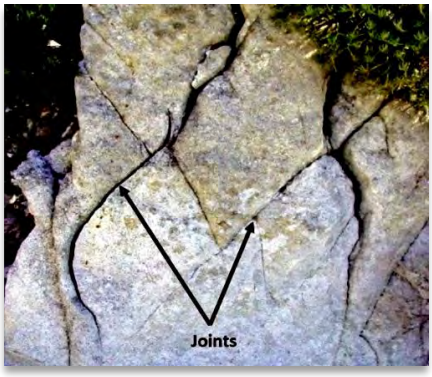
La condición de las estructuras evalúa el estado de las discontinuidades dentro del macizo rocoso. Su puntuación varía entre 0, en casos donde las estructuras son continuas, abiertas y presentan rellenos de arcilla blanda, y 30, cuando las discontinuidades son irregulares, rugosas, cerradas y sin alteración de la roca circundante. El valor o rating correspondiente a esta condición, conocido como JC, se determina siguiendo los criterios establecidos en la Tabla 11 y la Figura 16.

Tabla 11: *Puntajes asociados a la condición de las estructuras, JC.*

Descripción de la Condición de las Estructuras	Puntaje
Estructuras continuas. Estructuras abiertas (apertura > 5 mm) o con rellenos blandos de salbanda arcillosa (espesor > 5mm).	0
Estructuras continuas. Estructuras pulidas, o abiertas (apertura de 1 a 5 mm) o con rellenos blandos de salbanda arcillosa (espesor de 1 a 5 mm).	10
Estructuras algo rugosas. Roca de caja muy intemperizada o alterada. Estructuras abiertas (apertura < 1 mm) o con rellenos (espesor < 1 mm).	20
Estructuras algo rugosas. Roca de caja algo intemperizada o alterada. Estructuras abiertas (apertura < 1 mm) o con rellenos (espesor < 1 mm).	25
Estructuras muy rugosas. Estructuras discontinuas. Roca de caja fresca o sana. Estructuras cerradas o selladas.	30

Fuente: *(Ramirez Oyanguren & Alejano Monge, 2004)*

Figura 16: *Vista de condición de Juntas del macizo rocoso.*



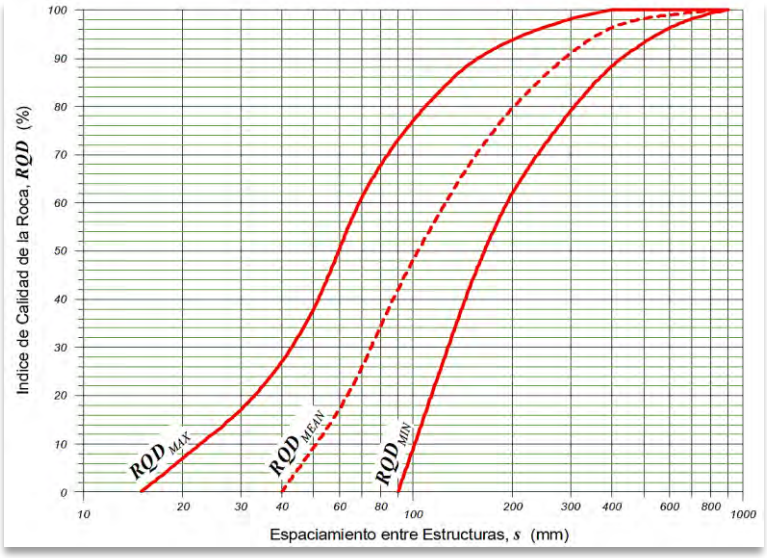
Nota: *Las juntas pueden ser continuas, estar a lo largo del afloramiento o ser intermitentes.*

Tabla 12: *Guías para una Evaluación Detallada del Puntaje Asociado a JC.*

Parámetro de la estructura	**Condición o características & Puntaje o Rating**				
Persistencia o Extensión (m)	< 1 6	1 a 3 4	3 a 10 2	10 a 20 1	> 20 0
Apertura o Espesor (mm)	0 6	< 0.1 5	0.1 a 1 4	1 a 5 1	> 5 0
Rugosidad	Muy Rugosa 6	Rugosa 5	Algo Rugosa 3	Lisa 1	Pulida 0
Material de Relleno	Ninguno 6	Duro < 5 mm 4	Duro ≥ 5 mm 2	Blando < 5 mm 2	Blando ≥ 5 mm 0
Intemperización o Alteración	Fresa 6	Algo Alterada 5	Alteración Moderada 3	Muy Alterada 1	Descompuesta 0

Fuente: *(Ramirez Oyanguren & Alejano Monge, 2004)*

Figura 17: *Correlación entre "s" y RQD.*



Nota: *Este criterio permite estimar un parámetro a partir de otro, según la modificación propuesta por Bieniawski en 1989, facilitando su aplicación en la evaluación geomecánica del macizo rocoso.*

2.2.13.4. Condición del agua.

El puntaje asociado a la condición del agua, WC, se calcula de acuerdo a la Tabla 13**.**

Tabla 13:*Puntajes Asociados a la Condición de Aguas WC.*

Descripción	Q_w (lt/min)	P_w / S_1	Puntaje
Condición completamente seca	0	0	15
Condición húmeda	< 10	< 0.1	10
Condición mojada	10 a 25	0.1 a 0.2	7
Goteos	25 a 125	0.2 a 0.5	4
Infiltraciones de Agua	> 125	> 0.5	0

Nota: *Q_w: Es la cantidad de flujo que se infiltra en un tramo de túnel de 10 m de longitud. / P_w: Es la presión del agua. / S_1: Es el esfuerzo principal mayor.*

A partir de los criterios mencionados, es posible estimar en campo el índice RMR, el cual permite clasificar la calidad geotécnica del macizo rocoso en una escala de 0 a 100, distribuida en cinco categorías principales que reflejan su comportamiento y condición estructural.

Tabla 14: *Puntuaciones de la clasificación RMR*

Clase de Macizo Rocoso	Descripción	RMR
Clase V	Macizo Rocoso de Muy Mala Calidad	$0 \leq RMR \leq 20$
Clase IV	Macizo Rocoso de Mala Calidad	$20 < RMR \leq 40$
Clase III	Macizo Rocoso Regular	$40 < RMR \leq 60$
Clase II	Macizo Rocoso de Buena Calidad	$60 < RMR \leq 80$
Clase I	Macizo Rocoso de Muy Buena Calidad	$80 < RMR \leq 100$

Fuente: *(Bieniawski, 1989)*

Respecto a la precisión de la calificación de la calidad del macizo rocoso mediante el método RMR de Bieniawski, se puede considerar un margen de error de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 15: *Margen de error para cada valor de RMR de Bieniawski*

Descripción	RMR	Δ RMR
Macizo Rocoso de Muy Mala Calidad	$0 \leq RMR \leq 20$	$\Delta RMR \approx \pm 8$
Macizo Rocoso de Mala Calidad	$20 < RMR \leq 40$	$\Delta RMR \approx \pm 6$
Macizo Rocoso de Calidad Regular	$40 < RMR \leq 60$	$\Delta RMR \approx \pm 5$
Macizo Rocoso de Buena Calidad	$60 < RMR \leq 80$	$\Delta RMR \approx \pm 5$
Macizo Rocoso de Muy Buena Calidad	$80 < RMR \leq 100$	$\Delta RMR \approx \pm 5$

Fuente: *(Bieniawski, 1989)*

Una vez obtenidos los valores del índice RMR, se puede ajustar los valores de acuerdo a la orientación de las discontinuidades de las estructuras, se tiene la siguiente formula a utilizar:

$$RMR = RMR_{IN\ SITU} - \Delta RMR \quad (16)$$

2.2.13.5. Procedimiento.

Para llevar a cabo la clasificación RMR, primero se divide el macizo rocoso en sectores o tramos que presenten características geológicas similares, buscando que cada zona sea lo más uniforme posible. A continuación, se recopilan los datos necesarios y se realizan las mediciones correspondientes a los parámetros de la tabla de clasificación geomecánica, considerando tanto la roca matriz como las discontinuidades presentes. Con esta información, se calculan las puntuaciones asociadas a los cinco parámetros de clasificación. Luego, se aplica la corrección correspondiente según la orientación de las discontinuidades, lo que permite ajustar los valores de manera más precisa. Finalmente, se obtiene un valor numérico global que sirve para determinar la categoría del macizo rocoso, reflejando su calidad y estabilidad.

2.2.13.6. Índice RMR.

El índice RMR clasifica los macizos rocosos en cinco categorías que reflejan su calidad geotécnica, considerando propiedades que son clave en proyectos de ingeniería civil y minería, como la construcción de túneles o la estabilidad de taludes.

Tabla 16: *Calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR.*

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°

Fuente: *(Bieniawski, 1989)*

Por ejemplo, un macizo clasificado como Clase I se considera de calidad muy buena. En este caso, se trata de una roca generalmente dura, poco fracturada, con presencia mínima de filtraciones y un grado de meteorización bajo o casi nulo. Estas condiciones hacen que el macizo presente un comportamiento estable, con muy pocos problemas de inestabilidad. En consecuencia, su capacidad portante es elevada, permite la excavación de taludes con pendientes pronunciadas y, en la mayoría de los casos, no requiere medidas importantes de sostenimiento o refuerzo en obras subterráneas como túneles.

2.2.14. Geological strength index

El índice GSI (Geological Strength Index) se utiliza para determinar la calidad del macizo rocoso y fue concebido como una herramienta para estimar los parámetros mb y s del criterio de Hoek-Brown (1980). Sus autores señalaron que cualquier modelo de rotura aplicado a macizos rocosos requiere necesariamente el respaldo de una clasificación geomecánica que sustente sus parámetros. La evaluación mediante GSI se basa en la observación directa y detallada del macizo, por lo que su enfoque es principalmente cualitativo. Este índice considera tanto la estructura general de la roca como las propiedades geomecánicas de las superficies de discontinuidad presentes. Para determinarlo, se realiza un examen visual del macizo en afloramientos y perforaciones, permitiendo obtener una estimación confiable de su calidad y comportamiento. El GSI integra dos factores clave que controlan el comportamiento del macizo rocoso: el grado de fracturación, expresado en el tamaño y la forma de los bloques, y la resistencia al corte de las discontinuidades. **(Ramirez 2004).**

De la calificación del macizo rocoso por el método del índice GSI, se tiene lo siguiente:

Tabla 17: *Margen de error para cada valor de GSI de Hoek*

Descripción	GSI	Δ GSI
Macizo Rocoso de Muy Mala Calidad	$0 \leq GSI < 20$	$\Delta GSI \approx \pm 8$
Macizo Rocoso de Mala Calidad	$20 \leq GSI < 40$	$\Delta GSI \approx \pm 6$
Macizo Rocoso de Calidad Regular	$40 \leq GSI < 60$	$\Delta GSI \approx \pm 5$
Macizo Rocoso de Buena Calidad	$60 \leq GSI < 80$	$\Delta GSI \approx \pm 5$
Macizo Rocoso de Muy Buena Calidad	$80 \leq GSI < 100$	$\Delta GSI \approx \pm 5$

Fuente: *(Bieniawski, 1989).*

Las evaluaciones del GSI se apoyan principalmente en la observación directa del macizo rocoso, tanto a nivel estructural como en las condiciones que presentan sus superficies de discontinuidad. En este sentido, el criterio incorpora aspectos como el grado de alteración o meteorización de la roca, su historia geológica y procesos de formación, el nivel de fracturamiento existente, así como la forma en que se distribuyen y orientan las juntas o discontinuidades.

A diferencia de otros sistemas de clasificación como el RMR, el sistema Q de Barton o el RMI, el GSI se fundamenta en una apreciación principalmente cualitativa, más que en una evaluación estrictamente numérica. Esta característica responde a la necesidad de contar con un método capaz de representar de mejor manera el comportamiento de macizos rocosos, especialmente aquellos de baja calidad, donde el RMR suele presentar limitaciones.

En ese contexto, el índice de resistencia geológica fue propuesto por Hoek en 1995 como un complemento del criterio de falla generalizado en roca, con el objetivo de estimar de forma más realista los parámetros s y m. Esto surgió porque, en casos de rocas débiles —particularmente

cuando el RMR es inferior a 20—, los valores obtenidos mediante sistemas tradicionales no reflejaban adecuadamente el comportamiento real del macizo.

Los valores de las constantes, se obtienen como se muestra a continuación:

El valor de m, se obtiene con la siguiente expresión:

$$m = mi*exp((GSI-100)/28) \quad (17)$$

Los parámetros s y α se calculan mediante expresiones diferenciadas según el valor del GSI. Cuando el GSI supera 25, se asume que el macizo rocoso presenta una calidad de media a buena; en cambio, valores inferiores a 25 corresponden a materiales de calidad baja a muy baja. Las expresiones son las siguientes:

Macizos rocosos con GSI > 25

$$s=exp((GSI-100)/9) \quad (18)$$

$$\alpha=0,5$$

Macizos rocosos con GSI < 25

$$s=0$$

$$\alpha=0,65-(GSI/200) \quad (19)$$

Para macizos rocosos con un valor de GSI mayor a 25, se puede establecer una relación entre GSI y el RMR89 seco con la siguiente ecuación:

$$GSI=RMR_{89}-5 \quad (20)$$

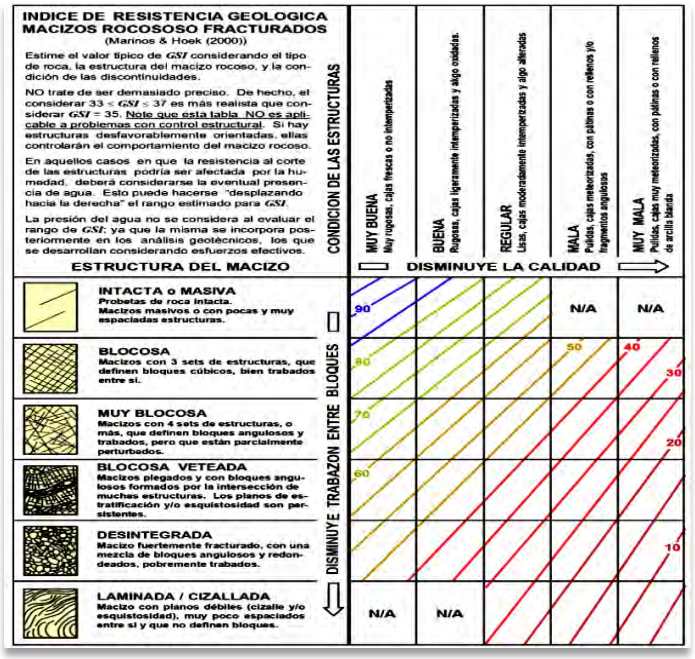
Medición del GSI.

El índice de Resistencia Geológica (GSI) es un sistema de clasificación que permite estimar las propiedades geomecánicas de los macizos rocosos mediante una evaluación visual directa en campo. Su aplicación se basa en la observación de las características geológicas y estructurales del macizo, así como del estado de sus discontinuidades.

Este método considera aspectos como el grado de meteorización, la historia geológica, las condiciones de formación, el nivel de fracturación y la disposición de las juntas o planos de discontinuidad, lo que permite una aproximación práctica a la calidad del macizo rocoso. **(Ramirez Oyanguren & Alejano Monge, 2004)**.

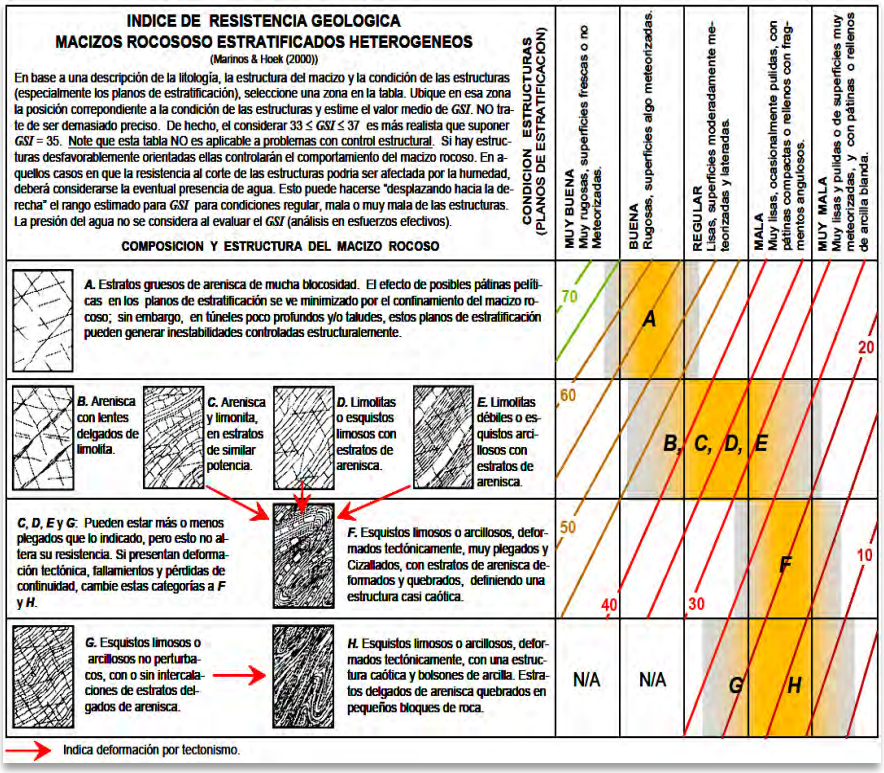
El gráfico con el que consiguen los valores del GSI ha sido extendido para adaptarse a la mayor variedad de macizos rocosos, incluyendo rocas de muy baja calidad, por lo cual, para macizos heterogéneos como los flysch se utiliza la siguiente grafica adaptada de Hoek (2006):

Figura 18: *GSI para Macizos Fracturados*.



Fuente: *(Ramirez Oyanguren & Alejano Monge, 2004)*

Figura 19: *GSI para Macizos Estratificados Heterogéneos*



Nota: *En términos prácticos y aplicativos el GSI se utiliza frecuentemente en Macizos rocoso con un comportamiento de suelo o en el límite, en donde se complica la aplicación de metodologías más precisas como RMR, sin embargo, es fundamental medirlo en todas las estaciones.*

Consideraciones en la aplicación índice GSI y criterio de Hoek - Brown.

El criterio GSI se basa en la suposición de que el macizo rocoso tiene un número significativo de discontinuidades orientadas al azar, por lo que se comporta como una masa isotrópica heterogénea, es decir, el comportamiento de la roca es independiente de la dirección de las cargas aplicadas.

El sistema GSI no debe ser aplicado a macizos rocosos con una orientación estructural dominante claramente definida. Sin embargo, en situación extenuantes si se comprueba que la falla de los macizos rocosos no está controlada por esta anisotropía, se pueden considerar una opción viable la utilización del gráfico GSI y del criterio de rotura Hoek - Brown.

El valor de GSI está basado en estimaciones cualitativas por lo cual no se apega en su totalidad a la realidad.

2.2.15. Clasificación SMR (slope mass rating)

Aunque es poco utilizado en Occidente, es una clasificación muy certera. Propuesta por Romana en 1985 nace como una adaptación al RMR de Bieniawski, con una adaptación para taludes, e introduciendo un factor corrector de naturaleza empírica, fundamentada en datos obtenidos de más de 90 taludes, obteniéndose una concordancia favorable entre los valores de inestabilidad real y la predicha con la clasificación SMR **(Palstrom, 2009)**.

Todo lo anterior permite determinar en campo el índice RMR, el cual establece la calidad geotécnica de los macizos rocosos en una escala de 0 a 100, organizada en cinco categorías. Esta clasificación se aplica principalmente a taludes y se obtiene a partir del valor básico del RMR, al que se le adiciona un ajuste según la orientación de las discontinuidades y un parámetro clave: el "factor de excavación", que está condicionado por el método constructivo empleado.

SMR = RMR + Orientación de juntas + factor de excavación

Donde:

Orientación de juntas = (F1*F2*F3)

Factor de excavación = F4

$$SMR = RMR + (F1 * F2 * F3) + F4$$

Tabla 18: *Valoración RMR adaptada por Romana para SMR.*

Valores de RMR (BIENIAWSKI, 1979) Modificados por Romana							
PARÁMETROS		**INTERVALO DE VALORES**					
Resistencia de la roca intacta a Compresión Simple/MPa		>250	100–250	50–100	25–50	5–25	1–5	< 1
Valoración		15	12	7	4	2	1	0
RQD/%		90–100	75–90	50–75	25–50	<25		
Valoración		20	17	13	8	3		
Separación entre juntas/mm		>2000	600–2000	200–600	60–200	<60		
Valoración		20	15	10	8	5		
Condición de las juntas		Muy rugosas No continuas Cerradas Bordes sanos y duros	Algo rugosas Separación < 1mm Bordes algo meteorizados	Algo rugosas Separación < 1mm Bordes muy meteorizados	Espejos de falla o Relleno < 5 mm o Separación 1–5 mm Continuas	Relleno blando > 5 mm o Separación > 5 mm Continuas		
Valoración		30	25	20	10	0		
Flujo de agua en las juntas	Caudal (L/minuto) cada 10 m de túnel	No hay	<10	10–25	25–125	>125		
	Presión de agua/tensión principal mayor	0	0,1–0,1	0,1–0,2	0,2–0,5	>0,5		
	Estado general	Secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Fluyendo		
	Valoración	15	10	7	4	0		

Fuente: *(Bieniawski, 1989).*

En líneas siguientes se describen cada uno de los factores utilizados y adaptados por Romana:

- **Factor F1**

Valora la relación existente entre el rumbo de la cara del talud y de las juntas, varía entre 1 y 0.15.

$$\boldsymbol{F1 = (1 - sen(\beta_j - \beta_t))^2}$$

$\beta_j = Buzamiento\ de\ la\ juntas$

$\beta_t = Buzamiento\ del\ talud$

Tabla 19: *Valorización del Factor F1*

Caso		Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy favorable
Rotura Planar	$\delta\beta_j - \delta\beta_t$	<20°	20°-30°	30°-35°	35° - 45°	>45°
Rotura por vuelco	$\delta\beta_j - \delta\beta_t - 180$	0.15	0.40	0.70	0.85	1
	Valores F1	1	1	1	1	1

Fuente: *(Bieniawski, 1989).*

- **Factor F2**

Está asociado al ángulo de buzamiento de la discontinuidad responsable de la falla planar. Este parámetro representa una estimación de la probabilidad de resistencia al esfuerzo cortante a lo largo de la junta, y sus valores oscilan entre 1 y 0.15, alcanzando los valores más altos en mecanismos de falla por vuelco.

$$\boldsymbol{F2 = (tan(\beta_j))^2}$$

$\beta_j = Buzamiento\ de\ la\ juntas$

Tabla 20: *Valorización Del Factor F2*

Caso		Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy favorable
	$\boldsymbol{\beta_j}$	<20°	20°-30°	30°-35°	35° - 45°	>45°
Rotura Planar	Valores F2	0.15	0.40	0.70	0.85	1
Rotura por vuelco	Valores F2	1	1	1	1	1

Fuente: *(Bieniawski, 1989).*

- **Factor F3**

Muestra los valores entre los buzamientos de la junta y el talud, dando siempre valores negativos, en roturas planares representa la probabilidad de que las juntas afloren en el talud.

Tabla 21: *Valorización del factor F3 para el SMR.*

Caso		Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy favorable
Rotura Planar	$\beta_j - \beta_t$	10°	10°-0°	0°	0° - (-10°)	<10°
Rotura por vuelco	$\beta_j + \beta_t$	<110°	110° - 120°	>120°	-	-
Valores F3		0	-6	-25	-50	-60

Fuente: *(Romana, 1985).*

Finalmente, en la tabla 22, se muestra las clases de estabilidad para taludes según SMR **(Romana, 1985).**

Tabla 22:*Clasificación SMR*

Clases de Estabilidad según SMR (Romana, 1985)					
Clase N°	**V**	**IV**	**III**	**II**	**I**
SMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Descripción	Muy mala	Mala	Normal	Buena	Muy buena
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Estable	Totalmente estable
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por la masa	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos Bloques	Ninguna
Tratamiento	Re - excavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno

Fuente: *(Romana, 1985).*

2.2.16. Q de Barton a partir de RMR

Existe una relación empírica entre los sistemas de clasificación RMR y Q de Barton, y es fundamental en trabajos de investigación con un tiempo reducido **(Palstrom, 2009)**

$$RMR = 9\ x\ Ln(Q) + 44$$

Este sistema permite convertir Valores Q de Barton en RMR, y con pequeños ajusten también podemos convertir valores RMR a Q de Barton.

2.2.17. Estado tensional natural.

Antes de realizar una excavación, se debe considerar que el macizo rocoso ya posee un estado tensional, denominado como: tensiones naturales, las cuales cumplen un rol importante cuando se evalúan las condiciones de estabilidad **(Ramírez y Alejano, 2004).**

2.2.18. Formulación de Sheorey.

En 1994 Sheorey planteó una ecuación para determinar la relación entre la tensión horizontal y vertical, en función al módulo de elasticidad de Young y profundidad, el mismo que se define de la siguiente manera (Ramírez y Alejano, 2004):

$$k = \frac{\sigma_h}{\sigma_v}$$

$$k\ = 0.25 + 7E_h(0.001 + \frac{1}{h})$$

Donde:

✓ k = relación de tensiones

✓ σ_h= tensión horizontal

✓ σ_v = tensión vertical

✓ E_h = módulo elástico de Young (GPa)

✓ h = profundidad (m)

Además, la tensión vertical se define como:

$$\sigma_v = \rho g h = \gamma h$$

Donde:

✓ ρ = densidad media de los materiales

✓ g = aceleración de la gravedad

✓ γ = peso específico medio de los materiales

Comentarios finales.

Respecto al uso del índice GSI para caracterizar geotécnicamente el macizo rocoso, es conveniente indicar lo siguiente:

a) A diferencia de otros índices de calidad geotécnica, el índice de resistencia geológica (GSI) se diseñó específicamente para evaluar cómo influye la escala en la resistencia al corte de un macizo rocoso, siguiendo el criterio de Hoek-Brown.

b) No resulta adecuado en situaciones donde el comportamiento del macizo está claramente controlado por su estructura. En la práctica, este aspecto se suele pasar por alto, lo que puede llevar a sobreestimar la resistencia del macizo.

c) El GSI no incorpora la resistencia a compresión uniaxial de la roca intacta, debido a que este parámetro ya se encuentra integrado en la estimación de la resistencia del macizo mediante el criterio de Hoek-Brown, evitando así una doble consideración. Asimismo, no contempla de forma explícita el espaciamiento de las discontinuidades, ya que este efecto queda reflejado indirectamente en la blocosidad del macizo: espaciamientos mayores corresponden a macizos más masivos, mientras que espaciamientos menores implican mayor fragmentación. Del

mismo modo, la influencia del agua no se incluye directamente, puesto que el modelo de Hoek-Brown trabaja con esfuerzos efectivos, lo que ya incorpora su efecto dentro del análisis.

d) El GSI debe expresarse como un rango de valores, no como un número único. En la práctica, es común definir un rango de aproximadamente 10 a 20 puntos, correspondiente a una de las "cajas" de clasificación.

e) En macizos heterogéneos puede ser necesario adaptar la tabla de calificación para que refleje con precisión las variaciones del índice GSI dentro del mismo macizo.

f) La evaluación basada en afloramientos superficiales no siempre es representativa del comportamiento en profundidad. Las rocas en superficie suelen estar afectadas por desconfinamiento e intemperización, mientras que en profundidad el macizo se mantiene confinado y menos alterado.

g) La meteorización tiende a "desplazar" los valores del GSI hacia la derecha en la carta de clasificación. Si la roca intacta ha sido afectada, los ensayos de laboratorio deben realizarse sobre muestras que reflejen fielmente las condiciones del macizo in situ. Cuando la intemperización es tan intensa que las discontinuidades desaparecen, el índice GSI pierde validez y el macizo debe considerarse como un suelo residual.

h) En macizos dañados por tronadura o desconfinamiento, como ocurre en taludes de minas a cielo abierto, se debe evaluar el GSI con cuidado. De lo contrario, el efecto del daño por tronadura podría contabilizarse dos veces, especialmente si se utiliza el parámetro D de Hoek et al. (2002) para cuantificar este efecto al estimar la resistencia al corte.

i) Para macizos masivos de roca blanda, el GSI no resulta aplicable. En estos casos, la resistencia puede estimarse directamente mediante ensayos de laboratorio, considerando factores como la resistencia a largo plazo y posibles deformaciones bajo carga constante.

j) En rocas duras a gran profundidad (por ejemplo, por encima de 1000 m), la estructura del macizo suele ser masiva y su comportamiento se aproxima al de la roca intacta. En estas condiciones, el GSI tiende a 100, lo que limita su utilidad para "escalar" la resistencia del macizo. La ruptura de estos macizos generalmente ocurre por fractura frágil y propagación de grietas que, al interactuar, generan los típicos lajamientos en excavaciones subterráneas.

2.2.19. Ensayos en geomecánica de rocas.

Martillo Schmidt.

Se realiza en la zona de estudio y la aplicación del martillo tipo L es de forma perpendicular a la superficie de la discontinuidad, se tomaron la medida de 20 datos por cada estación geomecánica, registrando el número de rebotes. De estos se descartan los valores máximos y mínimos, y con los datos restantes se obtiene el promedio. **(Aucay Maldonado & Ordoñez Ordoñez, 2019).**

Figura 20: *Toma de numero de rebotes con martillo de Schmidt*

Ensayo a la compresión simple.

Este ensayo se llevó a cabo en el laboratorio de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. También conocido como ensayo de compresión uniaxial o compresión no confinada, este ensayo ayuda a determinar el esfuerzo que ofrece un material a la presión no confinada. Se debe tener en consideración que la longitud del testigo debe ser el doble de la longitud del diámetro. **(Ramirez Oyanguren & Alejano Monge, 2004)**

Los datos registrados en cada muestra arrojan valores, para el cálculo de la resistencia a la compresión simple se aplicó la relación:

$$\sigma_c = \frac{F}{A}$$

Relación entre carga de rotura y área de la probeta.

Donde:

σ_c = *Resistencia compresiva de la roca (Kg/cm^2)*

F = Carga última de rotura de la probeta (Kg)

A = Área de la probeta (cm^2)

Ensayo de carga puntual.

El ensayo de carga puntual permite estimar la resistencia a la compresión simple de la roca a partir del índice de resistencia Is, obtenido al someter fragmentos irregulares, testigos de perforación o bloques a una carga concentrada. Posteriormente, este valor se correlaciona para aproximar la resistencia UCS considerando el diámetro de la muestra. El procedimiento consiste en aplicar una carga progresiva hasta la rotura de la probeta mediante dos conos metálicos opuestos accionados por una prensa. Entre sus principales ventajas destaca la posibilidad de ensayar muestras de forma irregular sin preparación previa, además de la portabilidad del equipo, lo que facilita su uso en campo. **(Suárez-Burgoa, 2015)**

Figura 21: *Ensayo de compresión simple*

Fuente: *(Hibbeler, 2011)*

Peso específico.

El peso específico de una roca, peso unitario, depende directamente de su composición mineralógica y se define como la relación entre el peso del material y el volumen que ocupa.

Figura 22: *Peso de la muestra.*

Fuente: *(Hibbeler, 2011).*

Para el cálculo del peso específico se utiliza la ecuación:

$$\gamma = m * g / V = \rho * g$$

Donde:

γ = Peso específico (kN/m^3)

m = Masa de la muestra (gr)

v = Volumen de la muestra (cm^3)

g = Gravedad de la tierra (9.81 m/seg^2)

Abrasión de los ángeles.

Es una prueba que se realiza para medir la resistencia a la abrasión y a la degradación de las rocas. Se introduce 5 Kg o 10 Kg de muestra de roca en la máquina de Los Ángeles, con una granulometría determinada. Dentro de la máquina de Los Ángeles existe un tambor en el cual se introduce la muestra y adicionalmente se introducen un número determinado de esferas de acero, posteriormente el tambor con la muestra y las esferas son sometidas a 500 o 1000 vueltas. El material que resulta se tamiza para separar el material fino y los restos.

Durabilidad de las rocas al sulfato de sodio y de magnesio.

Es una prueba o ensayo mediante el cual se busca estimar cualitativamente el comportamiento de la roca al ser sometida a degradación química. Los resultados de este ensayo nos ayudaran a medir la durabilidad de la roca y deben complementarse con otros ensayos o pruebas para durabilidad.

CAPITULO III

GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA

3.1. GEOLOGIA REGIONAL

3.1.1. Formación Kayra- Eoceno.

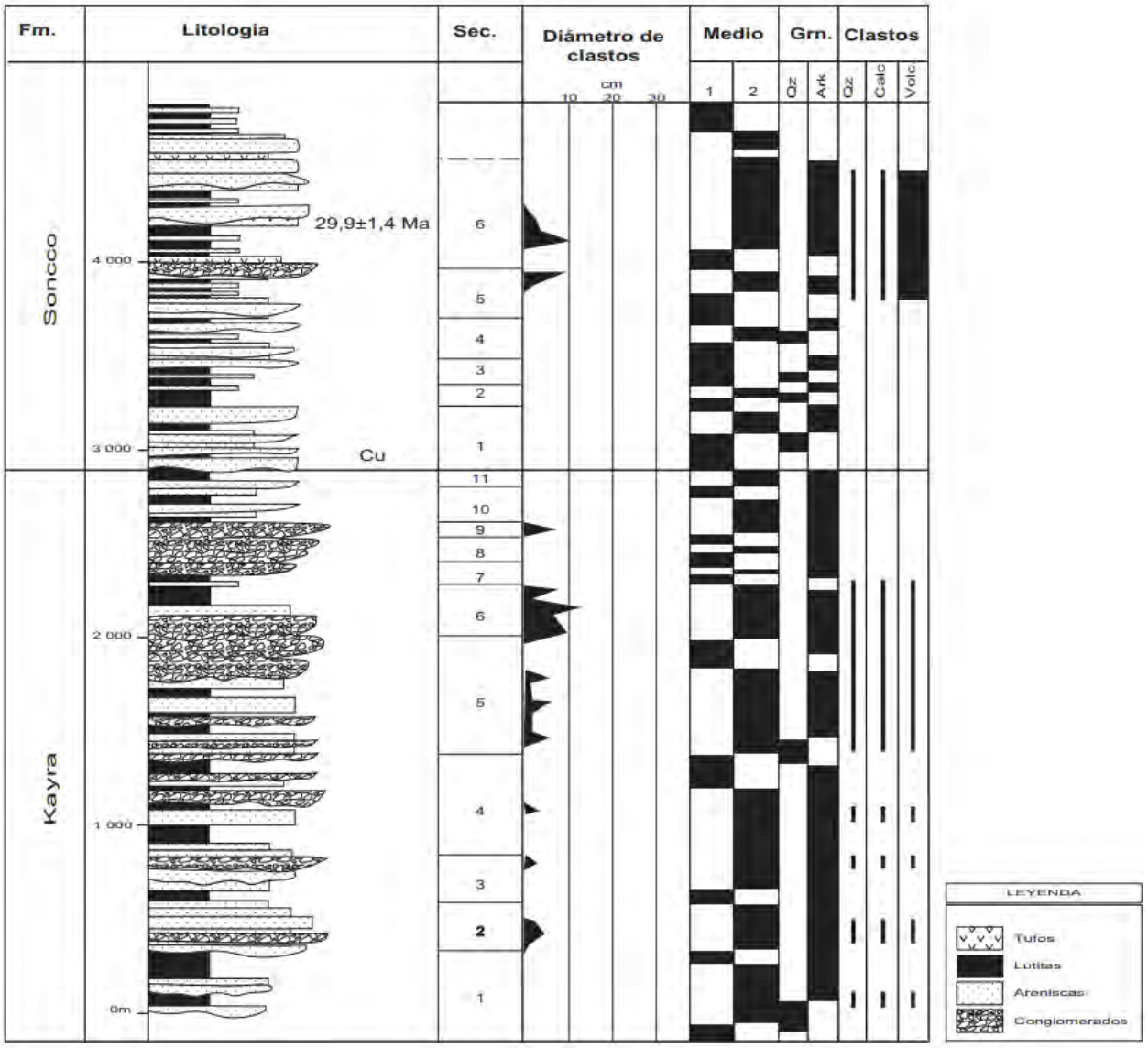
Esta formación se caracteriza por la presencia de una potente secuencia continental de tonalidad rojiza que supera los 6000 metros de espesor, denominada Grupo San Jerónimo (Córdova, 1986)., la cual aflora con gran extensión en la zona de Cusco y Sicuani. Este grupo ha sido subdividido en tres unidades estratigráfica: Kayra, con aproximadamente 3000 metros, Soncco, con 1600 metros y Punacancha con cerca de 1700 metros de espesor.

Sobreyace en una discordancia erosiva sobre las formaciones Chilca y Quilque. En particular, las formaciones Kayra y Soncco constituyen un conjunto de areniscas feldespáticas, intercaladas con niveles de limonitas y algunos estratos conglomeradicos, de origen fluvial. No obstante, debido a su continuidad lateral con la Formación Kayra descrita en la región de Puno, esta unidad será considerada bajo dicha denominación.

3.1.2. Formación Soncco Eoceno Superior -Oligoceno Inferior

La Formación Soncco suprayace a la Formación Kayra, de forma concordante o en discordancia progresiva. Se divide en dos miembros: Inferior, que está compuesto por lutitas rojas con areniscas finas con cobre y el miembro: Superior, formado por areniscas y conglomerados volcánicos. Estos sedimentos corresponden a ambientes fluviales entrelazados con aporte desde el Sur y Suroeste. Hacia el Sur se observan clastos más gruesos.

Figura 23: *Columna estratigráfica de las formaciones Kayra y Soncco, levantada al sur de San Jerónimo, en el corte de referencia*



Nota. *Tomado de Córdova (1986), Carlotto (1998), modificado.*

3.1.2. Formación San Sebastián – Cuaternario

La Formación San Sebastián suprayace a las unidades cretácicas, terciarias y a la Formación Chincheros en la depresión del Cusco. Presenta dos secuencias: Grano-decreciente, con ambientes fluviales y lacustres y una grano- decreciente con depósitos fluvioaluviales. Estas características indican el relleno y cierre progresivo de la cuenca. Se observan estructuras compresivas sinsedimentarias.

3.2. GEOLOGIA LOCAL

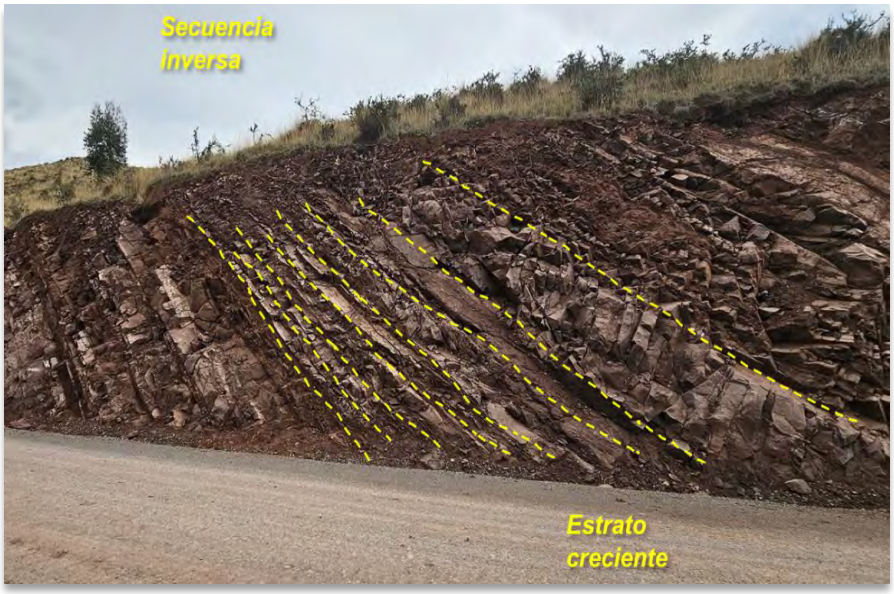
La geología local del Sector Chocco comprende unidades Cenozoicas: Formación Kayra, Formación San Sebastián y Depósitos cuaternarios.

- ***Formación Kayra***

La Formación Kayra forma parte de las denominadas “capas rojas” del Grupo San Jerónimo y presenta una amplia distribución en el suroeste de Cusco, integrando estructuras como el sinclinal de Anahuarqui y el anticlinal de Puquin (Córdova, 1986). En el área de estudio, su afloramiento es más extenso hacia el noreste del sector Chocco.

Desde el punto de vista litológico, está compuesta principalmente por areniscas feldespáticas intercaladas con niveles de lutitas, asociadas a un ambiente de sedimentación fluvial. Su secuencia estratigráfica muestra una tendencia granocreciente: en la base predominan lutitas rojizas y areniscas de grano fino a medio, mientras que hacia la parte media y superior se presentan areniscas de grano más grueso, junto con microconglomerados y conglomerados.

Foto 1: *Secuencia inversa de los estratos de la Formación Kayra aflorantes.*



Nota. *Debido al ambiente de depositación y formación de las secuencias sedimentarias y la posterior orogenia andina, estas presentan un alto grado de fracturamiento.*

Formación San Sebastián (Q-ss)

En la zona de estudio aflora en la parte baja del sector Chocco, constituye el piso de los alrededores de la quebrada Chocco. En la Formación San Sebastián se tienen 5 secuencias sedimentarias de las cuales solo se observa una de ellas en la zona de estudio. Las arcillas, limolitas y lentes de gravas pertenecientes a la secuencia III (Santos & Arriola).

Depósitos Aluviales (Q-al)

Estos depósitos se encuentras en los cauces antiguos y en la parte inferior de nuestra zona de estudio donde se han asentado centros poblados. Estos depósitos están conformados por gravas y bloques redondeados con matriz limo arenosa y que conforman terrazas aluviales.

Depósitos Deluviales (Q-de)

Estos depósitos se encuentran en la parte inferior de la zona de estudio, está constituido por acumulaciones de sedimentos a causa de la erosión de la roca que se ubican en pendientes bajas. En la zona de estudio se logró identificar dentro de la Formación Kayra alcanzando espesores 1 a 1.5m aproximadamente.

Foto 2: *Depósitos cuaternarios deluviales.*

Nota. *Ubicada en gran territorio del área estudiada debido a las bajas pendientes*

3.3. GEOMORFOLÓGICA REGIONAL

Se identificaron cuatro grandes unidades geomorfológicas a nivel regional: El borde Noreste de la Cordillera Occidental, el Altiplano, la Zona de transición entre el Altiplano y la Cordillera Oriental. Asimismo, dentro de estas unidades mayores se distinguen formas local o geoformas que se desarrollan en su interior

Borde NE de la Cordillera Occidental.

Está ubicado principalmente al Suroeste del Cuadrante III y al Sur DEL Cuadrante II. Presenta relieve en general planos, con altitudes cercanas a os 4000 m.s.n.m. y cumbres entre 4200 y 4300 m. No obstante, el paisaje se vuelve accidentado debido a una profunda incisión de los ríos Velille y Apurímac.

En esta unidad se distinguen varias geoformas principales: Los valles de los ríos Velille y Apurímac, la planicie de Quepuro-Coyabamba, las montañas de Sihuina-Paca-Chullo y la depresión de Acccha

Altiplano.

En el cuadrángulo de Cusco se observa la prolongación hacia el Noroeste del Altiplano, así como parte de su terminación. Esta unidad limite al Sur con el borde Noroeste de la Cordillera Occidental y al norte con la Cordillera Oriental, a través de una zona de transición bien definida.

Dentro de esta unidad se distinguen varias geoformas importantes, como la depresión del Cusco, las montañas y serranías circundantes (Vilcaconga- Huanacauri- Acoyaco), la mesta n y diversas planicies y depresiones como Paruro, Paccarectambo, Pomacanchis y Huajhuacocha.

Limite Altiplano -Cordillera Oriental

Consiste en una franja alargada con dirección Noroeste- Sureste que separa el Altiplano m al sur, de la Cordillera Oriental, al Norte. Su espesor vario; es más estrecha hacia al Sureste y se ensancha al Noroeste, donde se relaciona con el anticlinal de Vilcanota. En esta zona se alcanzan altitudes superiores a los 4800 m.s.n.m, destacando el nevado Pachatusan

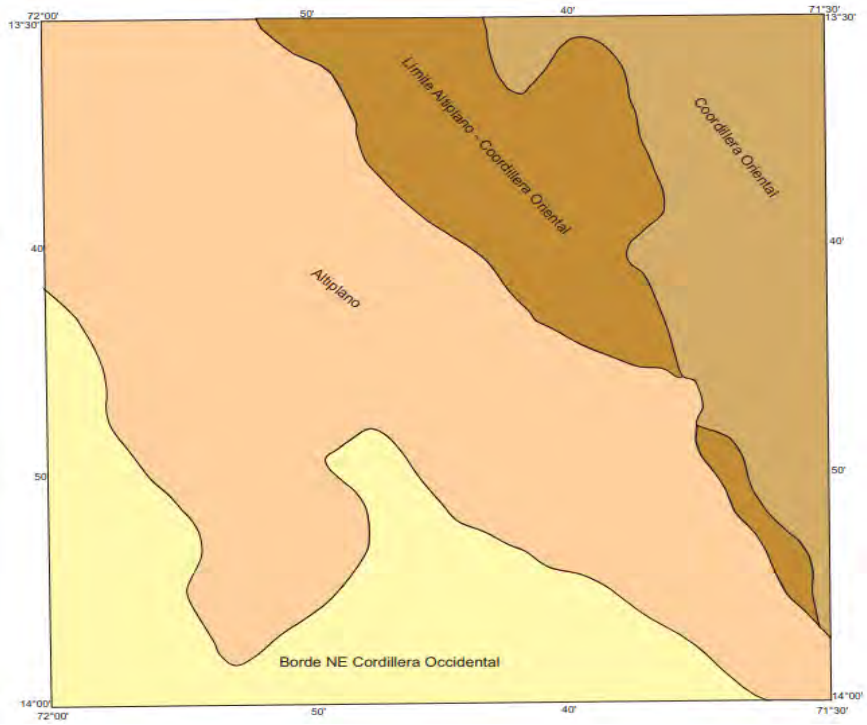
Entre las principales geoformas se reconocen las siguientes: montañas de Pachatusan- Vilcanota, la meseta de Huacoto, las montañas de Pucara-Curi y las montañas de Pucarani – Machuquempor

Cordillera Oriental

Es una unidad morfoestructural bien definida ubicada en el Noreste de Cuadrángulo de Cusco, presenta zonas relativamente bajas en el límite con el Altiplano, con altitudes cercanas a los 3200 m.s.n.m. hasta áreas más elevadas hasta 4500 m

Entre sus principales geoformas se encuentran la depresión de Ccata, compuesto por sedimentos fluviolacustres recientes, además de las colinas de Rajchi – Ma

Figura 24: *Mapa de Dominios Morfoestructurales del Cuadrángulo de Cusco*



Fuente: (*INGEMMET, 2003).*

3.4. GEOMORFOLOGÍA LOCAL

La geomorfología de la zona de estudio presenta una notable variabilidad en el relieve, caracterizada por pendientes pronunciadas y quebradas, resultado de procesos tectónicos asociados a la formación de la cordillera de los Andes. Las formaciones geológicas presentes en el área responden de manera diferente a los procesos exógenos, como la erosión y el intemperismo, dependiendo de las propiedades físicas y químicas de los materiales que las conforman, estos procesos han tenido un papel fundamental en la modelación y evolución del paisaje.

En el Sector Chocco se han identificado seis unidades geomorfológicas diferenciadas, las cuales fueron clasificadas considerando su ubicación, altitud, inclinación del terreno, tipo de litología y características del relieve

Valle

Corresponde a la parte baja del Sector Chocco que tiene una morfología plana a moderadamente inclinada. Su origen está relacionado a la existencia del antiguo lago Morkil, el rio Huancaro y rio Chocco por lo que se aprecia niveles de terrazas.

Cauce de rio

El cauce del rio es la parte del valle por donde discurren las aguas del rio Huancaro, está ubicado en la parte inferior de nuestra zona de estudio, Está constituido por arcillas, limos arenosos a gravosos, formando terrazas suaves.

Foto 3: *Valle en forma de "V".*

Nota. *Característicos de cabeceras de cuenca en donde predomina la erosión y meteorización por sobre el transporte de sedimentos.*

Conos aluviales

Esta subunidad geomorfológica se origina en la desembocadura de las quebradas, donde se interceptan las zonas de plana a inclinada con las vertientes de montaña, en la zona de estudio se caracteriza por la acumulación y el transporte de materiales de la Formación Kayra como material cuaternario con clastos angulosos y subangulosos.

Terrazas aluviales

Esta subunidad se forma a lo largo de las riberas del cauce del río en pequeñas plataformas sedimentarias, en el rio Huancaro y Chocco se localizaron terrazas aluviales en la parte inferior pertenecientes a la zona de estudio con pendientes ligeramente inclinada a moderadamente inclinada y estas a su vez están compuestas de depósitos aluviales y coluviales.

Colinas bajas

Esta subunidad geomorfológica se caracteriza por una apariencia ondulada y redondeada con pendientes que varían de ligeramente inclinada a fuertemente inclinada, en nuestra zona de estudio se ubica distribuida al NE, afloran rocas sedimentarias de la Formación Kayra y Soncco

Montañas altas

Esta subunidad geomorfológica se ubica en la parte superior de nuestra zona de estudio, presentan una altitud de 3300 a 3800 m, están constituidas por la Formación Kayra y Soncco.

3.5. INFORMACIÓN DE PENDIENTES EN EL ÁREA DE ESTUDIO

El sector Chocco presenta un relieve andino altamente accidentado, donde predominan pendientes moderadas a muy fuertes, controladas por la estructura geológica regional. Este entorno condiciona un comportamiento geomecánico complejo del macizo rocoso, caracterizado por alta fracturación, meteorización variable y presencia de depósitos coluviales inestables.

Desde el punto de vista ingenieril, la pendiente del terreno constituye el factor más crítico, ya que influye directamente en la estabilidad de taludes, el diseño de cimentaciones y la susceptibilidad a procesos de remoción en masa. Por ello, cualquier intervención debe basarse en estudios geotécnicos detallados que integren geomorfología, litología y análisis estructural del macizo rocoso.

a) Pendiente Llano a inclinado de 0°a 5°

Corresponde a terrenos con muy poca pendiente a subhorizontales. Están conformados por terrazas aluviales a diferentes niveles, llanuras de inundación o planicies inundables, altiplanicie disectada, planicies inclinadas y terrenos que han sido afectados por procesos de erosión incipientes que formaron colinas y lomadas de poca altura.

b) Pendiente Moderadamente Empinado de 5°a 15°

Corresponde a zonas con pendientes bajas sobre partes bajas y en las faldas de las laderas, estas geoformas son de origen aluvial.

c) Pendiente Empinado de 15°a 25°

Corresponde a zonas con moderada pendiente, conformando laderas de colinas y montañas, cauces de valles y quebradas, conos deyectivos.

d) Pendiente Fuertemente Empinado de 25°a 45°

Corresponde a zonas con pendientes fuertes sobre vertientes de montaña las cuales corresponden a suelos de origen aluvio-coluvial, así como algunos afloramientos rocosos adyacentes.

e) Pendiente Escarpado >45°

Corresponde a zonas con pendientes escarpadas y abruptas sobre laderas de montaña las cuales corresponden a afloramientos rocosos del sector. Los terrenos presentan en algunos casos escasa cobertura vegetal.

Este patrón concuerda con modelos de relieve andino descritos en estudios regionales del INGEMMET, donde la pendiente es un factor determinante en la evolución de movimientos en masa y estabilidad de taludes.

3.6. MARCO ESTRUCTURAL

El área de estudio se encuentra en una región con alta deformación, donde se observan numerosas estructuras geológicas. Al norte, su límite estructural está marcado por la falla activa Ayarate-San Juan de Quihuares, que provoca el cabalgamiento de distintas formaciones hacia el sur. Hacia el sur, el área se ve limitada por la falla Paruro, la cual genera un desplazamiento de cizalla que modifica la dirección de las formaciones en aproximadamente 90°. Por otro lado, al noroeste se identifican formaciones que corresponden al núcleo del anticlinal de Puquin, que también interviene en los cambios de orientación de las estructuras de la zona, debido al efecto de compresión en el flanco del anticlinal, con dirección hacia el suroeste de la ciudad del Cusco.

De manera más local se aprecia un comportamiento frágil en las rocas se la Formación Kayra, identificando así estructuras con cinemática compuesta (Norma – Sinestral), como el que se muestra en la Foto 4.

Foto 4: *Deformación frágil de las areniscas de la Formación Kayra*

Nota. *En la foto se aprecia una falla con cinemática múltiple, identificando una cinemática Normal - Sinestral (Plano de color azul), las flechas indican la dirección del movimiento del bloque superior.*

CAPITULO IV

MARCO GEOMECÁNICO

4.1 Estación Geomecánica N°1

La estación Geomecánica N°1 está ubicada en el sector Sur del sector Chocco, litológicamente está constituida por secuencias sedimentarias de areniscas de coloración rojizas, pertenecientes a la Formación Kayra. Geomorfológicamente dominan estructuras de pies de monte. Teniendo valores de Resistencia a la compresión Simple de 109.6 MPa, obtenidos con el esclerómetro y adaptados usando el ábaco de resistencia a la compresión simple, además se determinó la estación como "BUENA", de acuerdo a la clasificación GSI y RMR, ya que se determina que la calidad del Macizo Rocoso es de 67.

Tabla 23. *Coordenadas de la Estación Geomecánica 1*

DATUM	ZONA	COORDENADAS		COTA (m.s.n.m)
		ESTE	NORTE	
WGS-84	19 S	177955.39	8500042.54	3481

Análisis DIPS de la Estación Geomecánica N°1

En la Figura 25, se observa las trazas de los sistemas principales de discontinuidades (familias principales), en el cuadro inferior derecho se tiene la lista de orientación de la estratificación y familia de juntas (Dip y Dip Direction) en el cual la interacción entre ambos sistemas favorece a la formación de cuñas. En la Figura 26 se observa que la densidad más alta corresponde a la orientación principal de NE-SW, siendo esta los estratos E1, E2 y E4.

Figura 25: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 1.: Familia de discontinuidades.*

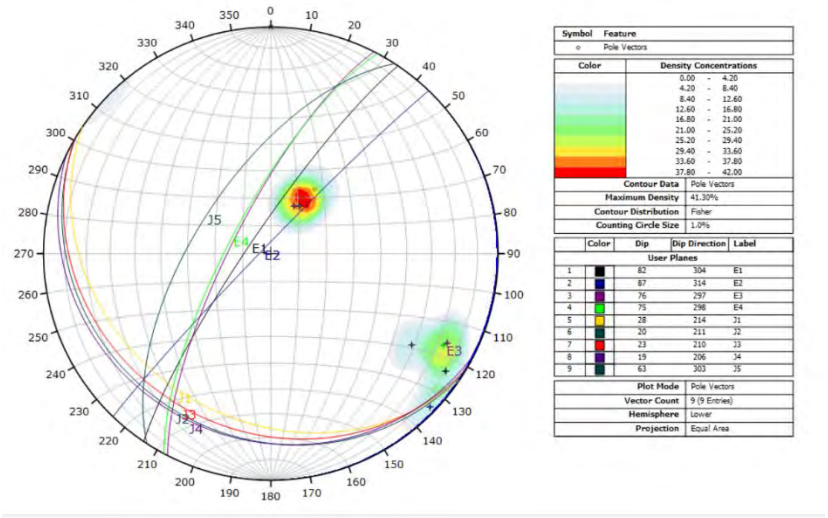
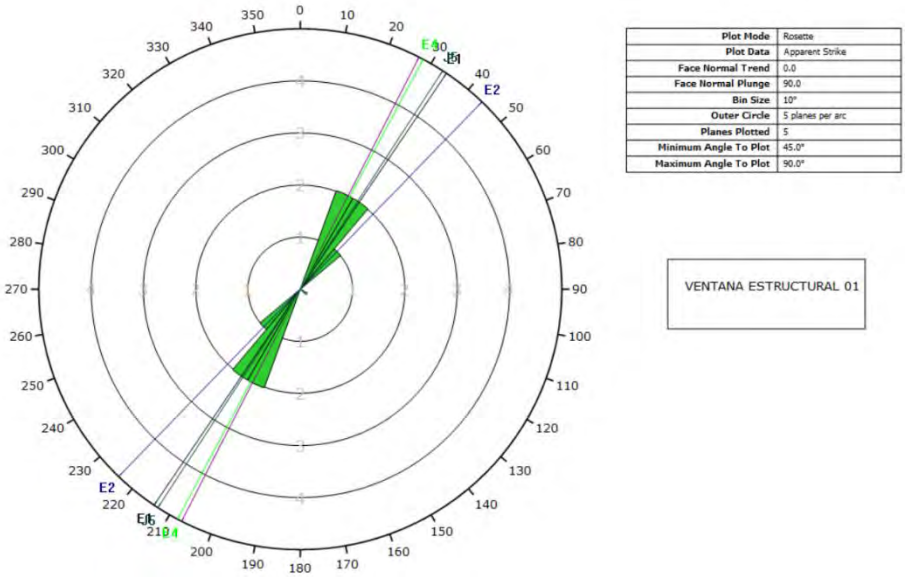


Figura 26: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 1.: Roseta Estructural.*



Cuadro 1. *Cuadro de registro Geomecánico de la Matriz Rocosa de la estación N°1.*

HOJA DE DESCRIPCIÓN DEL MACIZO ROCOSO

INFORMACION GENERAL

PROYECTO: INVESTIGACIÓN TESIS	**ESTACIÓN / PERFORACIÓN No.: 1**					**EJECUTADO:**		**RQD =** 82%
	UBICACIÓN:	**E**	177955.39	**CLIMA: SECO**		**REVISADO:**		**RMR =**
LOCALIZACIÓN: CHOCCO, SANTIAGO, CUSCO		**N**	8500042.54	**No. de hojas suplementarias de datos de las discontinuidades:**	**1**	**FECHA:**		**SMR =**
TIPO DE LOCALIDAD: Asentamiento Humano		**COTA**	3481			**HORA:**		**GSI =**

INFORMACIÓN DEL MATERIAL ROCOSO

LITOLOGÍA	**TIPO DE ROCA: Sedimentaria / Arenisca**			**COLOR Y TEXTURA: Rojo / Detritico**							**FORMACIÓN Y EDAD: Fm Kayra / Paleoceno-Eoceno inferior**						
	POTENCIA:			**GEOFORMA: Piedemonte**													
RESISTENCIA	**INDICE DE CAMPO**	Extremadamente Blanda (Uña) 0	Muy blanda (Navaja) 1	Blanda (Punta martillo) 2			Media (1 Golpe martillo) 3			Dura (+ 1 Golpe martillo) 4			Muy dura (Varios golpes) 5		Extremadamente dura (Solo raya con martillo) 6		
	RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO:			56	52	54	58	54	50	60	59	56	64	63	58	54	58	52

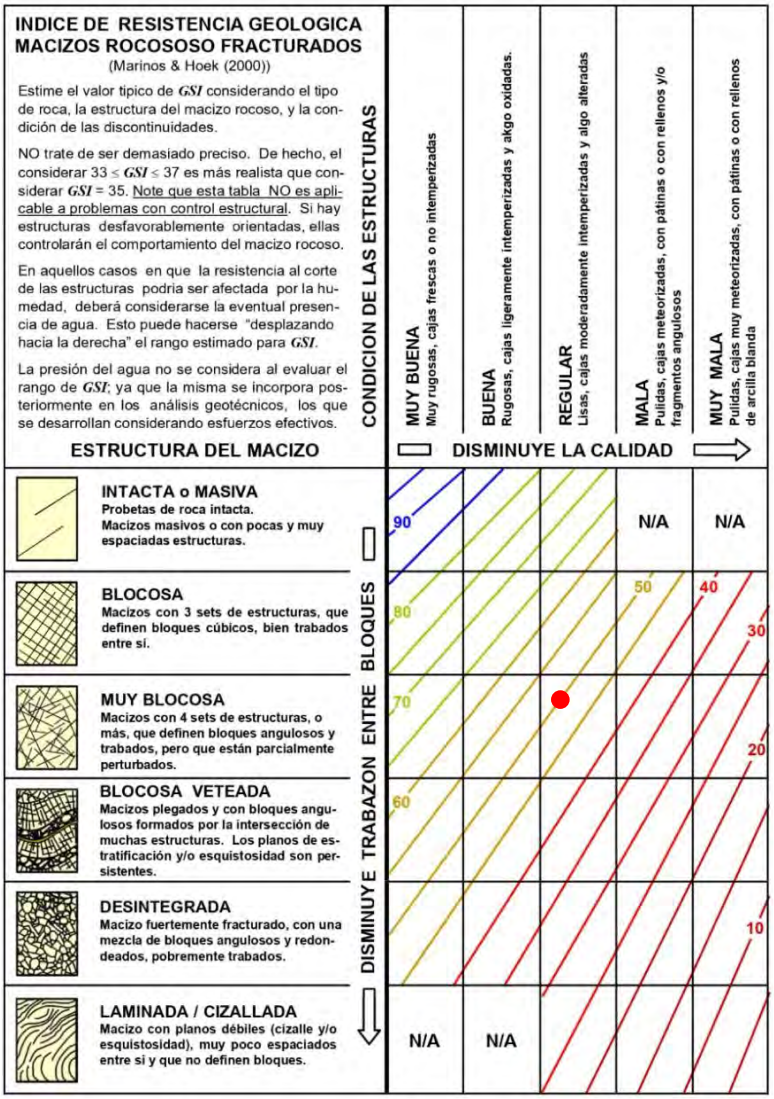
INFORMACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

FRACTURACIÓN	**BLOQUES**	Muy grandes	Grandes	Medios	Pequeños	Muy pequeños	Muy brechificado
	Jv diaclasas/m³	< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 30	>30	>60
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Sana	II Algo meteorizada	III Medianamente meteorizada	IV Muy meteorizada	V Completamente meteorizada / Descompuesta		VI Suelo residual
HIDROGEOLOGÍA	Sin presencia de agua	Seco, con señal de agua	Húmedo	Goteo	Flujo		CAUDAL ESTIMADO:
No. DE SETS DE DISCONTINUIDADES MAYORES		λ =(frecuencia de discontinuidades)/1		OBSERVACIONES			

Clasificación Geomecánica – Geological Strength Index (GSI)

La estación geomecánica N°1 cuenta con bloques medios, con un promedio de diaclasas por metro cubico entre 3 y 10, se encuentra moderadamente meteorizada, seco y con una ligera señal de agua, lo que nos estimó un valor de GSI equivalente a 50.

Figura 27: *Ploteo de datos obtenidos en campo para cálculo del GSI en la estación N°1*



Clasificación RQD

Se calculó un RQD de la estación N°1 utilizando la formula descrita por Palstrom (1982), la cual utiliza el número de fisuras por metro lineal, teniendo un valor para a la estación 1 de 92%, lo que nos indica que es de calidad muy buena y debido a que presenta un grado de fracturamiento bajo, sin embargo, es necesario aplicar una metodología más robusta como RMR.

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

Donde:

$$\lambda = \frac{N° \ de \ fisuras}{Espaciamiento}$$

Cálculo del RQD para la Estación N°1

- Calculamos λ:

N° de fisuras = 9

Espaciamiento = 2m

$$\lambda = \frac{9}{2} = 4.5$$

- Calculamos el RQD

$$RQD = 100e^{-0.1x4.5}(0.1x4.5 + 1)$$

$$RQD = 92\%$$

Análisis Rocdata

El análisis desarrollado en el Software Rocdata es utilizado para determinar los esfuerzos y los parámetros, está en base a las teorías de Mohr Coulomb y Hoek y Brown, la figura 28 muestra las gráficas de esfuerzos para ambas teorías. Se utilizaron los resultados del ensayo a la compresión uniaxial, para esta ventana, la resistencia a la compresión es de 109.6 Mpa; se observan en los gráficos los esfuerzos principales mayores y menores, así como los esfuerzos normales y cortantes en las Areniscas de la Formación Kayra de la Estación N°1.

Estos datos fueron contrastados con los obtenidos en ensayos específicos como carga puntual y compresión simples.

Figura 28: *Análisis de Esfuerzos Rocdata utilizando la clasificación de Morh – Coulomb y el criterio de Hoek y Brown en la estación N°1*

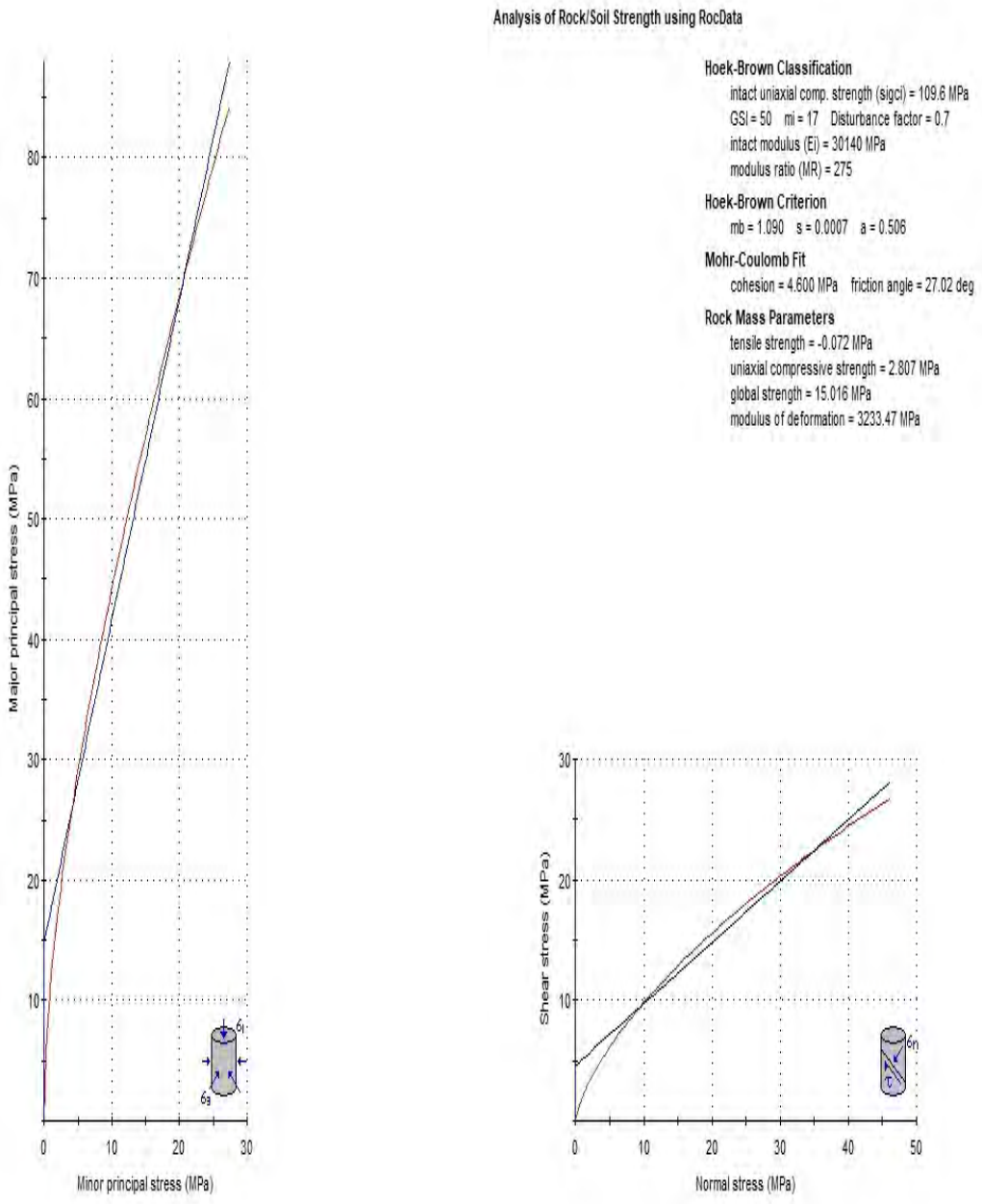


Tabla 24: *Resumen de los valores obtenidos en el Software Rocdata aplicando los valores de la estación N°1.*

Clasificación Hoek-Brown		Criterio Hoek-Brown		Mohr-Coulomb Fit	
Resistencia a la compresión de la Roca Intacta –sigci (MPa)	109.6 MPa	mb	1.090	Cohesión - c	4.600 MPa
		s	0.0007	Angulo de Fricción - phi	27.02
		a	0.506		
GSI	50	Rock Mass Parameters			
mi	17	Resistencia a la Tracción – sigt (MPa)		-0.072 MPa	
Factor de Disturbancia - D	0.5	Resistencia a la compresión Uniaxial – sigc (MPa)		2.806 MPa	
Modulo intacto - Ei	30140	Resistencia Global – sigcm (MPa)		15.016 MPa	
MR	275	Módulo de Deformación – Em (MPa)		3233.47 MPa	

Clasificación RMR

Para la clasificación RMR 89 de Bieniawski, se consideraron los resultados medidos en campo pertenecientes a la Estación Geomecánica Nº1. Entre las propiedades evaluadas se incluye la resistencia a compresión simple (MPa), determinada mediante esclerómetro y ensayos de compresión uniaxial. Para ambos casos, se realizó la correspondiente valoración RMR. Las siguientes tablas presentan un resumen de las características de las discontinuidades y la puntuación obtenida para cada ensayo.

4.2 Estación Geomecánica N°2

La estación Geomecánica N°2 en la ubicada al Sur del sector Chocco, litológicamente está constituida por secuencias sedimentarias detríticas de coloración Rojizas, en específico areniscas, pertenecientes a la Formación Kayra. Geomorfológicamente dominan estructuras de pies de monte. Teniendo valores de Resistencia a la compresión Simple de 123.8 MPa, obtenido con el esclerómetro y adaptados usando el ábaco de resistencia de compresión simple, además se determinó la estación como "BUENA", de acuerdo a la clasificación GSI y RMR, ya que se determina que la calidad del Macizo Rocoso es de "68".

Tabla 25: *Coordenadas de la Estación Geomecánica N°2*

DATUM	ZONA	COORDENADAS		COTA (m.s.n.m)
		ESTE	NORTE	
WGS-84	19 S	177953.46	8500066.88	3480

Análisis DIPS de la Estación Geomecánica 2

En la Figura 29, se observa las trazas de los sistemas principales de discontinuidades (familias principales), en el cuadro superior derecho se tiene la lista de orientación de la estratificación y familia de juntas (Dip y Dip Direction). En la Figura 30 se observa que la densidad más alta corresponde a la orientación principal, para la estación 2 es el estrato E1 con una dirección NW - SE.

Figura 29:*Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 2: Familia de discontinuidades*

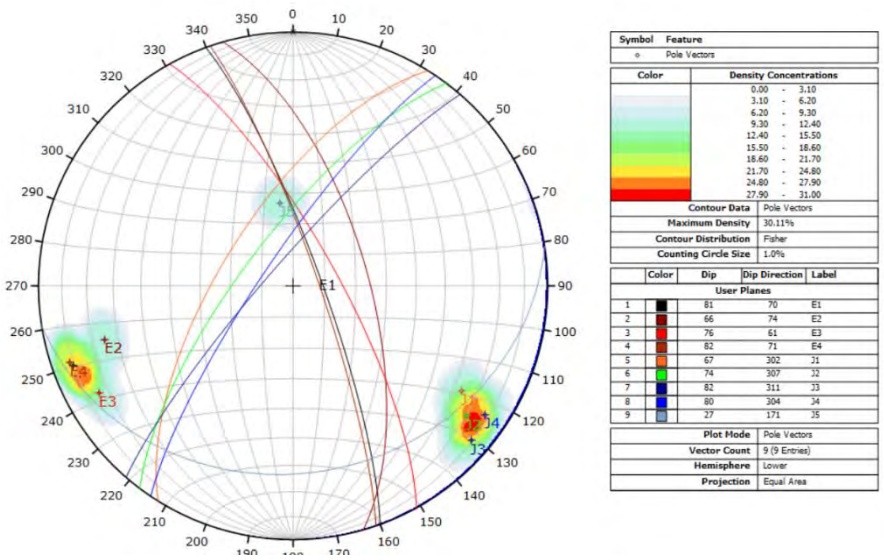
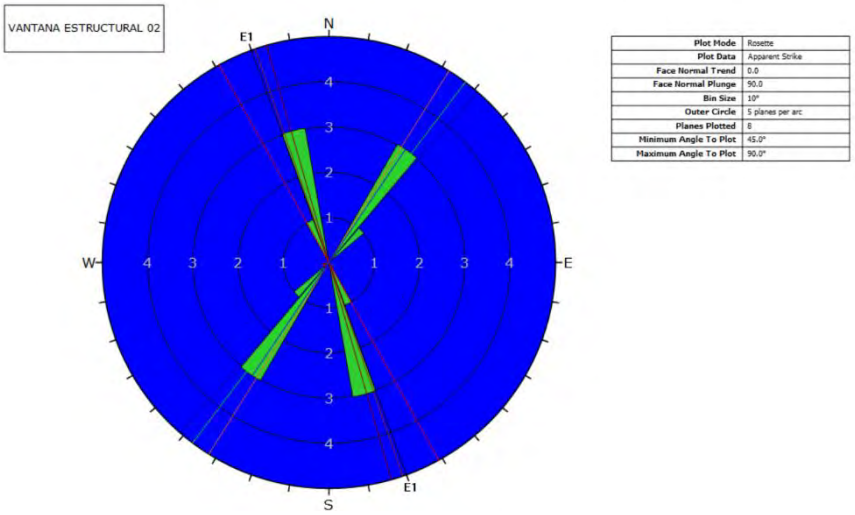


Figura 30: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 2: Roseta estructural*



Cuadro 2. *Cuadro de registro Geomecánico de la Matriz Rocosa de la estación N°2.*

HOJA DE DESCRIPCIÓN DEL MACIZO ROCOSO

INFORMACION GENERAL

PROYECTO: INVESTIGACIÓN TESIS	**ESTACIÓN / PERFORACIÓN No.: 2**					**EJECUTADO:**		**RQD =** 84%
	UBICACÓN:	**E**	177953.46	**CLIMA: SECO**		**REVISADO:**		**RMR =**
LOCALIZACIÓN: CHOCCO, SANTIAGO, CUSCO		**N**	8500066.88	**No. de hojas suplementarias de datos de las discontinuidades:**	**1**	**FECHA:**		**SMR =**
TIPO DE LOCALIDAD: Asentamiento Humano		**COTA**	3480			**HORA:**		**GSI =**

INFORMACIÓN DEL MATERIAL ROCOSO

LITOLOGÍA	**TIPO DE ROCA: Sedimentaria / Arenisca**			**COLOR Y TEXTURA: Rojo / Detritico**							**FORMACIÓN Y EDAD: Fm Kayra / Paleoceno-Eoceno inferior**						
	POTENCIA:			**GEOFORMA: Piedemonte**													
RESISTENCIA	**INDICE DE CAMPO**	Extremadamente Blanda (Uña) 0	Muy blanda (Navaja) 1	Blanda (Punta martillo) 2			Media (1 Golpe martillo) 3			Dura (+ 1 Golpe martillo) 4			Muy dura (Varios golpes) 5		Extremadamente dura (Solo raya con martillo) 6		
	RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO:			56	52	54	58	54	50	60	59	56	64	63	58	54	58	52

INFORMACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

FRACTURACIÓN	**BLOQUES**	Muy grandes	Grandes	Medios	Pequeños	Muy pequeños	Muy brechificado
	Jv diaclasas/m³	< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 30	>30	>60
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Sana	II Algo meteorizada	III Medianamente meteorizada	IV Muy meteorizada	V Completamente meteorizada / Descompuesta		VI Suelo residual
HIDROGEOLOGÍA	Sin presencia de agua	Seco, con señal de agua	Húmedo	Goteo	Flujo		CAUDAL ESTIMADO:
No. DE SETS DE DISCONTINUIDADES MAYORES		λ =(frecuencia de discontinuidades)/1		OBSERVACIONES			

Clasificación Geomecánica – Geological Strength Index (GSI)

La estación N°2 cuenta con bloques medios, con un promedio de diaclasas por metro cubico entre 3 y 10, se encuentra medianamente meteorizada, seco y con una ligera señal de agua, lo que nos estimó un valor de GSI equivalente a 55.

Figura 31: *Ploteo de datos obtenidos en campo para cálculo del GSI en la estación Geomecánica N°2.*

Clasificación RQD

Se calculó un RQD de la estación Geomecánica N°2 utilizando la formula descrita por Palstrom (1982), la cual utiliza el número de fisuras por metro lineal, teniendo un valor para a la estación N°2 de 85%, lo que nos indica que es de calidad buena, debido a que presenta un grado de fracturamiento bajo, sin embargo, es necesario aplicar una metodología más robusta como RMR.

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

Donde:

$$\lambda = \frac{N° \ de \ fisuras}{Espaciamiento}$$

Cálculo del RQD para la Estación N°1

- Calculamos λ:

N° de fisuras = 10

Espaciamiento = 1.5m

$$\lambda = \frac{10}{1.5} = 6.7$$

- Calculamos el RQD

$$RQD = 100e^{-0.1x6.7}(0.1x6.7 + 1)$$

$$RQD = 85\%$$

Análisis Rocdata

El análisis desarrollado en el Software Rocdata es utilizado para determinar los esfuerzos y los parámetros, está en base a las teorías de Mohr Coulomb y Hoek y Brown, La figura 32 muestra las gráficas de esfuerzos para ambas teorías. Se utilizaron los resultados del ensayo a la compresión uniaxial, para esta ventana, la resistencia a la compresión es de 123.8 Mpa; se observan en los gráficos los esfuerzos principales mayores y menores, así como los esfuerzos normales y cortantes en las Areniscas de la Formación Kayra de la Estación N°2, resume los datos obtenidos con el Software).

Estos datos fueron contrastados con los obtenidos en ensayos específicos como carga puntual y compresión simples.

Figura 32: *Análisis de Esfuerzos Rocdata utilizando la clasificación de Morh – Coulomb y el criterio de Hoek y Brown en la estación N°2.*

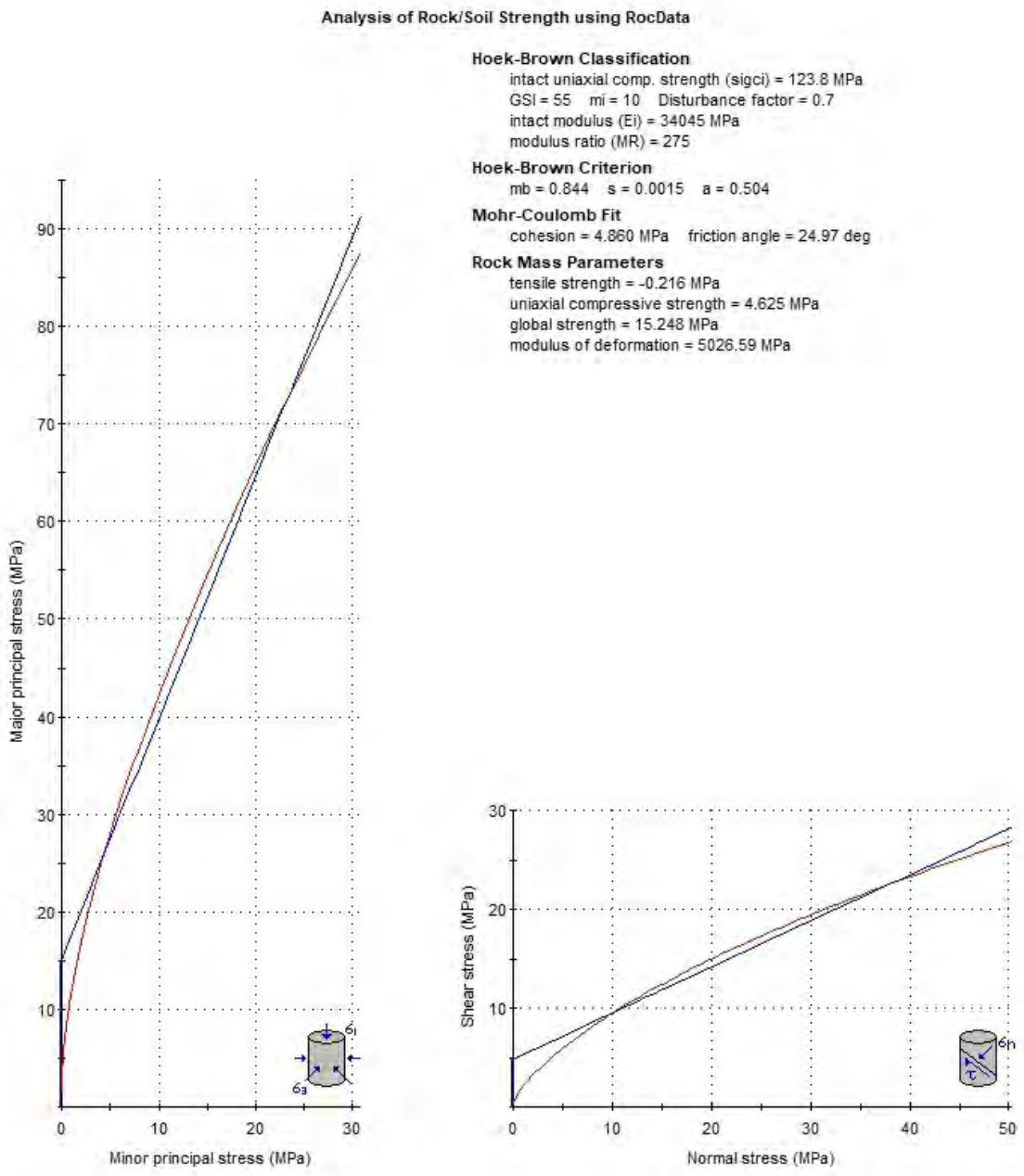


Tabla 26: *Resumen de los valores obtenidos en el Software Rocdata aplicando los valores de la estación Geomecánica N°2.*

Clasificación Hoek-Brown		Criterio Hoek-Brown		Mohr-Coulomb Fit	
Resistencia a la compresión de la Roca Intacta –sigci (MPa)	123.8 MPa	mb	0.844	Cohesión - c	4.860 MPa
		s	0.0015	Angulo de Fricción - phi	24.97
		a	0.504		
GSI	55	Rock Mass Parameters			
mi	10	Resistencia a la Tracción – sigt (MPa)		-0.216 MPa	
Factor de Disturbancia - D	0.7	Resistencia a la compresión Uniaxial – sigc (MPa)		4.625MPa	
Modulo intacto - Ei	34045	Resistencia Global – sigcm (MPa)		15.248MPa	
MR	275	Módulo de Deformación – Em (MPa)		5026.59 MPa	

Clasificación RMR

Para la clasificación RMR 89 de Bieniawski, se consideraron los resultados medidos en campo pertenecientes a la Estación Geomecánica Nº2. Entre las propiedades evaluadas se incluye la resistencia a compresión simple (MPa), determinada mediante esclerómetro y ensayos de compresión uniaxial. Para ambos casos, se realizó la correspondiente valoración RMR. Las siguientes tablas presentan un resumen de las características de las discontinuidades y la puntuación obtenida para cada ensayo.

4.3 Estación Geomecánica N°3

La estación Geomecánica N°3 en la ubicada al Sur del sector Chocco, litológicamente está constituida por secuencias sedimentarias detríticas de coloración Rojizas, en específico areniscas, pertenecientes a la Formación Kayra. Geomorfológicamente dominan estructuras de pies de monte. Teniendo valores de Resistencia a la compresión Simple de 110.60 MPa, obtenido con el esclerómetro y adaptados usando el ábaco de resistencia a compresión simple, además se determinó la estación como "BUENA", de acuerdo a la clasificación GSI y RMR, ya que se determina que la calidad del Macizo Rocoso es de 63.

Tabla 27: *Coordenadas de la Estación Geomecánica N°3.*

DATUM	ZONA	COORDENADAS		COTA (m.s.n.m)
		ESTE	NORTE	
WGS-84	19 S	177910.74	8500117.07	3469

Análisis DIPS de la Estación Geomecánica 3

En la Figura 33, se observa las trazas de los sistemas principales de discontinuidades (familias principales), en el cuadro superior derecho se tiene la lista de orientación de la estratificación y familia de juntas (Dip y Dip Direction). En la Figura 34 se observa que la densidad más alta corresponde a la orientación principal, en esta estación se presenta en el estrato E7 el cual presenta una orientación NW-SE.

Figura 33: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 3: Familia de discontinuidades.*

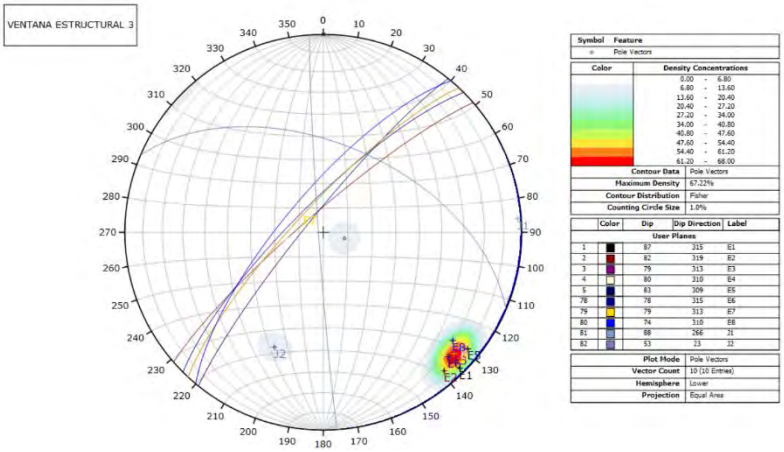
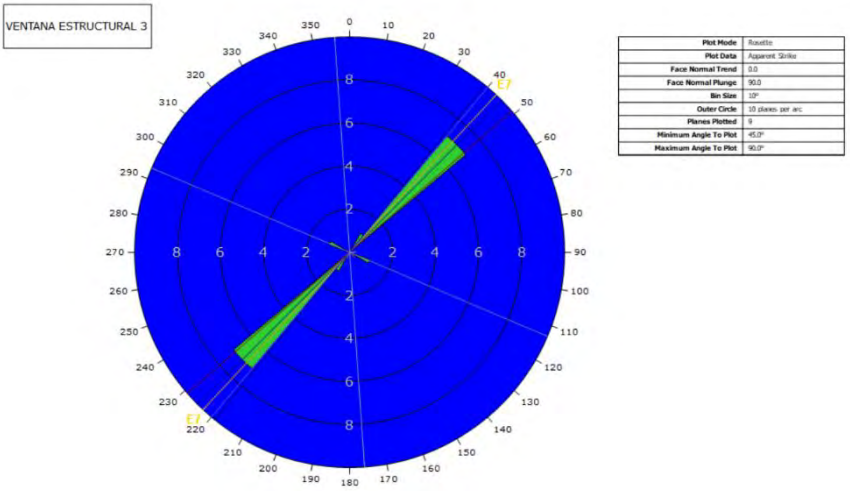


Figura 34: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 3: Roseta estructural.*



***Cuadro* 3.** *Cuadro de registro Geomecánico de la Matriz Rocosa de la estación N°3.*

HOJA DE DESCRIPCIÓN DEL MACIZO ROCOSO

INFORMACION GENERAL

PROYECTO: INVESTIGACIÓN TESIS	**ESTACIÓN / PERFORACIÓN No.: 3**					**EJECUTADO:**		**RQD =** 84%
	UBICACIÓN:	**E**	177910.74	**CLIMA: SECO**		**REVISADO:**		**RMR =**
LOCALIZACIÓN: CHOCCO, SANTIAGO, CUSCO		**N**	8500117.07	**No. de hojas suplementarias de datos de las discontinuidades:**	**1**	**FECHA:**		**SMR =**
TIPO DE LOCALIDAD: Asentamiento Humano		**COTA**	3469			**HORA:**		**GSI =**

INFORMACIÓN DEL MATERIAL ROCOSO

LITOLOGÍA	**TIPO DE ROCA: Sedimentaria / Arenisca**				**COLOR Y TEXTURA: Rojo / Detritico**						**FORMACIÓN Y EDAD: Fm Kayra / Paleoceno-Eoceno inferior**						
	POTENCIA:				**GEOFORMA: Piedemonte**												
RESISTENCIA	**INDICE DE CAMPO**	Extremadamente Blanda (Uña)	Muy blanda (Navaja)		Blanda (Punta martillo)			Media (1 Golpe martillo)			Dura (+ 1 Golpe martillo)			Muy dura (Varios golpes)		Extremadamente dura (Solo raya con martillo)	
		0	1		2			3			4			5		6	
	RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO:			56	52	54	58	54	50	60	59	56	64	63	58	54	58	52

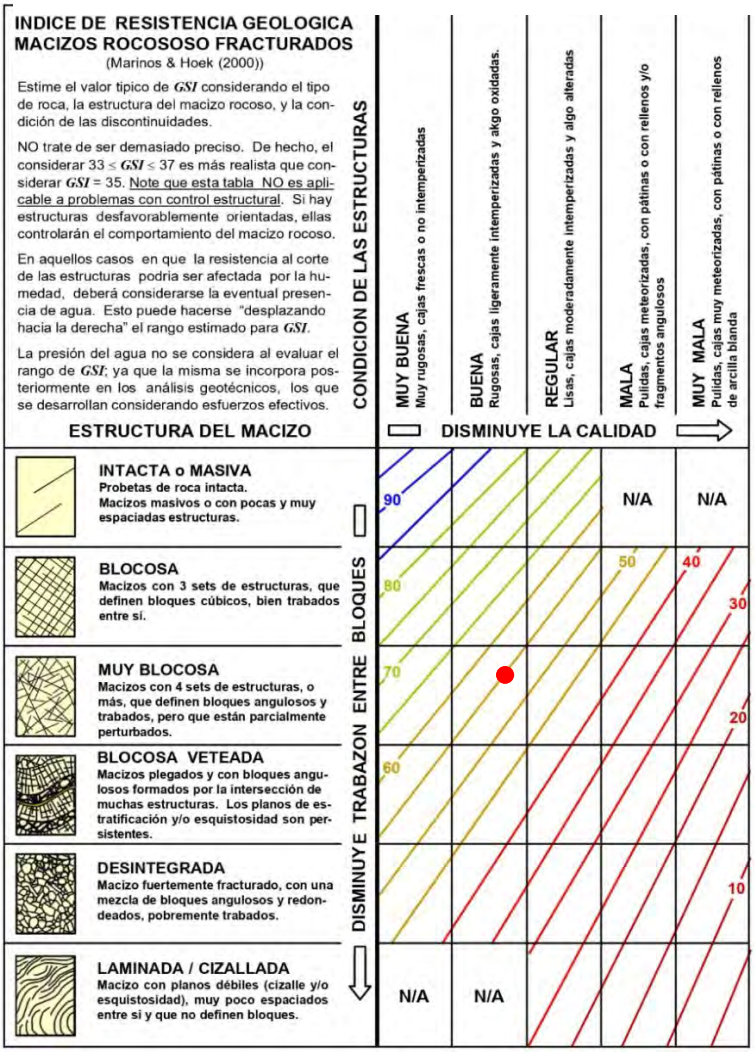
INFORMACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

FRACTURACIÓN	**BLOQUES**	Muy grandes	Grandes	Medios	Pequeños		Muy pequeños	Muy brechificado
	Jv diaclasas/m³	< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 30		>30	>60
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Sana	II Algo meteorizada	III Medianamente meteorizada	IV Muy meteorizada	V Completamente meteorizada / Descompuesta			VI Suelo residual
HIDROGEOLOGÍA	Sin presencia de agua	Seco, con señal de agua	Húmedo	Goteo	Flujo			CAUDAL ESTIMADO:
No. DE SETS DE DISCONTINUIDADES MAYORES		λ =(frecuencia de discontinuidades)/1		OBSERVACIONES				

Clasificación Geomecánica – Geological Strength Index (GSI)

La estación Geomecánica N°3 cuenta con bloques medios, con un promedio de diaclasas por metro cubico entre 3 y 10, se encuentra medianamente meteorizada, seco y con una ligera señal de agua, lo que nos estimó un valor de GSI equivalente a 55.

Figura 35:*Ploteo de datos obtenidos en campo para cálculo del GSI en la estación N°3.*



Clasificación RQD

Se calculó un RQD de la estación N°3 utilizando la formula descrita por Palstrom (1982), la cual utiliza el número de fisuras por metro lineal, teniendo un valor para a la estación N°3 de 75.9%, lo que nos indica que es de calidad buena, debido a que presenta un grado de fracturamiento intermedio a bajo con 15 discontinuidades en 1.6 metros, sin embargo, es necesario aplicar una metodología más robusta como RMR.

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

Donde:

$$\lambda = \frac{N° \ de \ fisuras}{Espaciamiento}$$

Cálculo del RQD para la Estación N°1

- Calculamos λ:

N° de fisuras = 15

Espaciamiento = 1.6m

$$\lambda = \frac{15}{1.6} = 9.375$$

- Calculamos el RQD

$$RQD = 100e^{-0.1x9.4}(0.1x9.4 + 1)$$

$$RQD = 75.9\%$$

Análisis Rocdata

El análisis desarrollado en el Software Rocdata es utilizado para determinar los esfuerzos y los parámetros, está en base a las teorías de Mohr Coulomb y Hoek y Brown, La figura 36 muestra las gráficas de esfuerzos para ambas teorías. Se utilizaron los resultados del ensayo a la compresión uniaxial, para esta ventana, la resistencia a la compresión es de 110.6 Mpa; se observan en los gráficos los esfuerzos principales mayores y menores, así como los esfuerzos normales y cortantes en las Areniscas de la Formación Kayra de la Estación N°3, resume los datos obtenidos con el Software.

Estos datos fueron contrastados con los obtenidos en ensayos específicos como carga puntual y compresión simples.

Figura 36: *Análisis de Esfuerzos Rocdata utilizando la clasificación de Morh – Coulomb y el criterio de Hoek y Brown en la estación N°3.*

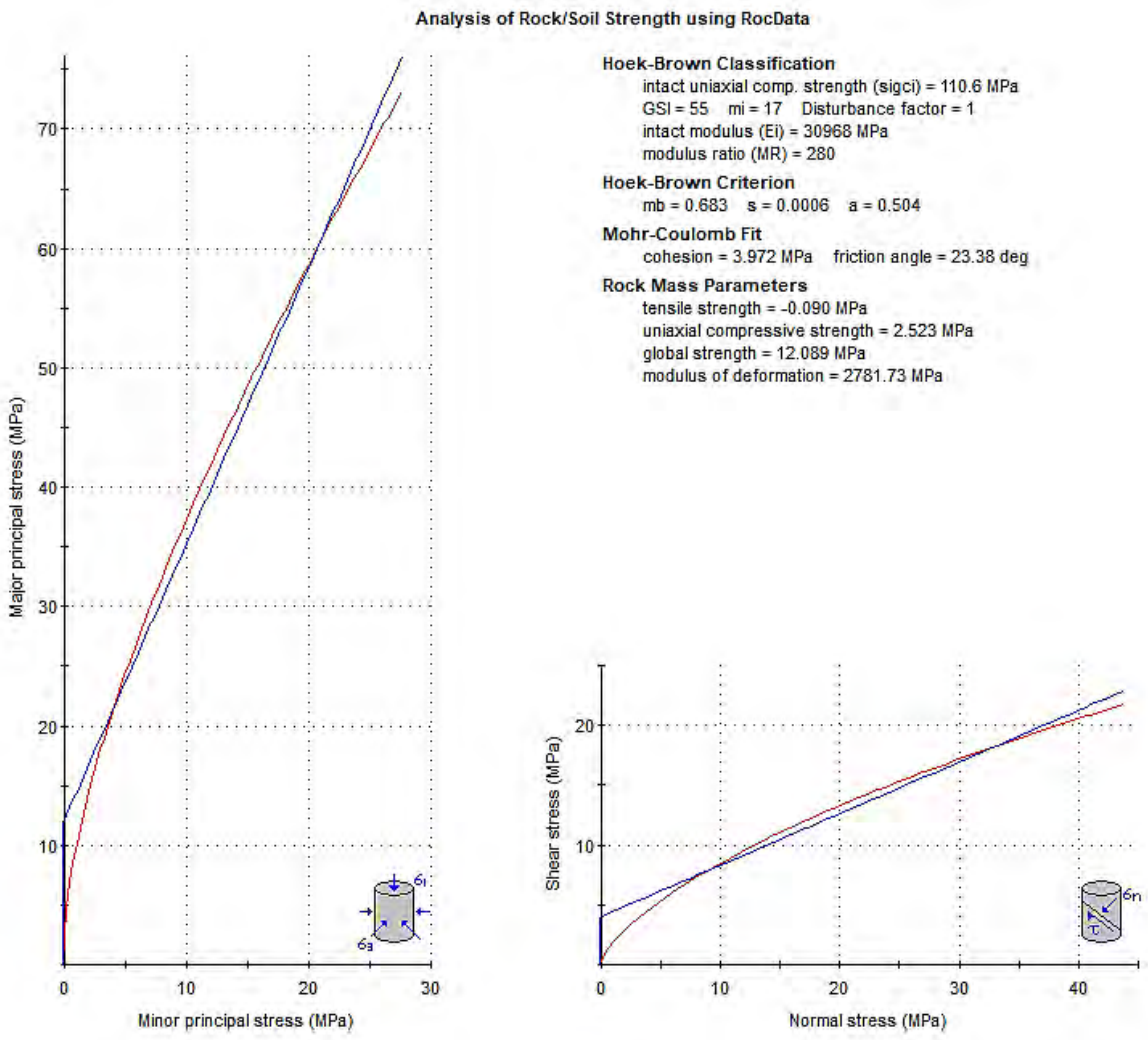


Tabla 28: *Resumen de los valores obtenidos en el Software Rocdata aplicando los valores de la estación N°3.*

Clasificación Hoek-Brown		Criterio Hoek-Brown		Mohr-Coulomb Fit	
Resistencia a la compresión de la Roca Intacta –sigci (MPa)	110.6 MPa	mb	0.683	Cohesión - c	3.97204 MPa
		s	0.001	Angulo de Fricción - phi	23.38
		a	0.504		
GSI	55	Rock Mass Parameters			
mi	17	Resistencia a la Tracción – sigt (MPa)		-0.0895456 MPa	
Factor de Disturbancia - D	1	Resistencia a la compresión Uniaxial – sigc (MPa)		2.52328 MPa	
Modulo intacto - Ei	30968	Resistencia Global – sigcm (MPa)		12.0891 MPa	
MR	280	Módulo de Deformación – Em (MPa)		2781.73 MPa	

Clasificación RMR

Para la clasificación RMR 89 de Bieniawski, se consideraron los resultados medidos en campo pertenecientes a la Estación Geomecánica Nº3. Entre las propiedades evaluadas se incluye la resistencia a compresión simple (MPa), determinada mediante esclerómetro y ensayos de compresión uniaxial. Para ambos casos, se realizó la correspondiente valoración RMR. Las siguientes tablas presentan un resumen de las características de las discontinuidades y la puntuación obtenida para cada ensayo.

4.4 Estación Geomecánica N°4

La estación Geomecánica N°4 en la ubicada en el área central del sector Chocco, litológicamente está constituida por secuencias sedimentarias detríticas de coloración Rojizas, en específico areniscas, pertenecientes a la Formación Kayra. Geomorfológicamente dominan estructuras de pies de monte. Teniendo valores de Resistencia a la compresión Simple de 115.45 MPa, obtenido con el esclerómetro y adaptados usando el ábaco de resistencia de compresión simple, además se determinó la estación como "BUENA", de acuerdo a la clasificación GSI y RMR, ya que se determina que la calidad del Macizo Rocoso es de 64.

Tabla 29: *Coordenadas de la Estación Geomecánica N°4.*

DATUM	ZONA	COORDENADAS		COTA (m.s.n.m)
		ESTE	NORTE	
WGS-84	19 S	177910.74	8500117.07	3469

Análisis DIPS de la Estación Geomecánica 4

En la Figura 37, se observa las trazas de los sistemas principales de discontinuidades (familias principales), en el cuadro superior derecho se tiene la lista de orientación de la estratificación y familia de juntas (Dip y Dip Direction). En la Figura 38 se observa que la densidad más alta corresponde a la orientación principal, en esta estación se presenta en la junta J4 la cual presenta una orientación NE-SW.

Figura 37: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 3: Familia de discontinuidades.*

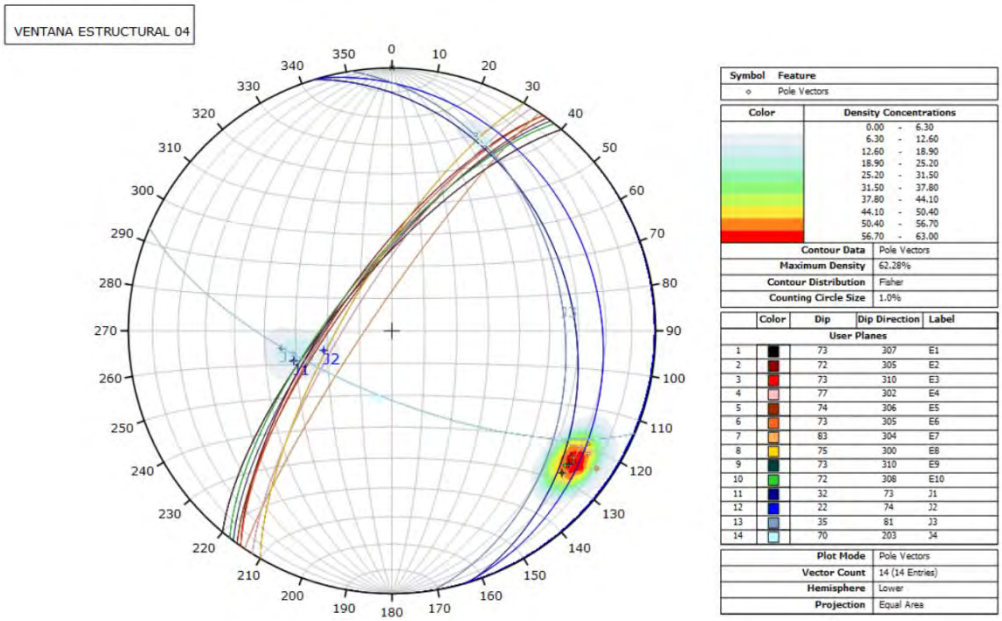
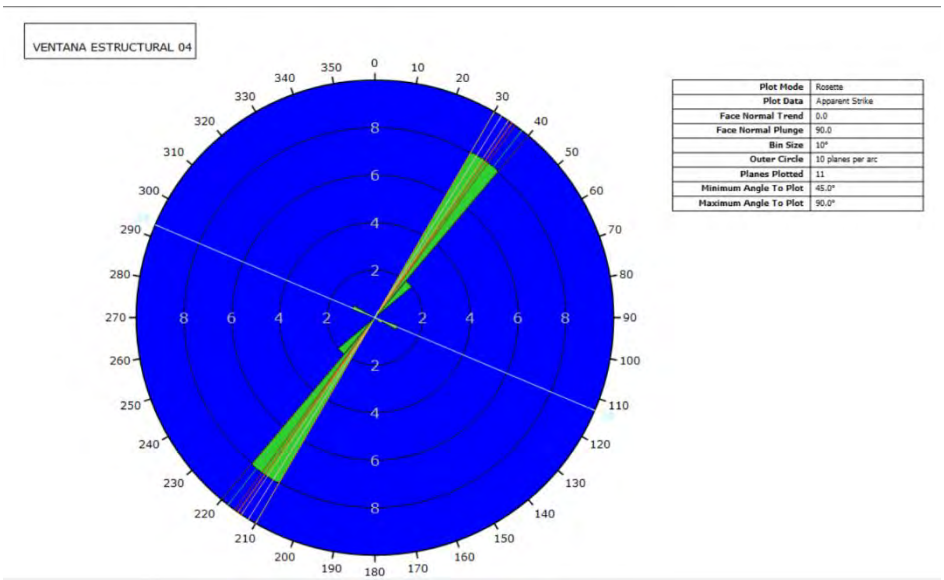


Figura 38: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 3: Roseta estructural*



***Cuadro 4**. Cuadro de registro Geomecánico de la Matriz Rocosa de la estación N°4.*

HOJA DE DESCRIPCIÓN DEL MACIZO ROCOSO

INFORMACION GENERAL

PROYECTO: INVESTIGACIÓN TESIS	**ESTACIÓN / PERFORACIÓN No.: 4**				**EJECUTADO:**		**RQD =** 50%
	UBICACIÓN:	**E**	177842	**CLIMA: SECO**	**REVISADO:**		**RMR =**
LOCALIZACIÓN: CHOCCO, SANTIAGO, CUSCO		**N**	8500216.65	**No. de hojas suplementarias de datos de las discontinuidades:** 1	**FECHA:**		**SMR =**
TIPO DE LOCALIDAD: Asentamiento Humano		**COTA**	3471		**HORA:**		**GSI =**

INFORMACIÓN DEL MATERIAL ROCOSO

LITOLOGÍA	**TIPO DE ROCA: Sedimentaria / Arenisca**	**COLOR Y TEXTURA: Rojo / Detritico**	**FORMACIÓN Y EDAD: Fm Kayra / Paleoceno-Eoceno inferior**	
	POTENCIA:	**GEOFORMA: Piedemonte**		

RESISTENCIA	**INDICE DE CAMPO**	Extremadamente Blanda (Uña)	Muy blanda (Navaja)	Blanda (Punta martillo)			Media (1 Golpe martillo)			Dura (+ 1 Golpe martillo)			Muy dura (Varios golpes)		Extremadamente dura (Solo raya con martillo)		
		0	1	2			3			4			5		6		
	RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO:			56	52	54	58	54	50	60	59	56	64	63	58	54	58	52

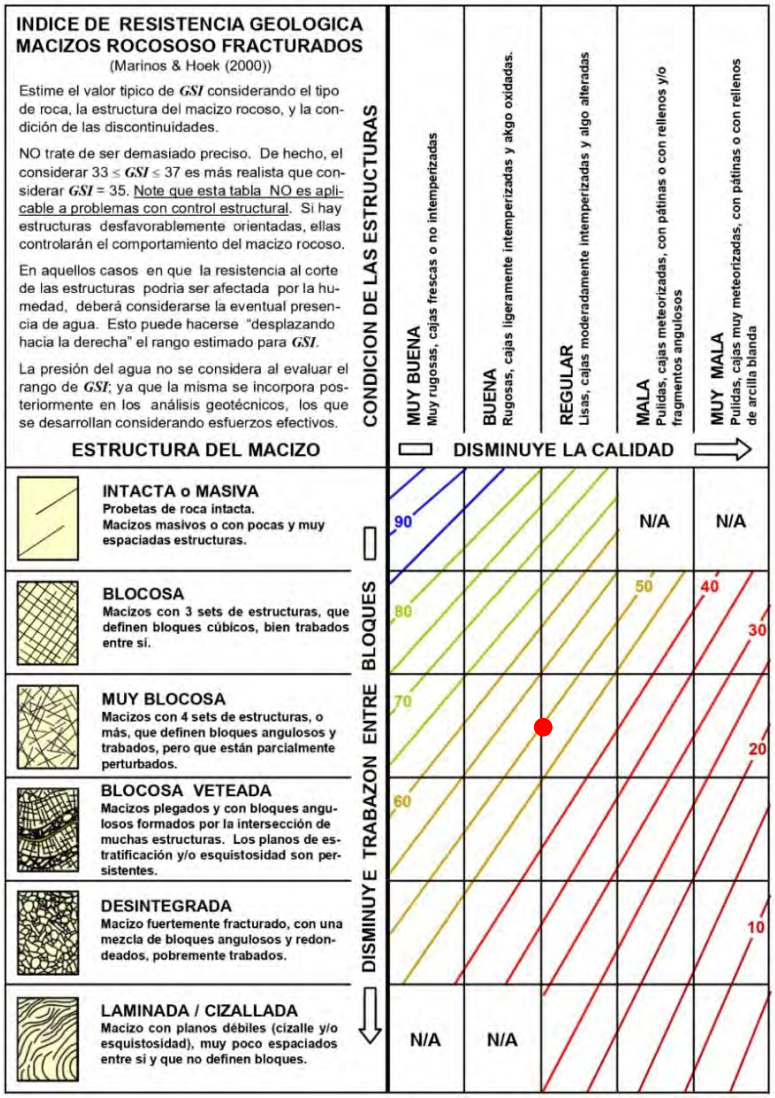
INFORMACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

FRACTURACIÓN	**BLOQUES**	Muy grandes	Grandes	Medios	Pequeños	Muy pequeños	Muy brechificado
	Jv diaclasas/m³	< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 30	>30	>60
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Sana	II Algo meteorizada	III Medianamente meteorizada	IV Muy meteorizada	V Completamente meteorizada / Descompuesta		VI Suelo residual
HIDROGEOLOGÍA	Sin presencia de agua	Seco, con señal de agua	Húmedo	Goteo	Flujo		CAUDAL ESTIMADO:
No. DE SETS DE DISCONTINUIDADES MAYORES		λ =(frecuencia de discontinuidades)/1		OBSERVACIONES			

Clasificación Geomecánica – Geological Strength Index (GSI)

La estación N°4 cuenta con bloques medios, con un promedio de diaclasas por metro cubico entre 3 y 10, se encuentra medianamente meteorizada, seco y con una ligera señal de agua, lo que nos estimó un valor de GSI equivalente a 50.

Figura 39: *Ploteo de datos obtenidos en campo para cálculo del GSI en la estación N°4*



Clasificación RQD

Se calculó un RQD de la estación N°4 utilizando la formula descrita por Palstrom (1982), la cual utiliza el número de fisuras por metro lineal, teniendo un valor para a la estación Geomecánica N°4 de 87.8%, lo que nos indica que es de calidad buena, debido a que presenta un grado de fracturamiento bajo con 9 discontinuidades en 1.5 metros, sin embargo, es necesario aplicar una metodología más robusta como RMR.

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

Donde:

$$\lambda = \frac{N° \ de \ fisuras}{Espaciamiento}$$

Cálculo del RQD para la Estación N°4

- Calculamos λ:

N° de fisuras = 9

Espaciamiento = 1.5m

$$\lambda = \frac{9}{1.5} = 6$$

- Calculamos el RQD

$$RQD = 100e^{-0.1x6}(0.1x6 + 1)$$

$$RQD = 87.8\%$$

Análisis Rocdata

El análisis desarrollado en el Software Rocdata es utilizado para determinar los esfuerzos y los parámetros, está en base a las teorías de Mohr Coulomb y Hoek y Brown, La figura 40 muestra las gráficas de esfuerzos para ambas teorías. Se utilizaron los resultados del ensayo a la compresión uniaxial, para esta ventana, la resistencia a la compresión es de 115.45 Mpa; se observan en los gráficos los esfuerzos principales mayores y menores, así como los esfuerzos normales y cortantes en las Areniscas de la Formación Kayra de la Estación N°4, resume los datos obtenidos con el Software).

Estos datos fueron contrastados con los obtenidos en ensayos específicos como carga puntual y compresión simples.

Figura 40: *Análisis de Esfuerzos Rocdata utilizando la clasificación de Morh – Coulomb y el criterio de Hoek y Brown en la estación N°4.*

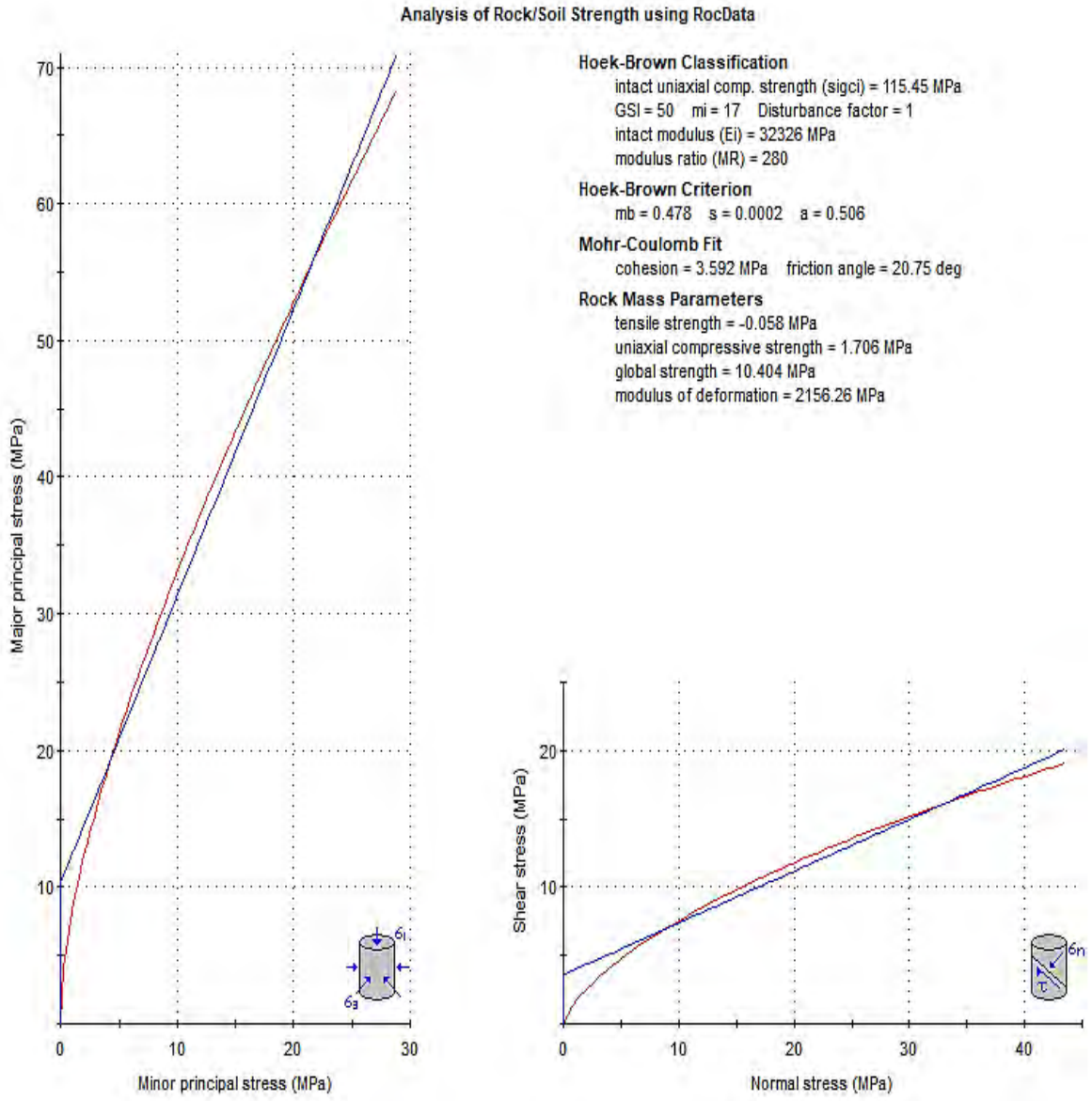


Tabla 30: *Resumen de los valores obtenidos en el Software Rocdata aplicando los valores de la estación N°4.*

Clasificación Hoek-Brown		Criterio Hoek-Brown		Mohr-Coulomb Fit	
Resistencia a la compresión de la Roca Intacta –sigci (MPa)	115.45 MPa	mb	0.478	Cohesión - c	3.59179 MPa
		s	0.000	Angulo de Fricción - phi	20.75
		a	0.506		
GSI	50	Rock Mass Parameters			
mi	17	Resistencia a la Tracción – sigt (MPa)		-0.0580599 MPa	
Factor de Disturbancia - D	1	Resistencia a la compresión Uniaxial – sigc (MPa)		1.70641 MPa	
Modulo intacto - Ei	32326	Resistencia Global – sigcm (MPa)		10.4038 MPa	
MR	280	Módulo de Deformación – Em (MPa)		2156.26 MPa	

Clasificación RMR

Para la clasificación RMR 89 de Bieniawski, se consideraron los resultados medidos en campo pertenecientes a la Estación Geomecánica Nº4. Entre las propiedades evaluadas se incluye la resistencia a compresión simple (MPa), determinada mediante esclerómetro y ensayos de compresión uniaxial. Para ambos casos, se realizó la correspondiente valoración RMR. Las siguientes tablas presentan un resumen de las características de las discontinuidades y la puntuación obtenida para cada ensayo.

4.5 Estación Geomecánica N°5

La estación Geomecánica N°5 en la ubicada al Sur del sector Chocco (Ver tabla 31), litológicamente está constituida por secuencias sedimentarias detríticas de coloración Rojizas, en específico areniscas, pertenecientes a la Formación Kayra. Geomorfológicamente dominan estructuras de pies de monte. Teniendo valores de Resistencia a la compresión Simple de 95 MPa, obtenido con el esclerómetro y adaptados usando el ábaco de resistencia a la compresión simple, además se determinó la estación como "REGULAR", de acuerdo a la clasificación GSI y RMR, ya que se determina que la calidad del Macizo Rocoso es de "61".

Tabla 31: *Coordenadas de la Estación Geomecánica N°5.*

DATUM	ZONA	COORDENADAS		COTA (m.s.n.m)
		ESTE	NORTE	
WGS-84	19 S	177839.84	8500226.73	3475

Análisis DIPS de la Estación Geomecánica 5

En la Figura 41, se observa las trazas de los sistemas principales de discontinuidades (familias principales), en el cuadro superior derecho se tiene la lista de orientación de la estratificación y familia de juntas (Dip y Dip Direction). En la Figura 42 se observa que la densidad más alta corresponde a la orientación principal, en esta estación se presenta en el estrato E8 el cual presenta una orientación NE-SW.

Figura 41: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 5: Familia de discontinuidades*

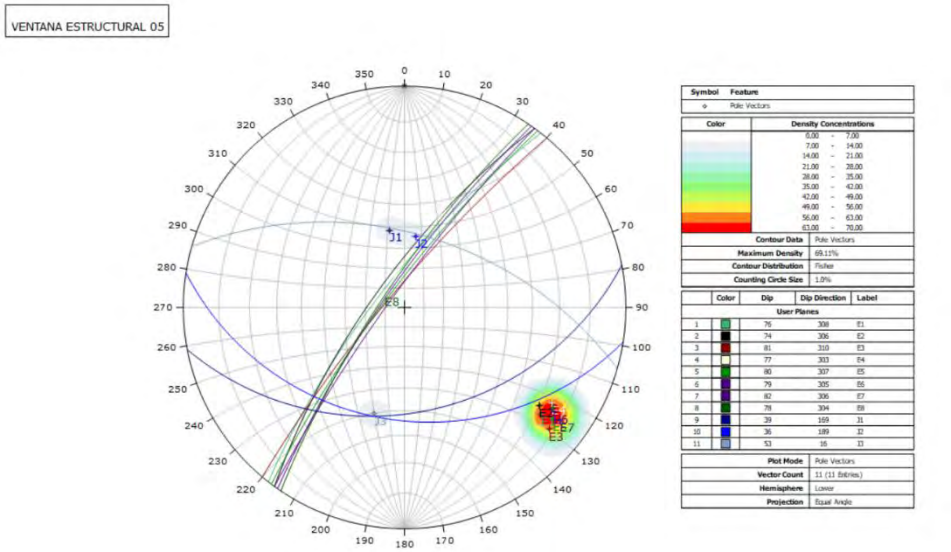
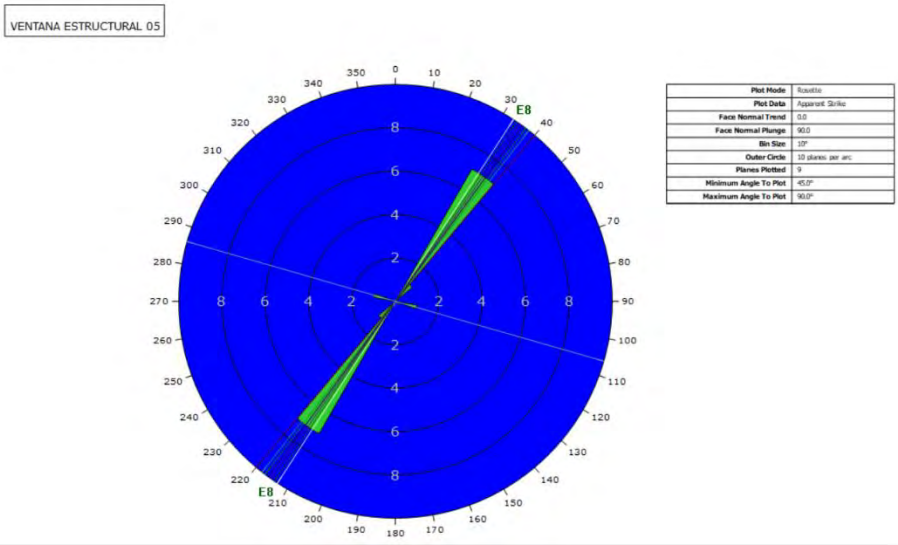


Figura 42: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 5: Roseta estructural*



Cuadro 5. *Cuadro de registro Geomecánico de la Matriz Rocosa de la estación N°5.*

HOJA DE DESCRIPCIÓN DEL MACIZO ROCOSO

INFORMACION GENERAL

PROYECTO: INVESTIGACIÓN TESIS	ESTACIÓN / PERFORACIÓN No.: 5					EJECUTADO:		RQD = 65%
	UBICACIÓN:	E	177839.84	CLIMA: SECO		REVISADO:		RMR =
LOCALIZACIÓN: CHOCCO, SANTIAGO, CUSCO		N	8500226.73	No. de hojas suplementarias de datos de las discontinuidades:	1	FECHA:		SMR =
TIPO DE LOCALIDAD: Asentamiento Humano		COTA	3475			HORA:		GSI =

INFORMACIÓN DEL MATERIAL ROCOSO

LITOLOGÍA	TIPO DE ROCA: Sedimentaria / Arenisca			COLOR Y TEXTURA: Rojo / Detrítico						FORMACIÓN Y EDAD: Fm Kayra / Paleoceno-Eoceno inferior							
	POTENCIA:			GEOFORMA: Piedemonte													
RESISTENCIA	INDICE DE CAMPO	Extremadamente Blanda (Uña)	Muy blanda (Navaja)	Blanda (Punta martillo)		Media (1 Golpe martillo)			Dura (+ 1 Golpe martillo)			Muy dura (Varios golpes)		Extremadamente dura (Solo raya con martillo)			
		0	1	2		3			4			5		6			
	RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO:			56	52	54	58	54	50	60	59	56	64	63	58	54	58	52

INFORMACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

FRACTURACIÓN	BLOQUES	Muy grandes	Grandes	Medios	Pequeños		Muy pequeños	Muy brechificado
	Jv diaclasas/m³	< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 30		>30	>60
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Sana	II Algo meteorizada	III Medianamente meteorizada	IV Muy meteorizada	V Completamente meteorizada / Descompuesta			VI Suelo residual
HIDROGEOLOGÍA	Sin presencia de agua	Seco, con señal de agua	Húmedo	Goteo	Flujo			CAUDAL ESTIMADO:
No. DE SETS DE DISCONTINUIDADES MAYORES		λ =(frecuencia de discontinuidades)/1		OBSERVACIONES				

FOTO

Clasificación Geomecánica – Geological Strength Index (GSI)

La estación Geomecánica N°5 cuenta con bloques medios, con un promedio de diaclasas por metro cubico entre 3 y 10, se encuentra ligeramente meteorizada, seco y con una ligera señal de agua, lo que nos estimó un valor de GSI equivalente a 62.

Figura 43: *Ploteo de datos obtenidos en campo para cálculo del GSI en la estación N°5*

Clasificación RQD

Se calculó un RQD de la estación N°5 utilizando la formula descrita por Palstrom (1982), la cual utiliza el número de fisuras por metro lineal, teniendo un valor para a la estación N°5 de 87.8%, lo que nos indica que es de calidad buena, debido a que presenta un grado de fracturamiento bajo con 2 discontinuidades en 2 metros, sin embargo, es necesario aplicar una metodología más robusta como RMR.

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

Donde:

$$\lambda = \frac{N° \ de \ fisuras}{Espaciamiento}$$

Cálculo del RQD para la Estación N°5

- Calculamos λ:

N° de fisuras = 12

Espaciamiento = 2m

$$\lambda = \frac{12}{2} = 6$$

- Calculamos el RQD

$$RQD = 100e^{-0.1x6}(0.1x6 + 1)$$

$$RQD = 87.8\%$$

Análisis Rocdata

El análisis desarrollado en el Software Rocdata es utilizado para determinar los esfuerzos y los parámetros, está en base a las teorías de Mohr Coulomb y Hoek y Brown, La figura 44 muestra las gráficas de esfuerzos para ambas teorías. Se utilizaron los resultados del ensayo a la compresión uniaxial, para esta ventana, la resistencia a la compresión es de 118.25 Mpa; se observan en los gráficos los esfuerzos principales mayores y menores, así como los esfuerzos normales y cortantes (en las areniscas de la Formación Kayra de la Estación N°5, resume los datos obtenidos con el Software).

Estos datos fueron contrastados con los obtenidos en ensayos específicos como carga puntual y compresión simples.

.

Figura 44: *Análisis de Esfuerzos Rocdata utilizando la clasificación de Morh – Coulomb y el criterio de Hoek y Brown en la estación N°5.*

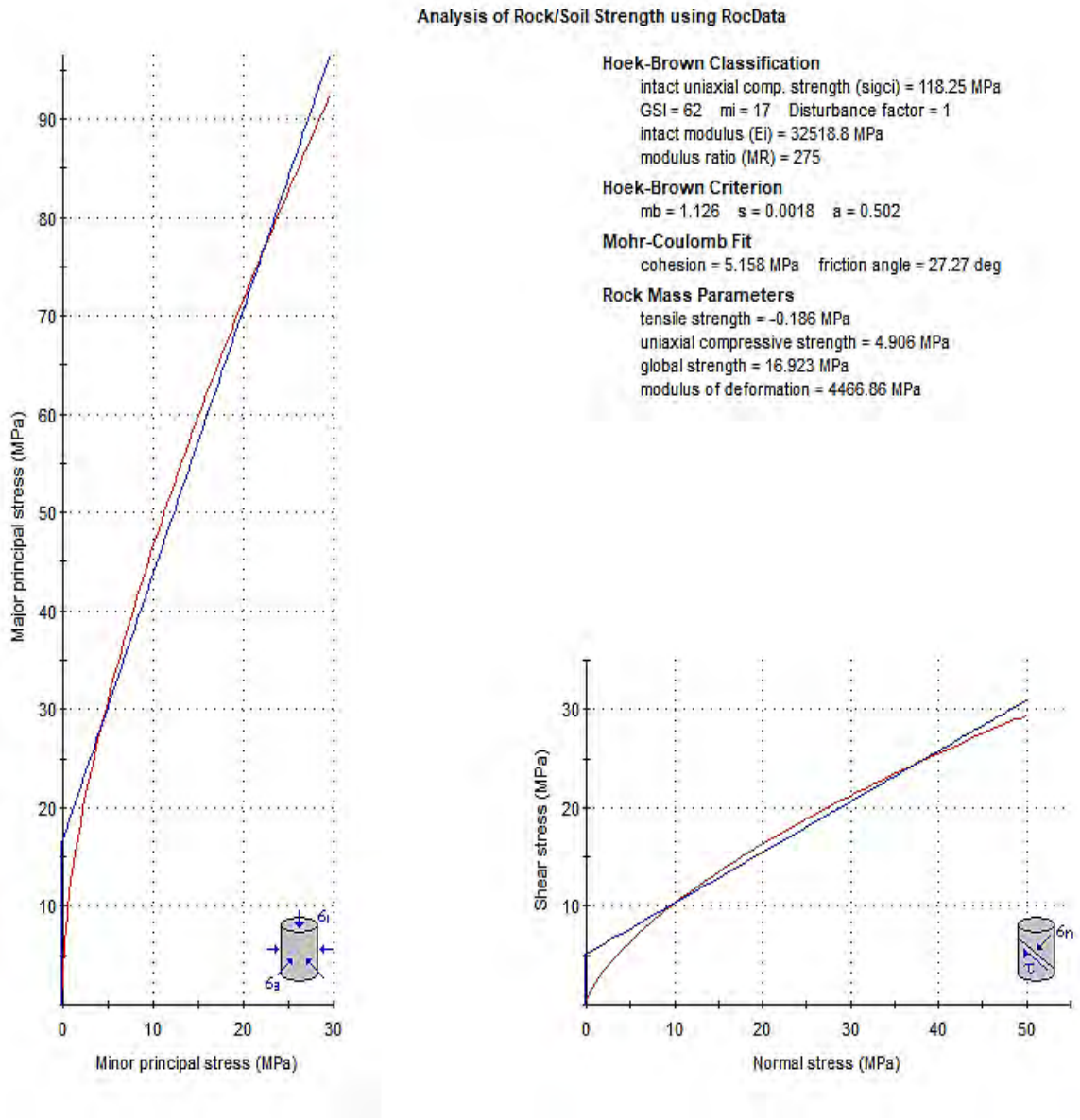


Tabla 32: *Resumen de los valores obtenidos en el Software Rocdata aplicando los valores de la estación N°5.*

Clasificación Hoek-Brown		Criterio Hoek-Brown		Mohr-Coulomb Fit	
Resistencia a la compresión de la Roca Intacta –sigci (MPa)	118.25 MPa	mb	1.126	Cohesión - c	5.15776 MPa
		s	0.002	Angulo de Fricción - phi	27.27
		a	0.502		
GSI	62	Rock Mass Parameters			
mi	17	Resistencia a la Tracción – sigt (MPa)		-0.186475 MPa	
Factor de Disturbancia - D	1	Resistencia a la compresión Uniaxial – sigc (MPa)		4.90649 MPa	
Modulo intacto - Ei	32518.8	Resistencia Global – sigcm (MPa)		16.9228 MPa	
MR	275	Módulo de Deformación – Em (MPa)		4466.86 MPa	

Clasificación RMR

Para la clasificación RMR 89 de Bieniawski, se consideraron los resultados medidos en campo pertenecientes a la Estación Geomecánica Nº5. Entre las propiedades evaluadas se incluye la resistencia a compresión simple (MPa), determinada mediante esclerómetro y ensayos de compresión uniaxial. Para ambos casos, se realizó la correspondiente valoración RMR. Las siguientes tablas presentan un resumen de las características de las discontinuidades y la puntuación obtenida para cada ensayo.

4.6 Estación Geomecánica N°6

La estación Geomecánica N°6 en la ubicada el sector Sur del sector Chocco, litológicamente está constituida por secuencias sedimentarias detríticas de coloración Rojizas, en específico areniscas, pertenecientes a la Formación Kayra. Geomorfológicamente dominan estructuras de pies de monte. Teniendo valores de Resistencia a la compresión Simple de 115.22 MPa, obtenido con el esclerómetro y adaptados usando el ábaco, además se determinó la estación como "REGULAR", de acuerdo a la clasificación GSI y RMR, ya que se determina que la calidad del Macizo Rocoso es de 64.

Tabla 33: Coordenadas de la Estación Geomecánica N°6.

DATUM	ZONA	COORDENADAS		COTA (m.s.n.m)
		ESTE	NORTE	
WGS-84	19 S	177786	8500300	3478

Análisis DIPS de la Estación Geomecánica 6

En la Figura 45, se observa las trazas de los sistemas principales de discontinuidades (familias principales), en el cuadro superior derecho se tiene la lista de orientación de la estratificación y familia de juntas (Dip y Dip Direction). En la Figura 46 se observa que la densidad más alta corresponde a la orientación principal, en esta estación se presenta en el estrato E10 la cual presenta una orientación NW-SE.

Figura 45: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 6: Familia de discontinuidades.*

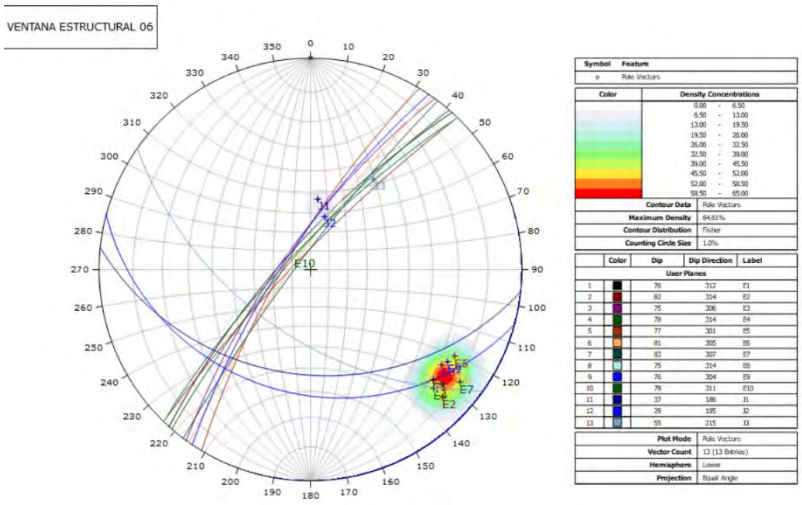
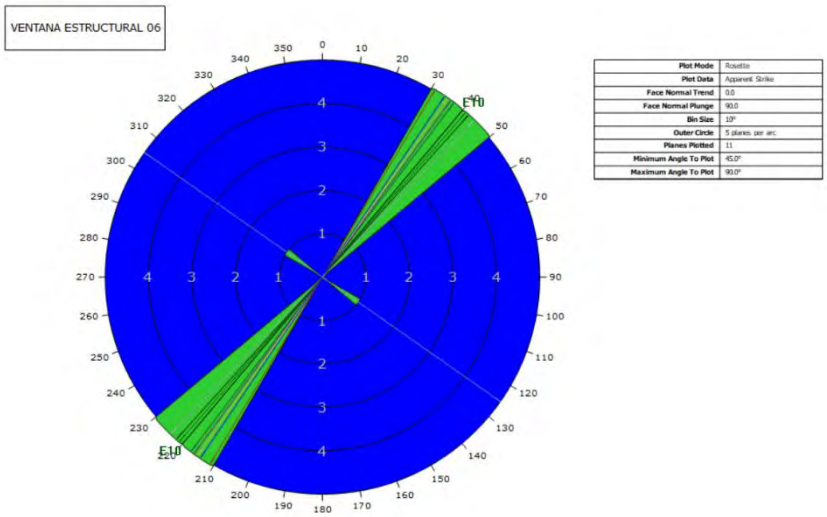


Figura 46: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 6: Roseta estructural.*



Cuadro 6. *Cuadro de registro Geomecánico de la Matriz Rocosa de la estación N°6.*

HOJA DE DESCRIPCIÓN DEL MACIZO ROCOSO

INFORMACION GENERAL

PROYECTO: INVESTIGACIÓN TESIS	**ESTACIÓN / PERFORACIÓN No.: 6**					**EJECUTADO:**		**RQD =** 47%
	UBICACIÓN:	**E**	177786	**CLIMA: SECO**		**REVISADO:**		**RMR =**
LOCALIZACIÓN: CHOCCO, SANTIAGO, CUSCO		**N**	8500300	**No. de hojas suplementarias de datos de las discontinuidades:**	**1**	**FECHA:**		**SMR =**
TIPO DE LOCALIDAD: Asentamiento Humano		**COTA**	3478			**HORA:**		**GSI =**

INFORMACIÓN DEL MATERIAL ROCOSO

LITOLOGÍA	**TIPO DE ROCA: Sedimentaria / Arenisca**				**COLOR Y TEXTURA: Rojo / Detritico**						**FORMACIÓN Y EDAD: Fm Kayra / Paleoceno-Eoceno inferior**						
	POTENCIA:				**GEOFORMA: Piedemonte**												
RESISTENCIA	**INDICE DE CAMPO**	Extremadamente Blanda (Uña)	Muy blanda (Navaja)	Blanda (Punta martillo)			Media (1 Golpe martillo)			Dura (+ 1 Golpe martillo)			Muy dura (Varios golpes)		Extremadamente dura (Solo raya con martillo)		
		0	1	2			3			4			5		6		
	RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO:			56	52	54	58	54	50	60	59	56	64	63	58	54	58	52

INFORMACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

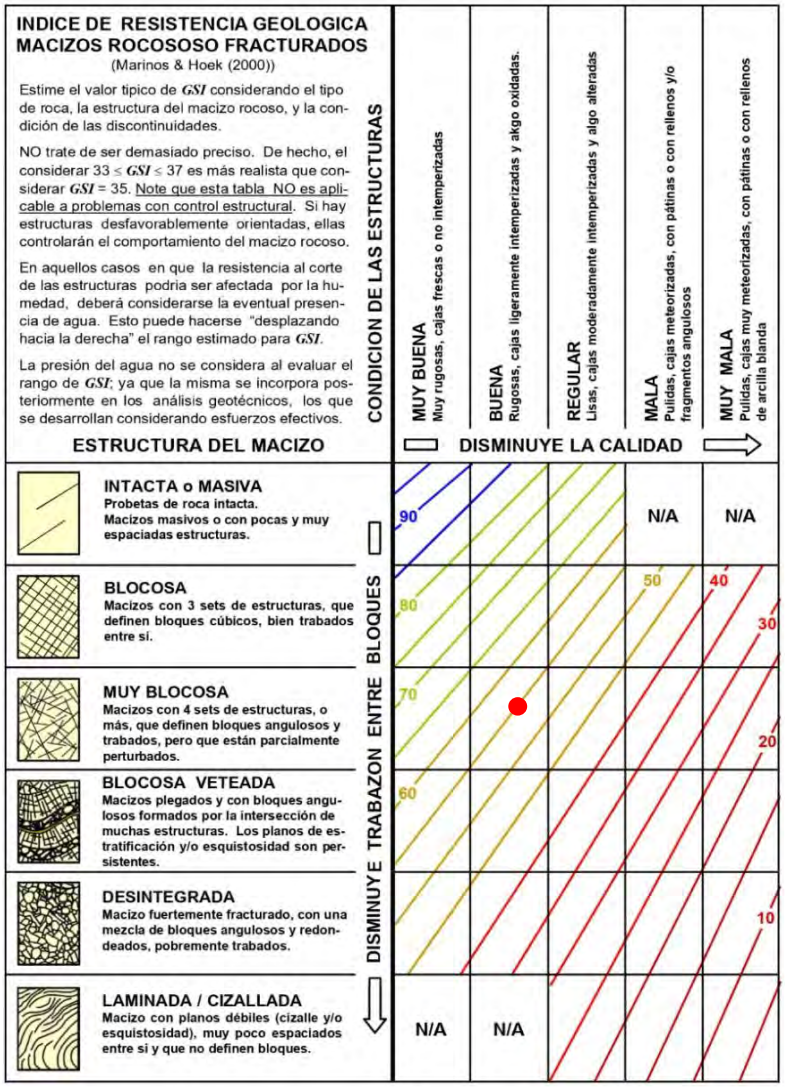
FRACTURACIÓN	**BLOQUES**	Muy grandes	Grandes	Medios	Pequeños	Muy pequeños	Muy brechificado
	Jv diaclasas/m³	< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 30	>30	>60
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Sana	II Algo meteorizada	III Medianamente meteorizada	IV Muy meteorizada	V Completamente meteorizada / Descompuesta		VI Suelo residual
HIDROGEOLOGÍA	Sin presencia de agua	Seco, con señal de agua	Húmedo	Goteo	Flujo		CAUDAL ESTIMADO:
No. DE SETS DE DISCONTINUIDADES MAYORES		λ =(frecuencia de discontinuidades)/1		OBSERVACIONES			

FOTO

Clasificación Geomecánica – Geological Strength Index (GSI)

La estación N°6 cuenta con bloques medios, con un promedio de diaclasas por metro cubico entre 3 y 10, se encuentra ligeramente meteorizada, seco y con una ligera señal de agua, lo que nos estimó un valor de GSI equivalente a 58.

Figura 47:*Ploteo de datos obtenidos en campo para cálculo del GSI en la estación N°6.*



Clasificación RQD

Se calculó un RQD de la estación N°6 utilizando la formula descrita por Palstrom (1982), la cual utiliza el número de fisuras por metro lineal, teniendo un valor para a la estación N°6 de 65.6%, lo que nos indica que es de calidad moderada del macizo rocoso, debido a que presenta un grado de fracturamiento alto con 22 discontinuidades en 1.8 metros, sin embargo, es necesario aplicar una metodología más robusta como RMR.

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

Donde:

$$\lambda = \frac{N° \ de \ fisuras}{Espaciamiento}$$

Cálculo del RQD para la Estación N°6

- Calculamos λ:

N° de fisuras = 22

Espaciamiento = 1.8m

$$\lambda = \frac{22}{1.8} = 12.2$$

- Calculamos el RQD

$$RQD = 100e^{-0.1x12.2}(0.1x12.2 + 1)$$

$$RQD = 65.5\%$$

Análisis Rocdata

El análisis desarrollado en el Software Rocdata es utilizado para determinar los esfuerzos y los parámetros, está en base a las teorías de Mohr Coulomb y Hoek y Brown, La figura 48 muestra las gráficas de esfuerzos para ambas teorías. Se utilizaron los resultados del ensayo a la compresión uniaxial, para esta ventana, la resistencia a la compresión es de 115.22 Mpa; se observan en los gráficos los esfuerzos principales mayores y menores, así como los esfuerzos normales y cortantes en las areniscas de la Formación Kayra de la Estación N°6, resume los datos obtenidos con el Software).

Estos datos fueron contrastados con los obtenidos en ensayos específicos como carga puntual y compresión simple.

Figura 48: *Análisis de Esfuerzos Rocdata utilizando la clasificación de Morh – Coulomb y el criterio de Hoek y Brown en la estación N°6.*

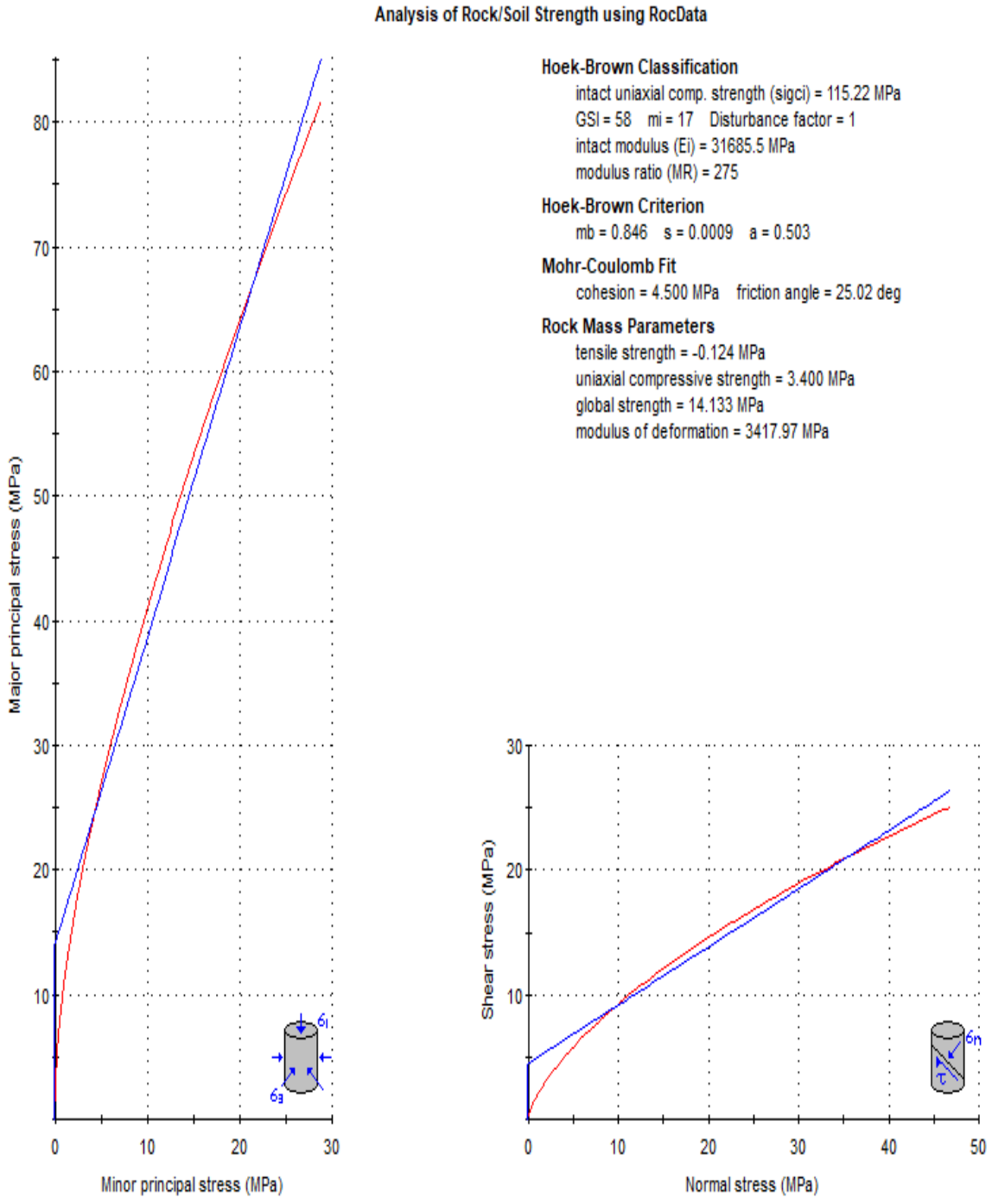


Tabla 34: *Resumen de los valores obtenidos en el Software Rocdata aplicando los valores de la estación N°6.*

Clasificación Hoek-Brown		Criterio Hoek-Brown		Mohr-Coulomb Fit	
Resistencia a la compresión de la Roca Intacta –sigci (MPa)	115.22 MPa	mb	0.846	Cohesión - c	4.50012 MPa
		s	0.001	Angulo de Fricción - phi	25.02
		a	0.503		
GSI	58	Rock Mass Parameters			
mi	17	Resistencia a la Tracción – sigt (MPa)		-0.124137 MPa	
Factor de Disturbancia - D	1	Resistencia a la compresión Uniaxial – sigc (MPa)		3.40046 MPa	
Modulo intacto - Ei	31685.5	Resistencia Global – sigcm (MPa)		14.1331 MPa	
MR	275	Módulo de Deformación – Em (MPa)		3417.97 MPa	

Clasificación RMR

Para la clasificación RMR 89 de Bieniawski, se consideraron los resultados medidos en campo pertenecientes a la Estación Geomecánica Nº6. Entre las propiedades evaluadas se incluye la resistencia a compresión simple (MPa), determinada mediante esclerómetro y ensayos de compresión uniaxial. Para ambos casos, se realizó la correspondiente valoración RMR. Las siguientes tablas presentan un resumen de las características de las discontinuidades y la puntuación obtenida para cada ensayo.

4.7 Estación Geomecánica N°7

La estación Geomecánica N°7 en la ubicada en el parte central del sector Chocco, litológicamente está constituida por secuencias sedimentarias detríticas de coloración Rojizas, en específico areniscas, pertenecientes a la Formación Kayra. Geomorfológicamente dominan estructuras de pies de monte. Teniendo valores de Resistencia a la compresión Simple de 120.12 MPa, obtenido con el esclerómetro y adaptados usando el ábaco, además se determinó la estación como "BUENA", de acuerdo a la clasificación GSI y RMR, ya que se determina que la calidad del Macizo Rocoso es de 62.

Tabla 35: Coordenadas de la Estación Geomecánica N°7.

DATUM	ZONA	COORDENADAS		COTA (m.s.n.m)
		ESTE	NORTE	
WGS-84	19 S	177709	8500395	3495

Análisis DIPS de la Estación Geomecánica 7

En la Figura 49, se observa las trazas de los sistemas principales de discontinuidades (familias principales), en el cuadro superior derecho se tiene la lista de orientación de la estratificación y familia de juntas (Dip y Dip Direction). En la Figura 50 se observa que la densidad más alta corresponde a la orientación principal, en esta estación se presenta en la J1 la cual presenta una orientación E-W.

Figura 49: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 7: Familia de discontinuidades.*

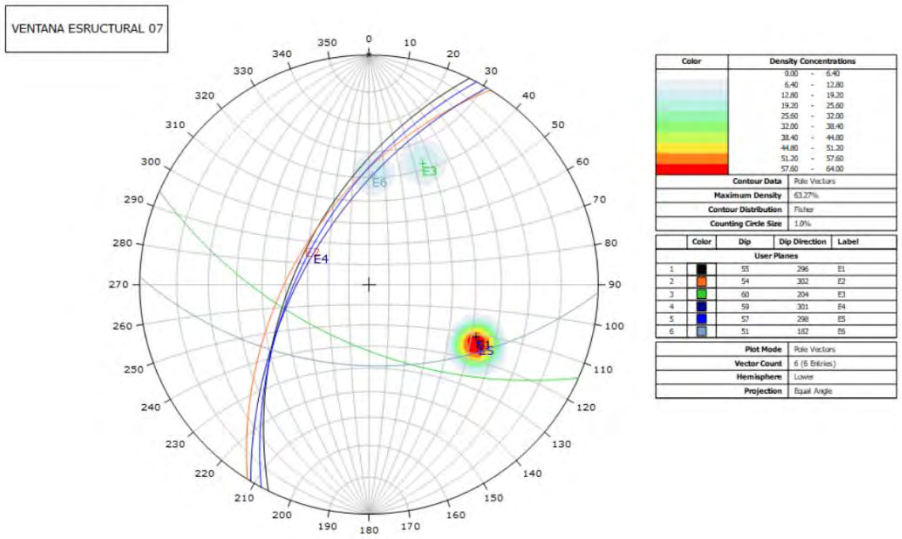
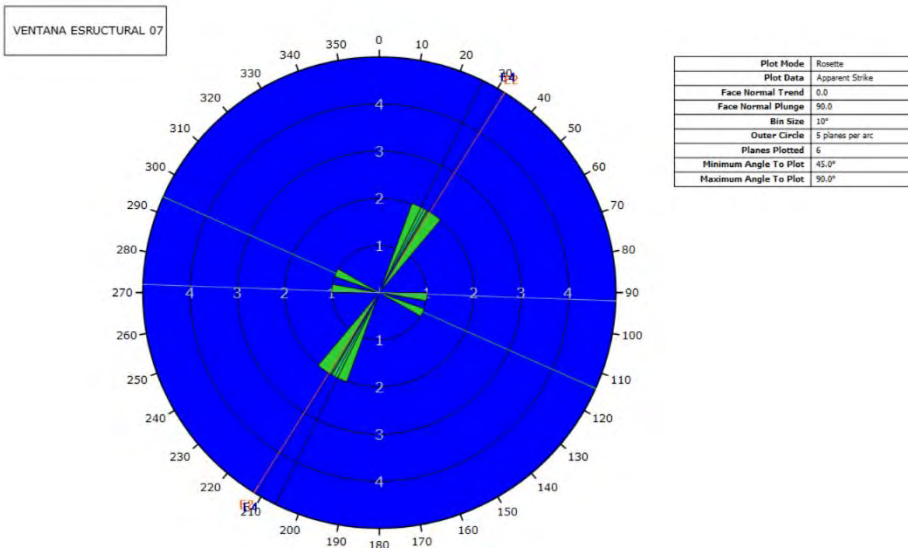


Figura 50: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 7: Roseta estructural.*



***Cuadro** 7. Cuadro de registro Geomecánico de la Matriz Rocosa de la estación N°7.*

HOJA DE DESCRIPCIÓN DEL MACIZO ROCOSO

INFORMACION GENERAL

PROYECTO: INVESTIGACIÓN TESIS	ESTACIÓN / PERFORACIÓN No.: 7					EJECUTADO:		RQD = 52%
	UBICACIÓN:	E	177809	CLIMA: SECO		REVISADO:		RMR =
LOCALIZACIÓN: CHOCCO, SANTIAGO, CUSCO		N	8500395	No. de hojas suplementarias de datos de las discontinuidades:	1	FECHA:		SMR =
TIPO DE LOCALIDAD: Asentamiento Humano		COTA	3494			HORA:		GSI =

INFORMACIÓN DEL MATERIAL ROCOSO

LITOLOGÍA	TIPO DE ROCA: Sedimentaria / Arenisca	COLOR Y TEXTURA: Rojo / Detrítico	FORMACIÓN Y EDAD: Fm Kayra / Paleoceno-Eoceno inferior
	POTENCIA:	GEOFORMA: Piedemonte	

RESISTENCIA	INDICE DE CAMPO	Extremadamente Blanda (Uña)	Muy blanda (Navaja)	Blanda (Punta martillo)	Media (1 Golpe martillo)	Dura (+ 1 Golpe martillo)	Muy dura (Varios golpes)	Extremadamente dura (Solo raya con martillo)
		0	1	2	3	4	5	6

RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO:	56	52	54	58	54	50	60	59	56	64	63	58	54	58	52

INFORMACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

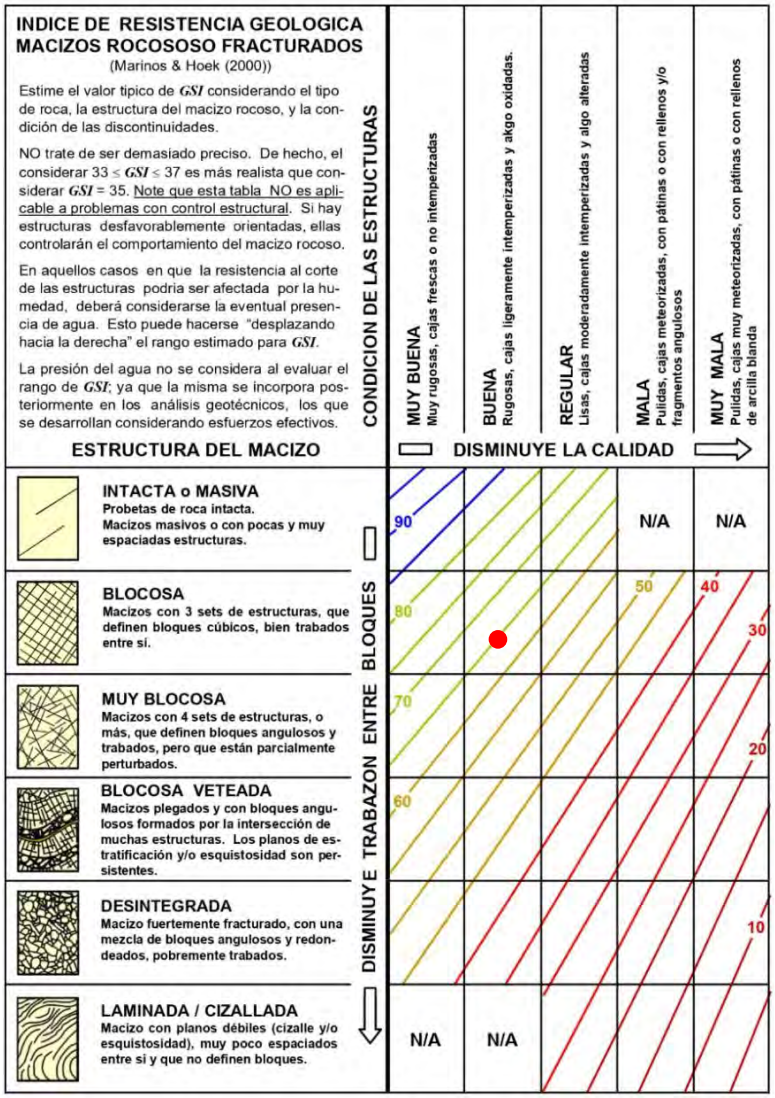
FRACTURACIÓN	BLOQUES	Muy grandes	Grandes	Medios	Pequeños	Muy pequeños	Muy brechificado
	Jv diaclasas/m³	< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 30	>30	>60
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Sana	II Algo meteorizada	III Medianamente meteorizada	IV Muy meteorizada	V Completamente meteorizada / Descompuesta		VI Suelo residual
HIDROGEOLOGÍA	Sin presencia de agua	Seco, con señal de agua	Húmedo	Goteo	Flujo		CAUDAL ESTIMADO:
No. DE SETS DE DISCONTINUIDADES MAYORES		λ =(frecuencia de discontinuidades)/1		OBSERVACIONES			

FOTO

Clasificación Geomecánica – Geological Strength Index (GSI)

La estación N°7 cuenta con bloques medios, con un promedio de diaclasas por metro cubico entre 3 y 10, se encuentra ligeramente meteorizada, seco y con una ligera señal de agua, lo que nos estimó un valor de GSI equivalente a 65.

Figura 51: *Ploteo de datos obtenidos en campo para cálculo del GSI en la estación N°7.*



Clasificación RQD

Se calculó un RQD de la estación N°7 utilizando la formula descrita por Palstrom (1982), la cual utiliza el número de fisuras por metro lineal, teniendo un valor para a la estación N°7 de 85.8%, lo que nos indica que es de calidad buena, debido a que presenta un grado de fracturamiento bajo con 15 discontinuidades en 1.6 metros, sin embargo, es necesario aplicar una metodología más robusta como RMR.

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

Donde:

$$\lambda = \frac{N° \ de \ fisuras}{Espaciamiento}$$

Cálculo del RQD para la Estación N°7

- Calculamos λ:

N° de fisuras = 10

Espaciamiento = 1.5m

$$\lambda = \frac{10}{1.5} = 6.6$$

- Calculamos el RQD

$$RQD = 100e^{-0.1x6.6}(0.1x6.6 + 1)$$

$$RQD = 85.8\%$$

Análisis Rocdata

El análisis desarrollado en el Software Rocdata es utilizado para determinar los esfuerzos y los parámetros, está en base a las teorías de Mohr Coulomb y Hoek y Brown, La figura 52 muestra las gráficas de esfuerzos para ambas teorías. Se utilizaron los resultados del ensayo a la compresión uniaxial, para esta ventana, la resistencia a la compresión es de 120.12 Mpa; se observan en los gráficos los esfuerzos principales mayores y menores, así como los esfuerzos normales y cortantes en las Areniscas de la Formación Kayra de la Estación N°7, resume los datos obtenidos con el Software).

Estos datos fueron contrastados con los obtenidos en ensayos específicos como carga puntual y compresión simple.

Figura 52: *Análisis de Esfuerzos Rocdata utilizando la clasificación de Morh – Coulomb y el criterio de Hoek y Brown en la estación N°7.*

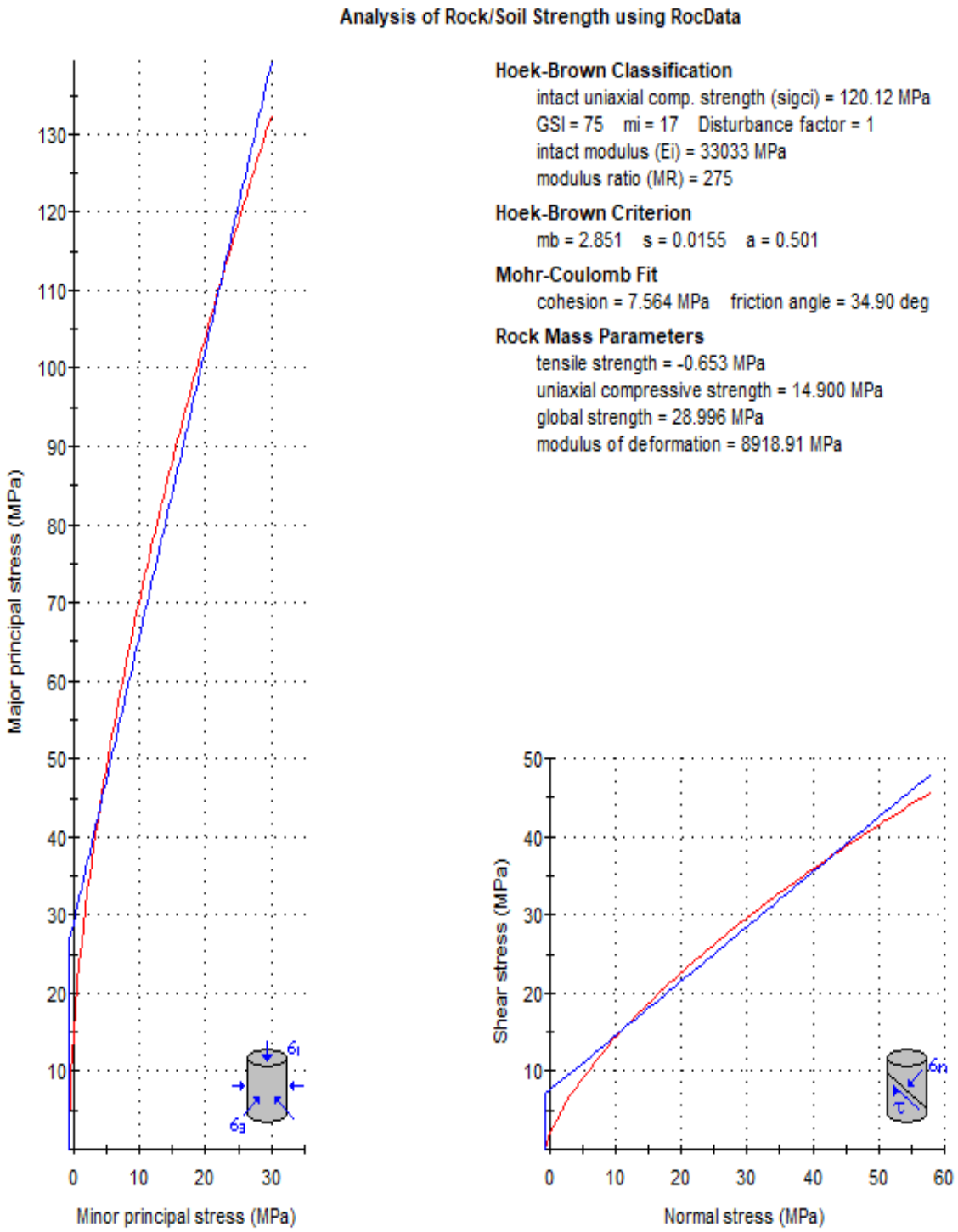


Tabla 36: *Resumen de los valores obtenidos en el Software Rocdata aplicando los valores de la estación N°7.*

Clasificación Hoek-Brown		Criterio Hoek-Brown		Mohr-Coulomb Fit	
Resistencia a la compresión de la Roca Intacta –sigci (MPa)	120.12 MPa	mb	1.395	Cohesión - c	5.69028 MPa
		s	0.003	Angulo de Fricción - phi	29.00
		a	0.502		
GSI	65	Rock Mass Parameters			
mi	17	Resistencia a la Tracción – sigt (MPa)		-0.252068 MPa	
Factor de Disturbancia - D	1	Resistencia a la compresión Uniaxial – sigc (MPa)		6.42568 MPa	
Modulo intacto - Ei	33033	Resistencia Global – sigcm (MPa)		19.3193 MPa	
MR	275	Módulo de Deformación – Em (MPa)		5403.97 MPa	

Clasificación RMR

Para la clasificación RMR 89 de Bieniawski, se consideraron los resultados medidos en campo pertenecientes a la Estación Geomecánica Nº7. Entre las propiedades evaluadas se incluye la resistencia a compresión simple (MPa), determinada mediante esclerómetro y ensayos de compresión uniaxial. Para ambos casos, se realizó la correspondiente valoración RMR. Las siguientes tablas presentan un resumen de las características de las discontinuidades y la puntuación obtenida para cada ensayo.

4.8 Estación Geomecánica N°8

La estación Geomecánica N°8 en la ubicada en la parte central del área de estudio, litológicamente está constituida por secuencias sedimentarias detríticas de coloración rojizas, en específico areniscas, pertenecientes a la Formación Kayra. Geomorfológicamente dominan estructuras de pies de monte. Teniendo valores de Resistencia a la compresión Simple de 115.52 MPa, obtenido con el esclerómetro y adaptados usando el ábaco, además se determinó la estación como "BUENA", de acuerdo a la clasificación GSI y RMR, ya que se determina que la calidad del Macizo Rocoso es de 58.

Tabla 37: Coordenadas de la Estación Geomecánica N°8

DATUM	ZONA	COORDENADAS		COTA (m.s.n.m)
		ESTE	NORTE	
WGS-84	19 S	177715	8500560	3497

Análisis DIPS de la Estación Geomecánica N°8

En la Figura 53, se observa las trazas de los sistemas principales de discontinuidades (familias principales), en el cuadro superior derecho se tiene la lista de orientación de la estratificación y falla (Dip y Dip Direction). En la Figura 54 se observa que la densidad más alta corresponde a la orientación principal, en esta estación se presenta en el estrato E3 la cual presenta una orientación NE-SW.

Figura 53: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 8: Familia de discontinuidades.*

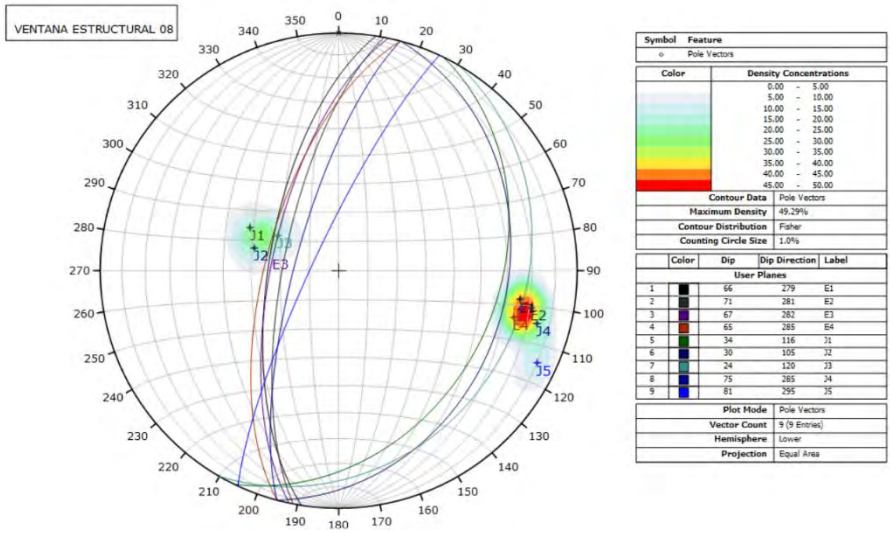


Figura 54: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 8: Roseta estructural.*

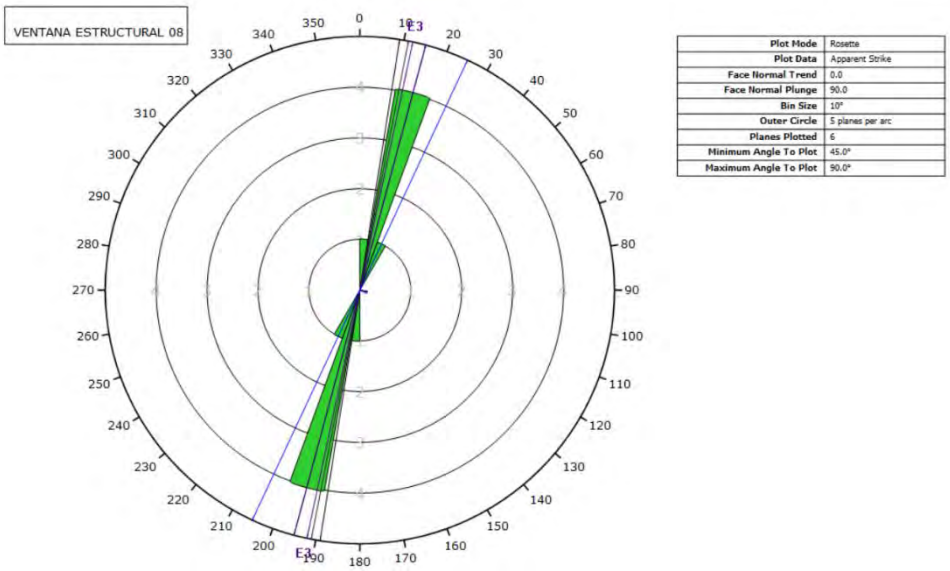


***Figura 55**. Cuadro de registro Geomecánico de la Matriz Rocosa de la estación N°8.*

HOJA DE DESCRIPCIÓN DEL MACIZO ROCOSO

INFORMACION GENERAL

PROYECTO: INVESTIGACIÓN TESIS	ESTACIÓN / PERFORACIÓN No.: 8					EJECUTADO:		RQD = 45%
	UBICACIÓN:	E	177715	CLIMA: SECO		REVISADO:		RMR =
LOCALIZACIÓN: CHOCCO, SANTIAGO, CUSCO		N	8500560	No. de hojas suplementarias de datos de las discontinuidades:	1	FECHA:		SMR =
TIPO DE LOCALIDAD: Asentamiento Humano		COTA	3497			HORA:		GSI =

INFORMACIÓN DEL MATERIAL ROCOSO

LITOLOGÍA	TIPO DE ROCA: Sedimentaria / Arenisca			COLOR Y TEXTURA: Rojo / Detrítico						FORMACIÓN Y EDAD: Fm Kayra / Paleoceno-Eoceno inferior							
	POTENCIA:			GEOFORMA: Piedemonte													
RESISTENCIA	INDICE DE CAMPO	Extremadamente Blanda (Uña)	Muy blanda (Navaja)	Blanda (Punta martillo)			Media (1 Golpe martillo)			Dura (+ 1 Golpe martillo)			Muy dura (Varios golpes)		Extremadamente dura (Solo raya con martillo)		
		0	1	2			3			4			5		6		
	RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO:			56	52	54	58	54	50	60	59	56	64	63	58	54	58	52

INFORMACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

FRACTURACIÓN	BLOQUES	Muy grandes	Grandes	Medios	Pequeños		Muy pequeños	Muy brechificado
	Jv diaclasas/m³	< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 30		>30	>60
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Sana	II Algo meteorizada	III Medianamente meteorizada	IV Muy meteorizada	V Completamente meteorizada / Descompuesta			VI Suelo residual
HIDROGEOLOGÍA	Sin presencia de agua	Seco, con señal de agua	Húmedo	Goteo	Flujo			CAUDAL ESTIMADO:
No. DE SETS DE DISCONTINUIDADES MAYORES		λ =(frecuencia de discontinuidades)/1		OBSERVACIONES				

FOTO

Clasificación Geomecánica – Geological Strength Index (GSI)

La estación N°8 cuenta con bloques medios, con un promedio de diaclasas por metro cubico entre 3 y 10, se encuentra ligeramente meteorizada, seco y con una ligera señal de agua, lo que nos estimó un valor de GSI equivalente a 45.

Figura 56: *Ploteo de datos obtenidos en campo para cálculo del GSI en la estación N°8*

Clasificación RQD

Se calculó un RQD de la estación N°8 utilizando la formula descrita por Palstrom (1982), la cual utiliza el número de fisuras por metro lineal, teniendo un valor para a la estación N°8 de 75.9%, lo que nos indica que es de calidad mala, debido a que presenta un grado de fracturamiento alto con 22 discontinuidades en 1.6 metros, sin embargo, es necesario aplicar una metodología más robusta como RMR.

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

Donde:

$$\lambda = \frac{N° \ de \ fisuras}{Espaciamiento}$$

Cálculo del RQD para la Estación N°8

- Calculamos λ:

N° de fisuras = 22

Espaciamiento = 1.6m

$$\lambda = \frac{22}{1.6} = 13.75$$

- Calculamos el RQD

$$RQD = 100e^{-0.1x13.75}(0.1x13.75 + 1)$$

$$RQD = 75.9\%$$

Análisis Rocdata

El análisis desarrollado en el Software Rocdata es utilizado para determinar los esfuerzos y los parámetros, está en base a las teorías de Mohr Coulomb y Hoek y Brown, La figura 45 muestra las gráficas de esfuerzos para ambas teorías. Se utilizaron los resultados del ensayo a la compresión uniaxial, para esta ventana, la resistencia a la compresión es de 115.52 Mpa; se observan en los gráficos los esfuerzos principales mayores y menores, así como los esfuerzos normales y cortantes en las Areniscas de la Formación Kayra de la Estación N°8, resume los datos obtenidos con el Software).

Estos datos fueron contrastados con los obtenidos en ensayos específicos como carga puntual y compresión simple.

Figura 57: *Análisis de Esfuerzos Rocdata utilizando la clasificación de Morh – Coulomb y el criterio de Hoek y Brown en la estación N°8.*

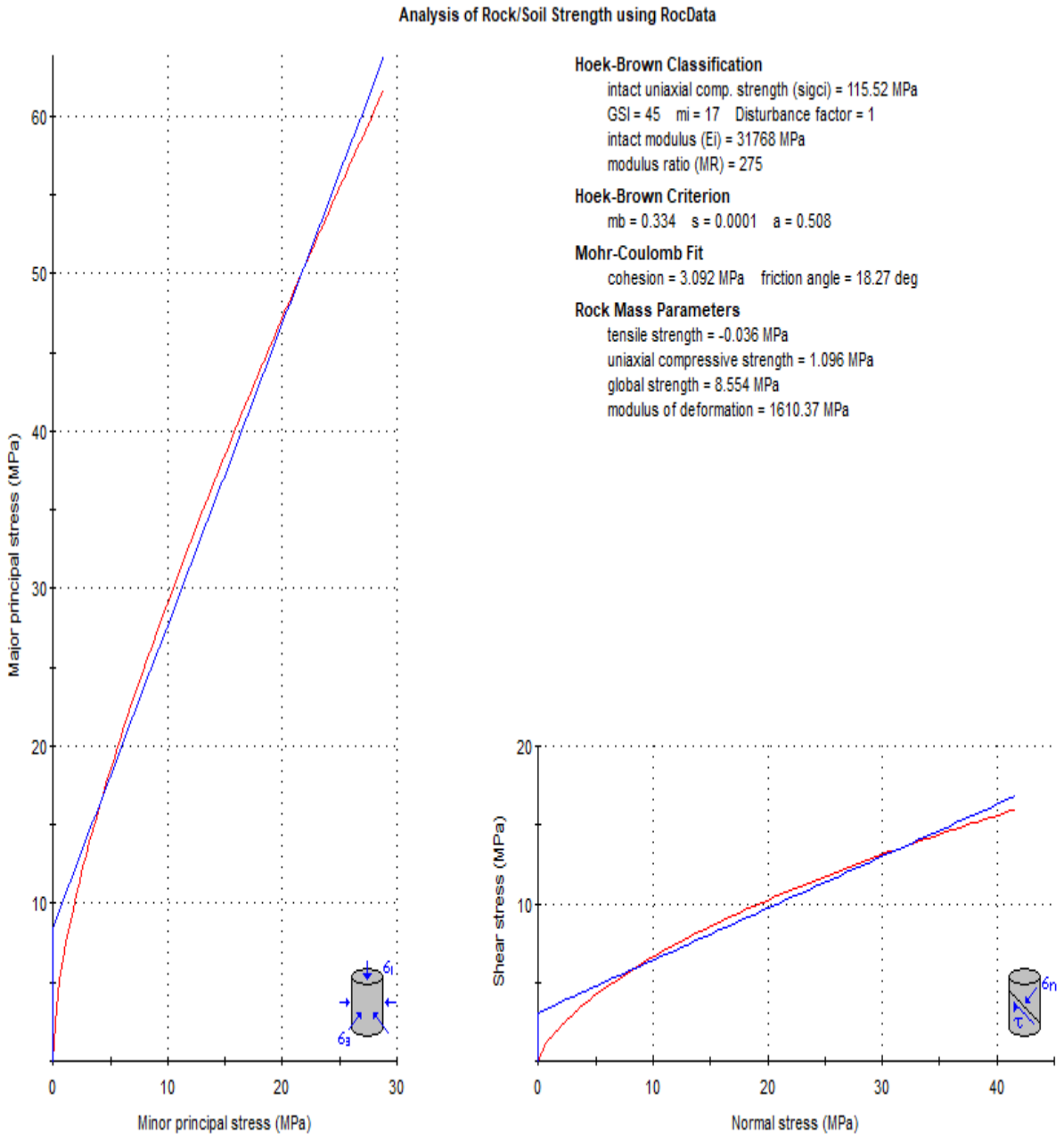


Tabla 38: *Resumen de los valores obtenidos en el Software Rocdata aplicando los valores de la estación N°8.*

Clasificación Hoek-Brown		Criterio Hoek-Brown		Mohr-Coulomb Fit	
Resistencia a la compresión de la Roca Intacta –sigci (MPa)	115.52 MPa	mb	0.334	Cohesión - c	3.09217 MPa
		s	0.000	Angulo de Fricción - phi	18.27
		a	0.508		
GSI	45	Rock Mass Parameters			
mi	17	Resistencia a la Tracción – sigt (MPa)		-0.0360855 MPa	
Factor de Disturbancia - D	1	Resistencia a la compresión Uniaxial – sigc (MPa)		1.09636 MPa	
Modulo intacto - Ei	31768	Resistencia Global – sigcm (MPa)		8.55384 MPa	
MR	275	Módulo de Deformación – Em (MPa)		1610.37 MPa	

Clasificación RMR

Para la clasificación RMR 89 de Bieniawski, se consideraron los resultados medidos en campo pertenecientes a la Estación Geomecánica Nº8. Entre las propiedades evaluadas se incluye la resistencia a compresión simple (MPa), determinada mediante esclerómetro y ensayos de compresión uniaxial. Para ambos casos, se realizó la correspondiente valoración RMR. Las siguientes tablas presentan un resumen de las características de las discontinuidades y la puntuación obtenida para cada ensayo.

4.9 Estación Geomecánica N°9

La estación Geomecánica N°9 en la ubicada en sector centro norte del área de estudio, litológicamente está constituida por secuencias sedimentarias detríticas de coloración Rojizas, en específico areniscas, pertenecientes a la Formación Kayra. Geomorfológicamente dominan estructuras de pies de monte. Teniendo valores de Resistencia a la compresión Simple de 126.25 MPa, obtenido con el esclerómetro y adaptados usando el ábaco, además se determinó la estación como "BUENA", de acuerdo a la clasificación GSI y RMR, ya que se determina que la calidad del Macizo Rocoso es de 78.

Tabla 39: Coordenadas de la Estación Geomecánica N°9.

DATUM	ZONA	COORDENADAS		COTA (m.s.n.m)
		ESTE	NORTE	
WGS-84	19 S	177748	8500596	3501

Análisis DIPS de la Estación Geomecánica 9

En la Figura 58, se observa las trazas de los sistemas principales de discontinuidades (familias principales), en el cuadro superior derecho se tiene la lista de orientación de la estratificación y familia de juntas (Dip y Dip Direction). En la Figura 59 se observa que la densidad más alta corresponde a la orientación principal, en esta estación se presenta en el estrato E4 la cual presenta una orientación NE-SW.

. **Figura 58:** *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 9: Familia de discontinuidades*

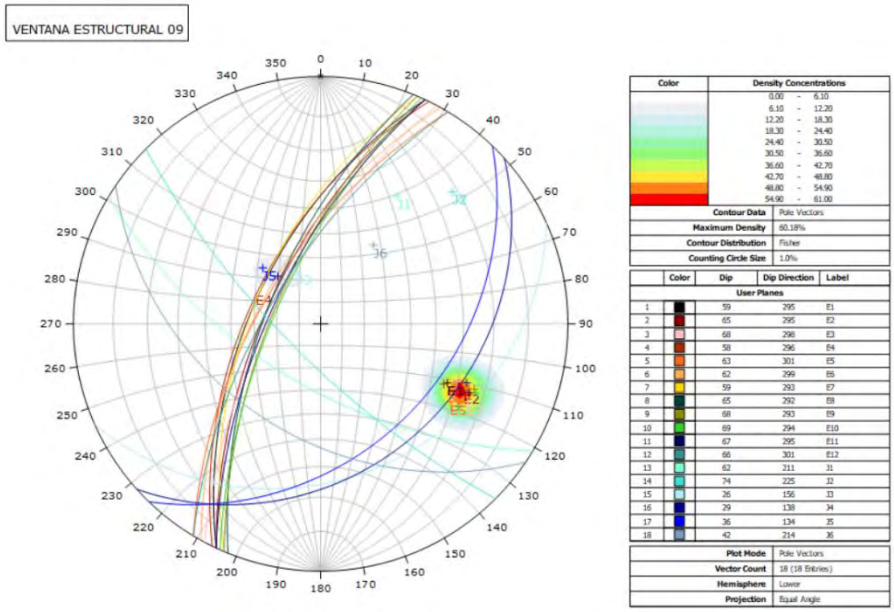
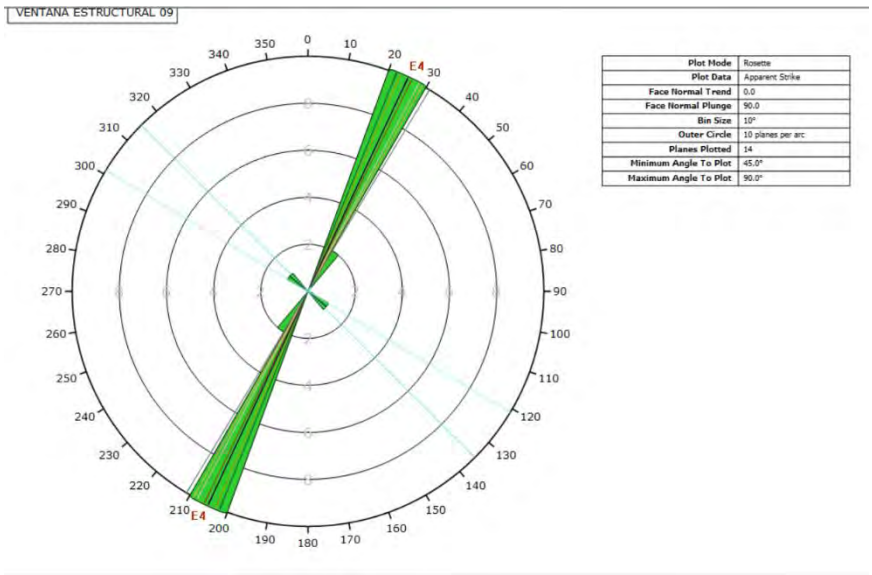


Figura 59: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 9: Roseta estructural*



Cuadro 8. *Cuadro de registro Geomecánico de la Matriz Rocosa de la estación N°9.*

HOJA DE DESCRIPCIÓN DEL MACIZO ROCOSO

INFORMACION GENERAL

PROYECTO: INVESTIGACIÓN TESIS	**ESTACIÓN / PERFORACIÓN No.: 9**				**EJECUTADO:**		**RQD =** 48%
	UBICACIÓN:	**E**	177748	**CLIMA: SECO**	**REVISADO:**		**RMR =**
LOCALIZACIÓN: CHOCCO, SANTIAGO, CUSCO		**N**	8500596	**No. de hojas suplementarias de datos de las discontinuidades:** 1	**FECHA:**		**SMR =**
TIPO DE LOCALIDAD: Asentamiento Humano		**COTA**	3501		**HORA:**		**GSI =**

INFORMACIÓN DEL MATERIAL ROCOSO

LITOLOGÍA	**TIPO DE ROCA: Sedimentaria / Arenisca**	**COLOR Y TEXTURA: Rojo / Detritico**	**FORMACIÓN Y EDAD: Fm Kayra / Paleoceno-Eoceno inferior**	
	POTENCIA:	**GEOFORMA: Piedemonte**		

RESISTENCIA	**INDICE DE CAMPO**	Extremadamente Blanda (Uña)	Muy blanda (Navaja)	Blanda (Punta martillo)			Media (1 Golpe martillo)			Dura (+ 1 Golpe martillo)			Muy dura (Varios golpes)		Extremadamente dura (Solo raya con martillo)		
		0	1	2			3			4			5		6		
	RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO:			56	52	54	58	54	50	60	59	56	64	63	58	54	58	52

INFORMACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

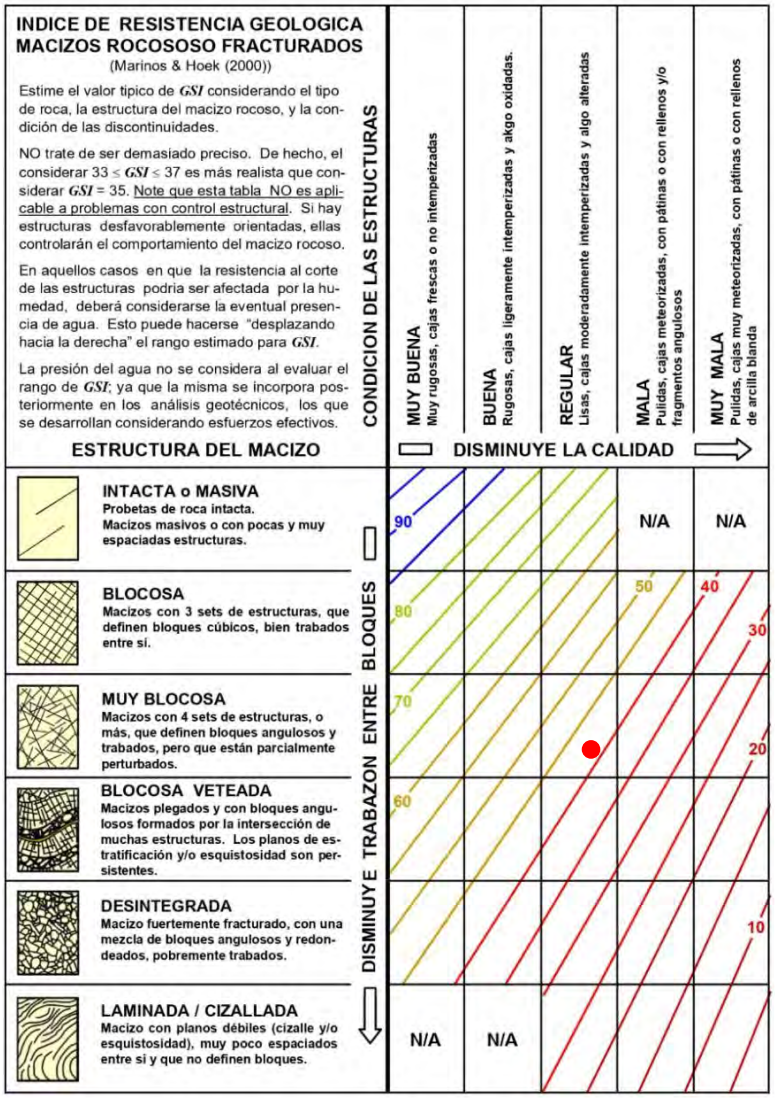
FRACTURACIÓN	**BLOQUES**	Muy grandes	Grandes	Medios	Pequeños	Muy pequeños	Muy brechificado
	Jv diaclasas/m³	< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 30	>30	>60
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Sana	II Algo meteorizada	III Medianamente meteorizada	IV Muy meteorizada	V Completamente meteorizada / Descompuesta		VI Suelo residual
HIDROGEOLOGÍA	Sin presencia de agua	Seco, con señal de agua	Húmedo	Goteo	Flujo		CAUDAL ESTIMADO:
No. DE SETS DE DISCONTINUIDADES MAYORES	λ =(frecuencia de discontinuidades)/1		OBSERVACIONES				

FOTO

Clasificación Geomecánica – Geological Strength Index (GSI)

La estación N°9 cuenta con bloques pequeños, con un promedio de diaclasas por metro cubico entre 10-30, se encuentra muy meteorizada, seco y con una ligera señal de agua, lo que nos estimó un valor de GSI equivalente a 42.

Figura 60: *Ploteo de datos obtenidos en campo para cálculo del GSI en la estación N°9.*



Clasificación RQD

Se calculó un RQD de la estación N°9, la cual utiliza el número de fisuras por metro lineal, teniendo un valor para a la estación N°9 de 76%, lo que nos indica que es de calidad buena, debido a que presenta un grado de fracturamiento intermedio a bajo con 14 discontinuidades en 1.4 metros, sin embargo, es necesario aplicar una metodología más robusta como RMR.

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

Donde:

$$\lambda = \frac{N° \ de \ fisuras}{Espaciamiento}$$

Cálculo del RQD para la Estación N°9

- Calculamos λ:

N° de fisuras = 14

Espaciamiento = 1.5m

$$\lambda = \frac{14}{1.5} = 9.33$$

- Calculamos el RQD

$$RQD = 100e^{-0.1x9.33}(0.1x9.33 + 1)$$

$$RQD = 76\%$$

Análisis Rocdata

El análisis desarrollado en el Software Rocdata es utilizado para determinar los esfuerzos y los parámetros, está en base a las teorías de Mohr Coulomb y Hoek y Brown, La figura 61 muestra las gráficas de esfuerzos para ambas teorías. Se utilizaron los resultados del ensayo a la compresión uniaxial, para esta ventana, la resistencia a la compresión es de 126.25 Mpa; se observan en los gráficos los esfuerzos principales mayores y menores, así como los esfuerzos normales y cortantes en las Areniscas de la Formación Kayra de la Estación N°9, resume los datos obtenidos con el Software).

Estos datos fueron contrastados con los obtenidos en ensayos específicos como carga puntual y compresión simple.

Figura 61: *Análisis de Esfuerzos Rocdata utilizando la clasificación de Morh – Coulomb y el criterio de Hoek y Brown en la estación N°9.*

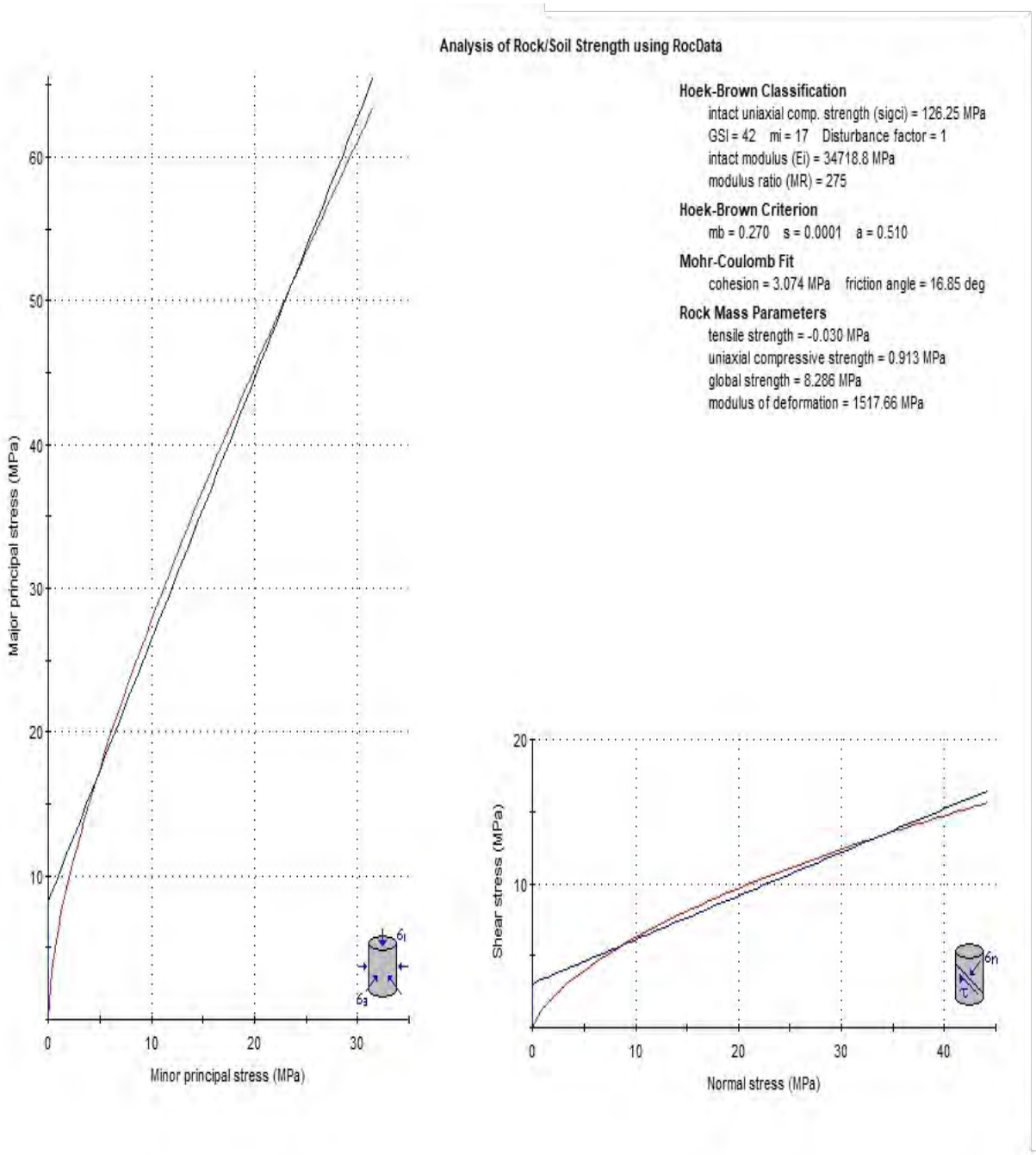


Tabla 40: *Resumen de los valores obtenidos en el Software Rocdata aplicando los valores de la estación N°9.*

Clasificación Hoek-Brown		Criterio Hoek-Brown		Mohr-Coulomb Fit	
Resistencia a la compresión de la Roca Intacta –sigci (MPa)	126.25 MPa	mb	0.270	Cohesión - c	3.074 MPa
		s	0.0001	Angulo de Fricción - phi	16.85
		a	0.510		
GSI	42	Rock Mass Parameters			
mi	17	Resistencia a la Tracción – sigt (MPa)		-0.030MPa	
Factor de Disturbancia - D	1	Resistencia a la compresión Uniaxial – sigc (MPa)		0.913MPa	
Modulo intacto - Ei	34718.8	Resistencia Global – sigcm (MPa)		8.286 MPa	
MR	275	Módulo de Deformación – Em (MPa)		1517.66 MPa	

Clasificación RMR

Para la clasificación RMR 89 de Bieniawski, se consideraron los resultados medidos en campo pertenecientes a la Estación Geomecánica Nº9.

Entre las propiedades evaluadas se incluye la resistencia a compresión simple (MPa), determinada mediante esclerómetro y ensayos de compresión uniaxial. Para ambos casos, se realizó la correspondiente valoración RMR, sin embargo, debido a que en ambos ensayos el valor de la resistencia a la compresión fue mayor a 100 Mpa, lo cual se encuentra en el rango de 100 a 250 Mpa se asigna una puntuación de 12 para ambos casos en la valoración RMR.

Las siguientes tablas presentan un resumen de las características de las discontinuidades y la puntuación obtenida.

4.10 Estación Geomecánica N°10

La estación Geomecánica N°10 en la ubicada al Norte del sector Chocco, litológicamente está constituida por secuencias sedimentarias detríticas de coloración Rojizas, en específico areniscas, pertenecientes a la Formación Kayra. Geomorfológicamente dominan estructuras de pies de monte. Teniendo valores de Resistencia a la compresión Simple de 128.2 MPa, obtenido con el esclerómetro y adaptados usando el ábaco, además se determinó la estación como "BUENA", de acuerdo a la clasificación GSI y RMR, ya que se determina que la calidad del Macizo Rocoso es de 63.

Tabla 41:Coordenadas de la Estación Geomecánica N°10.

DATUM	ZONA	COORDENADAS		COTA (m.s.n.m)
		ESTE	NORTE	
WGS-84	19 S	177808	8500649	3514

Análisis DIPS de la Estación Geomecánica 10

En la Figura 62, se observa las trazas de los sistemas principales de discontinuidades (familias principales), en el cuadro superior derecho se tiene la lista de orientación de la estratificación y familia de juntas (Dip y Dip Direction). En la Figura 63 se observa que la densidad más alta corresponde a la orientación principal, en esta estación se presenta en las estratificaciones E2 y E 4 las cuales presentan una orientación NW-SE.

Figura 62: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 10: Familia de discontinuidades.*

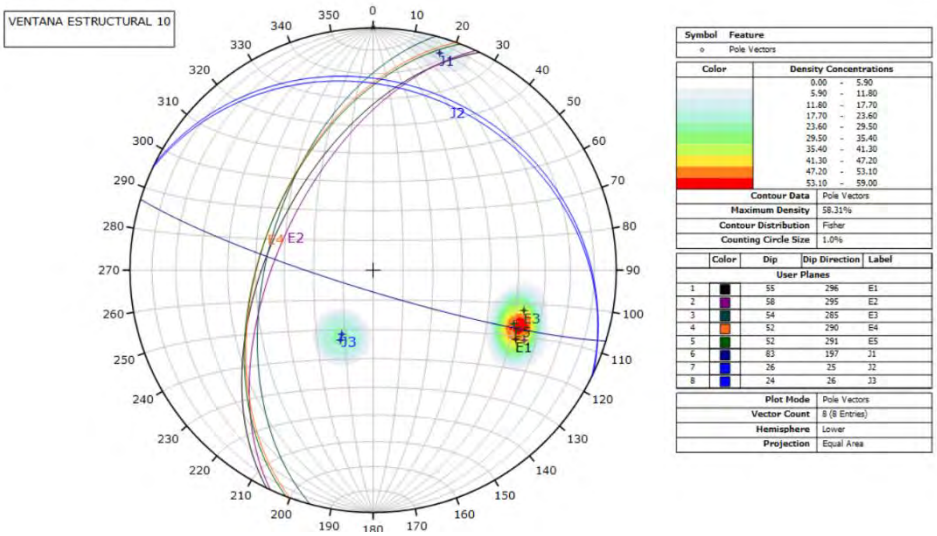
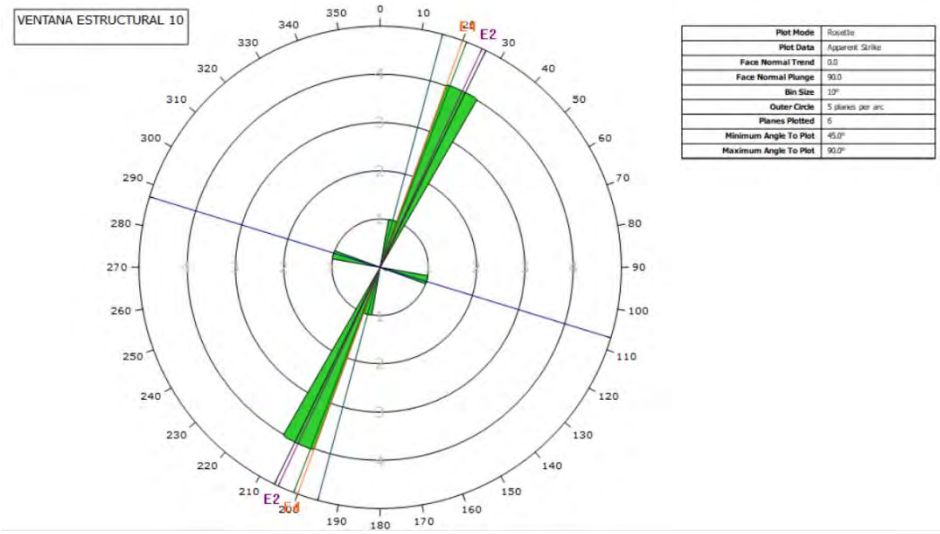


Figura 63*:* *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 10: Roseta estructural.*



Cuadro 9. *Cuadro de registro Geomecánico de la Matriz Rocosa de la estación N°10.*

HOJA DE DESCRIPCIÓN DEL MACIZO ROCOSO

INFORMACION GENERAL

PROYECTO: INVESTIGACIÓN TESIS	**ESTACIÓN / PERFORACIÓN No.: 10**					**EJECUTADO:**		**RQD =** 48%
	UBICACIÓN:	**E**	177808	**CLIMA: SECO**		**REVISADO:**		**RMR =**
LOCALIZACIÓN: CHOCCO, SANTIAGO, CUSCO		**N**	8500649	**No. de hojas suplementarias de datos de las discontinuidades:**	**1**	**FECHA:**		**SMR =**
TIPO DE LOCALIDAD: Asentamiento Humano		**COTA**	3514			**HORA:**		**GSI =**

INFORMACIÓN DEL MATERIAL ROCOSO

LITOLOGÍA	**TIPO DE ROCA: Sedimentaria / Arenisca**			**COLOR Y TEXTURA: Rojo / Detrítico**							**FORMACIÓN Y EDAD: Fm Kayra / Paleoceno-Eoceno inferior**						
	POTENCIA:			**GEOFORMA: Piedemonte**													
RESISTENCIA	**ÍNDICE DE CAMPO**	Extremadamente Blanda (Uña)	Muy blanda (Navaja)	Blanda (Punta martillo)			Media (1 Golpe martillo)			Dura (+ 1 Golpe martillo)			Muy dura (Varios golpes)		Extremadamente dura (Solo raya con martillo)		
		0	1	2			3			4			5		6		
	RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO:			56	52	54	58	54	50	60	59	56	64	63	58	54	58	52

INFORMACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

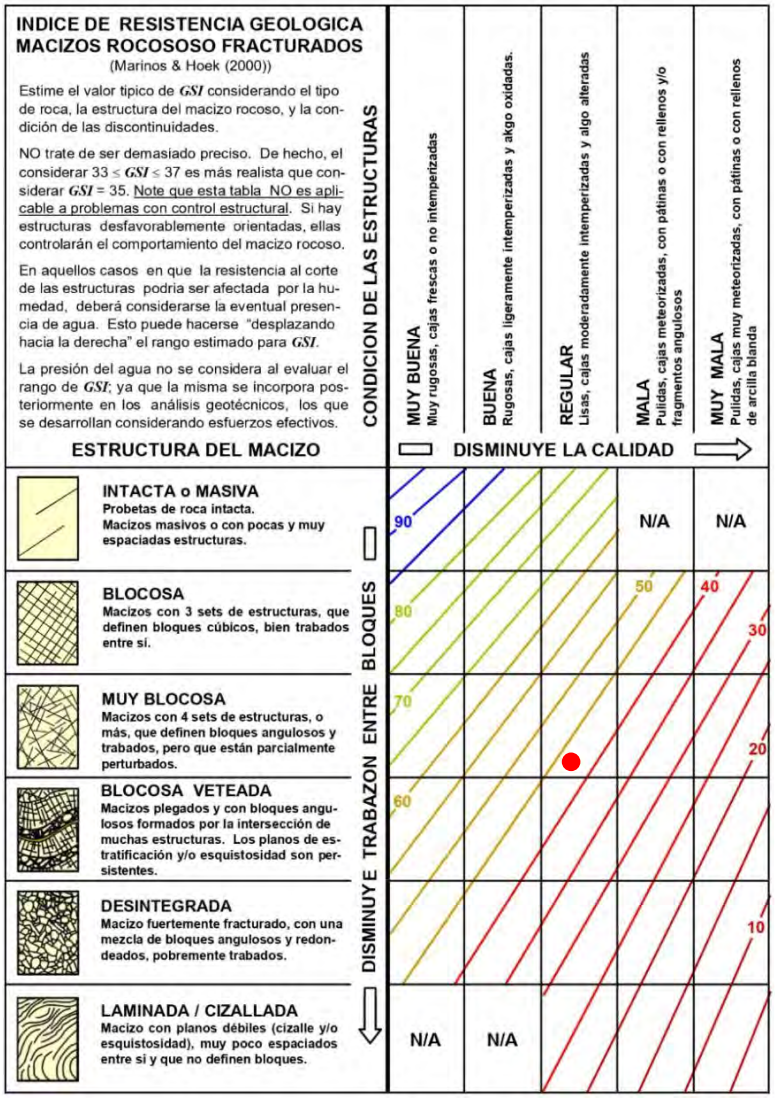
FRACTURACIÓN	**BLOQUES**	Muy grandes	Grandes	Medios	Pequeños		Muy pequeños	Muy brechificado
	Jv diaclasas/m³	< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 30		>30	>60
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Sana	II Algo meteorizada	III Medianamente meteorizada	IV Muy meteorizada	V Completamente meteorizada / Descompuesta			VI Suelo residual
HIDROGEOLOGÍA	Sin presencia de agua	Seco, con señal de agua	Húmedo	Goteo	Flujo			CAUDAL ESTIMADO:
No. DE SETS DE DISCONTINUIDADES MAYORES		λ =(frecuencia de discontinuidades)/1		OBSERVACIONES				

FOTO

Clasificación Geomecánica – Geological Strength Index (GSI)

La estación N°10 cuenta con bloques pequeños, con un promedio de diaclasas por metro cubico entre 10-30, se encuentra muy meteorizada, seco y con una ligera señal de agua, lo que nos estimó un valor de GSI equivalente a 48.

Figura 64: *Ploteo de datos obtenidos en campo para cálculo del GSI en la estación N°10.*



Clasificación RQD

Se calculó un RQD de la estación N°10 utilizando la formula descrita por Palstrom (1982), la cual utiliza el número de fisuras por metro lineal, teniendo un valor para a la estación N°10 de 85.5%, lo que nos indica que es de calidad buena, debido a que presenta un grado de fracturamiento bajo con 10 discontinuidades en 1.5 metros, sin embargo, es necesario aplicar una metodología más robusta como RMR.

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

Donde:

$$\lambda = \frac{N° \ de \ fisuras}{Espaciamiento}$$

Cálculo del RQD para la Estación N°10

- Calculamos λ:

N° de fisuras = 10

Espaciamiento = 1.5m

$$\lambda = \frac{10}{1.5} = 6.7$$

- Calculamos el RQD

$$RQD = 100e^{-0.1x6.7}(0.1x6.7 + 1)$$

$$RQD = 85.5\%$$

Análisis Rocdata

El análisis desarrollado en el Software Rocdata es utilizado para determinar los esfuerzos y los parámetros, está en base a las teorías de Mohr Coulomb y Hoek y Brown, La figura 65 muestra las gráficas de esfuerzos para ambas teorías. Se utilizaron los resultados del ensayo a la compresión uniaxial, para esta ventana, la resistencia a la compresión es de 128.2 Mpa; se observan en los gráficos los esfuerzos principales mayores y menores, así como los esfuerzos normales y cortantes en las Areniscas de la Formación Kayra de la Estación N°10, resume los datos obtenidos con el Software).

Estos datos fueron contrastados con los obtenidos en ensayos específicos como carga puntual y compresión simple.

Figura 65: *Análisis de Esfuerzos Rocdata utilizando la clasificación de Morh – Coulomb y el criterio de Hoek y Brown en la estación N°10.*

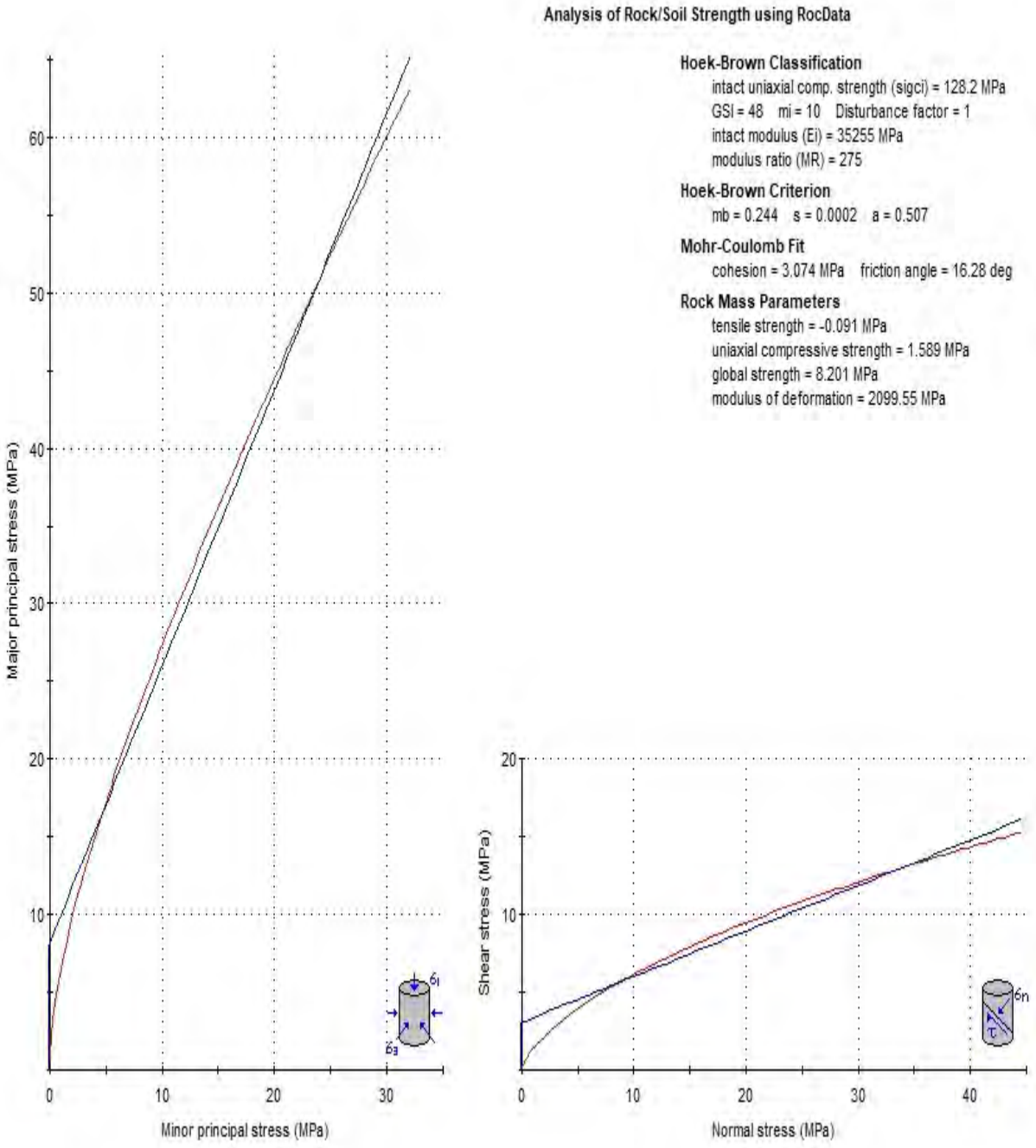


Tabla 42: *Resumen de los valores obtenidos en el Software Rocdata aplicando los valores de la estación N°10.*

Clasificación Hoek-Brown		Criterio Hoek-Brown		Mohr-Coulomb Fit	
Resistencia a la compresión de la Roca Intacta –sigci (MPa)	128.2 MPa	mb	0.244	Cohesión - c	3.0.74 MPa
		s	0.0002	Angulo de Fricción - phi	16.28
		a	0.507		
GSI	48	Rock Mass Parameters			
mi	10	Resistencia a la Tracción – sigt (MPa)		-0.091MPa	
Factor de Disturbancia - D	1	Resistencia a la compresión Uniaxial – sigc (MPa)		1.589MPa	
Modulo intacto - Ei	35255	Resistencia Global – sigcm (MPa)		8.201.85225 MPa	
MR	275	Módulo de Deformación – Em (MPa)		2099.55MPa	

Clasificación RMR

Para la clasificación RMR 89 de Bieniawski, se consideraron los resultados medidos en campo pertenecientes a la Estación Geomecánica Nº10. Entre las propiedades evaluadas se incluye la resistencia a compresión simple (MPa), determinada mediante esclerómetro y ensayos de compresión uniaxial. Para ambos casos, se realizó la correspondiente valoración RMR, sin embargo, debido a que en ambos ensayos el valor de la resistencia a la compresión fue mayor a 100 Mpa, lo cual se encuentra en el rango de 100 a 250 Mpa se asigna una puntuación de 12 para ambos casos en la valoración RMR. Las siguientes tablas presentan un resumen de las características de las discontinuidades y la puntuación obtenida.

4.11 Estación Geomecánica N°11

La estación Geomecánica N°11 en la ubicada al Norte del sector Chocco, litológicamente está constituida por secuencias sedimentarias detríticas de coloración Rojizas, en específico areniscas, pertenecientes a la Formación Kayra. Geomorfológicamente dominan estructuras de pies de monte. Teniendo valores de Resistencia a la compresión Simple de 118.5 MPa, obtenido con el esclerómetro y adaptados usando el ábaco, además se determinó la estación como "REGULAR", de acuerdo a la clasificación GSI y RMR, ya que se determina que la calidad del Macizo Rocoso es de 63.

Tabla 43: *Coordenadas de la Estación Geomecánica N°11.*

DATUM	ZONA	COORDENADAS		COTA (m.s.n.m)
		ESTE	NORTE	
WGS-84	19 S	177723	8500671	3477

Análisis DIPS de la Estación Geomecánica 11

En la Figura 66, se observa las trazas de los sistemas principales de discontinuidades (familias principales), en el cuadro superior derecho se tiene la lista de orientación de la estratificación y familia de juntas (Dip y Dip Direction). En la Figura 67 se observa que la densidad más alta corresponde a la orientación principal, en esta estación se presenta en el estrato E2 la cual presenta una orientación NE-SW.

Figura 66: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 11: Familia de discontinuidades.*

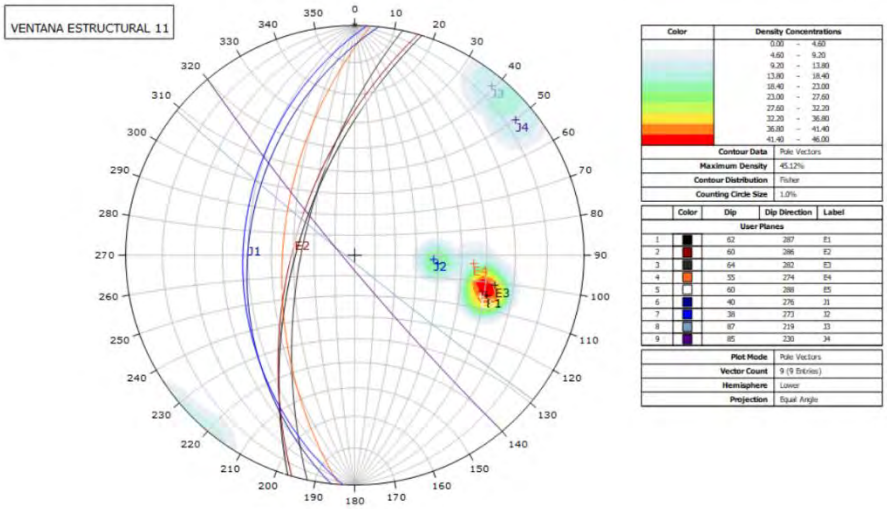
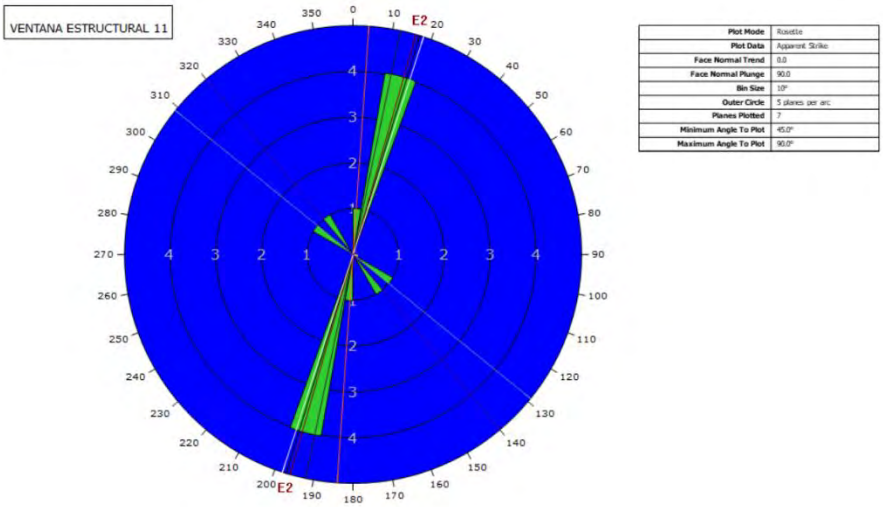


Figura 67: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 11: Roseta estructural.*



Cuadro 10. *Cuadro de registro Geomecánico de la Matriz Rocosa de la estación N°11.*

HOJA DE DESCRIPCIÓN DEL MACIZO ROCOSO

INFORMACION GENERAL

PROYECTO: INVESTIGACIÓN TESIS	**ESTACIÓN / PERFORACIÓN No.: 11**					**EJECUTADO:**		**RQD =** 56%
	UBICACIÓN:	**E**	177723	**CLIMA: SECO**		**REVISADO:**		**RMR =**
LOCALIZACIÓN: CHOCCO, SANTIAGO, CUSCO		**N**	8500671	**No. de hojas suplementarias de datos de las discontinuidades:**	**1**	**FECHA:**		**SMR =**
TIPO DE LOCALIDAD: Asentamiento Humano		**COTA**	3477			**HORA:**		**GSI =**

INFORMACIÓN DEL MATERIAL ROCOSO

LITOLOGÍA	**TIPO DE ROCA: Sedimentaria / Arenisca**	**COLOR Y TEXTURA: Rojo / Detrítico**	**FORMACIÓN Y EDAD: Fm Kayra / Paleoceno-Eoceno inferior**
	POTENCIA:	**GEOFORMA: Piedemonte**	

RESISTENCIA	**INDICE DE CAMPO**	Extremadamente Blanda (Uña)	Muy blanda (Navaja)	Blanda (Punta martillo)	Media (1 Golpe martillo)	Dura (+ 1 Golpe martillo)	Muy dura (Varios golpes)	Extremadamente dura (Solo raya con martillo)
		0	1	2	3	4	5	6

RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO:	56	52	54	58	54	50	60	59	56	64	63	58	54	58	52

INFORMACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

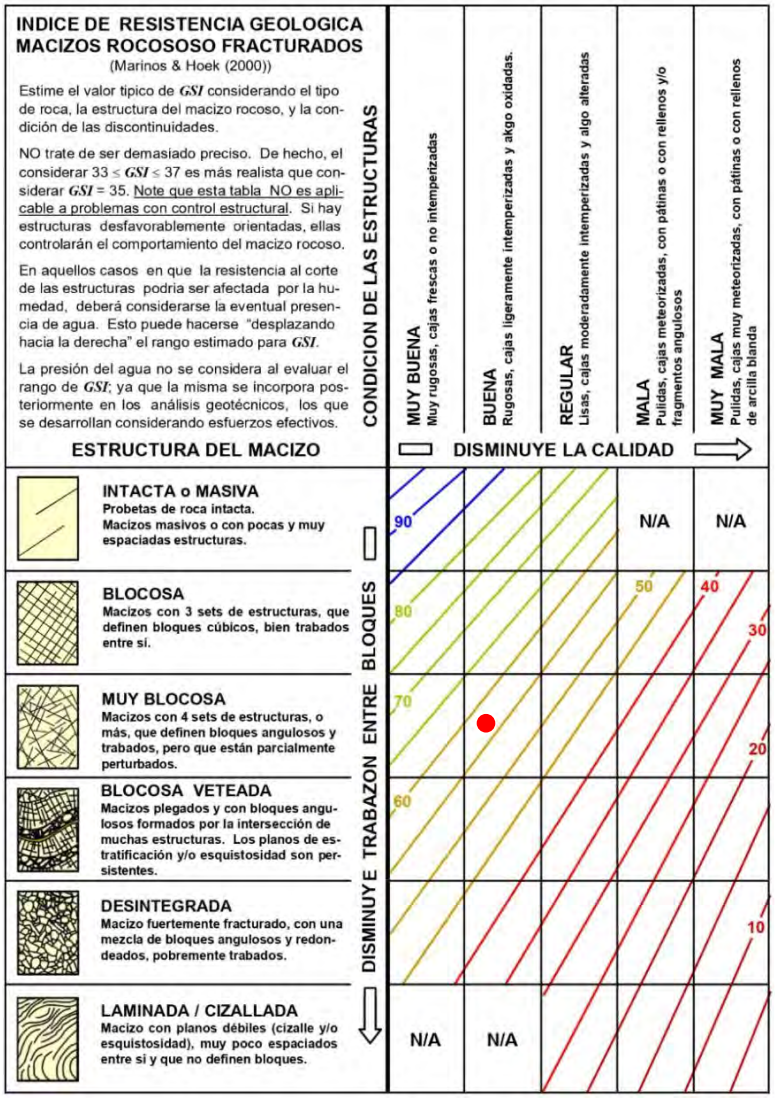
FRACTURACIÓN	**BLOQUES**	Muy grandes	Grandes	Medios	Pequeños	Muy pequeños	Muy brechificado
	Jv diaclasas/m³	< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 30	>30	>60
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Sana	II Algo meteorizada	III Medianamente meteorizada	IV Muy meteorizada	V Completamente meteorizada / Descompuesta		VI Suelo residual
HIDROGEOLOGÍA	Sin presencia de agua	Seco, con señal de agua	Húmedo	Goteo	Flujo		CAUDAL ESTIMADO:
No. DE SETS DE DISCONTINUIDADES MAYORES	λ =(frecuencia de discontinuidades)/1		OBSERVACIONES				

FOTO

Clasificación Geomecánica – Geological Strength Index (GSI)

La estación N°11 cuenta con bloques pequeños, con un promedio de diaclasas por metro cúbico entre 10-30, se encuentra algo meteorizada, seco y con una ligera señal de agua, lo que nos estimó un valor de GSI equivalente a 58.

Figura 68: *Ploteo de datos obtenidos en campo para cálculo del GSI en la estación N°11.*



Clasificación RQD

Se calculó un RQD de la estación N°11 utilizando la formula descrita por Palstrom (1982), la cual utiliza el número de fisuras por metro lineal, teniendo un valor para a la estación N°11 de 76.6%, lo que nos indica que es de calidad buena, debido a que presenta un grado de fracturamiento moderado con 16 discontinuidades en 1.6 metros, sin embargo, es necesario aplicar una metodología más robusta como RMR.

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

Donde:

$$\lambda = \frac{N° \ de \ fisuras}{Espaciamiento}$$

Cálculo del RQD para la Estación N°11

- Calculamos λ:

N° de fisuras = 16

Espaciamiento = 1.6m

$$\lambda = \frac{16}{1.6} = 10$$

- Calculamos el RQD

$$RQD = 100e^{-0.1x10}(0.1x10 + 1)$$

$$RQD = 76.6\%$$

Análisis Rocdata

El análisis desarrollado en el Software Rocdata es utilizado para determinar los esfuerzos y los parámetros, está en base a las teorías de Mohr Coulomb y Hoek y Brown, La figura 69 muestra las gráficas de esfuerzos para ambas teorías. Se utilizaron los resultados del ensayo a la compresión uniaxial, para esta ventana, la resistencia a la compresión es de 118.5 Mpa; se observan en los gráficos los esfuerzos principales mayores y menores, así como los esfuerzos normales y cortantes en las Areniscas de la Formación Kayra de la Estación N°11, resume los datos obtenidos con el Software).

Estos datos fueron contrastados con los obtenidos en ensayos específicos como carga puntual y compresión simple.

Figura 69: *Análisis de Esfuerzos Rocdata utilizando la clasificación de Morh – Coulomb y el criterio de Hoek y Brown en la estación N°11.*

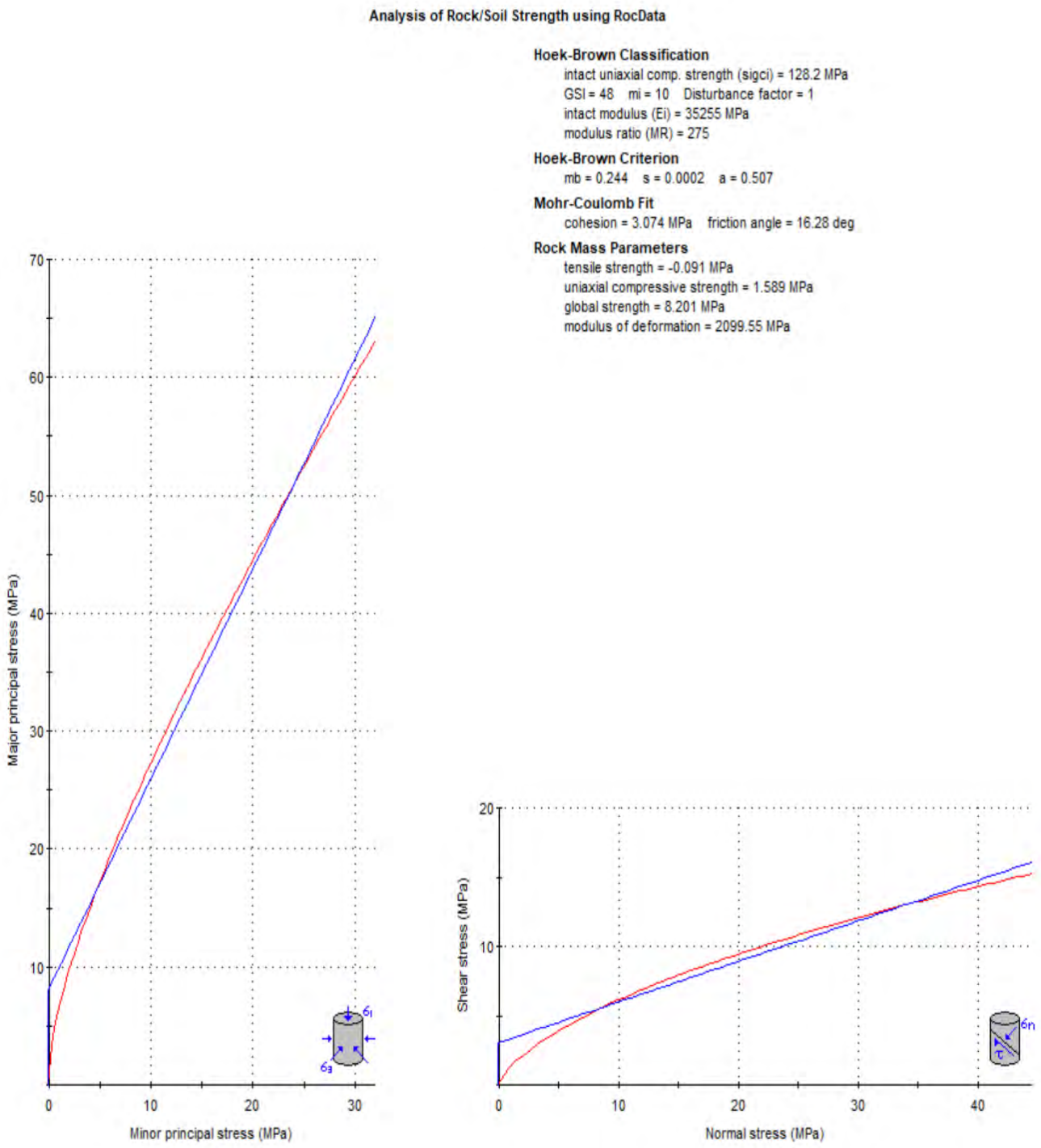


Tabla 44: *Resumen de los valores obtenidos en el Software Rocdata aplicando los valores de la estación N°11.*

Clasificación Hoek-Brown		Criterio Hoek-Brown		Mohr-Coulomb Fit	
Resistencia a la compresión de la Roca Intacta –sigci (MPa)	118.5 MPa	mb	0.846	Cohesión - c	4.628MPa
		s	0.0009	Angulo de Fricción - phi	25.02
		a	0.503		
GSI	58	Rock Mass Parameters			
mi	17	Resistencia a la Tracción – sigt (MPa)		-0.128 MPa	
Factor de Disturbancia - D	1	Resistencia a la compresión Uniaxial – sigc (MPa)		3.497 MPa	
Modulo intacto - Ei	32587.5	Resistencia Global – sigcm (MPa)		14.535 MPa	
MR	275	Módulo de Deformación – Em (MPa)		3515.27 MPa	

Clasificación RMR

Para la clasificación RMR 89 de Bieniawski, se consideraron los resultados medidos en campo pertenecientes a la Estación Geomecánica Nº11. Entre las propiedades evaluadas se incluye la resistencia a compresión simple (MPa), determinada mediante esclerómetro y ensayos de compresión uniaxial. Para ambos casos, se realizó la correspondiente valoración RMR, sin embargo, debido a que en ambos ensayos el valor de la resistencia a la compresión fue mayor a 100 Mpa, lo cual se encuentra en el rango de 100 a 250 Mpa se asigna una puntuación de 12 para ambos casos en la valoración RMR. Las siguientes tablas presentan un resumen de las características de las discontinuidades y la puntuación obtenida.

4.12 Estación Geomecánica N°12

La estación Geomecánica N°12 en la ubicada al Norte del sector Chocco, litológicamente está constituida por secuencias sedimentarias detríticas de coloración rojizas, en específico areniscas, pertenecientes a la Formación Kayra. Geomorfológicamente dominan estructuras de pies de monte. Teniendo valores de Resistencia a la compresión Simple de 123.4 MPa, obtenido con el esclerómetro y adaptados usando el ábaco, además se determinó la estación como "REGULAR", de acuerdo a la clasificación GSI y RMR, ya que se determina que la calidad del Macizo Rocoso es de 66.

Tabla 45: *Coordenadas de la Estación Geomecánica N°12*

DATUM	ZONA	COORDENADAS		COTA (m.s.n.m)
		ESTE	NORTE	
WGS-84	19 S	177763	8500683	3485

Análisis DIPS de la Estación Geomecánica 12

En la Figura 70, se observa las trazas de los sistemas principales de discontinuidades (familias principales), en el cuadro superior derecho se tiene la lista de orientación de la estratificación y familia de juntas (Dip y Dip Direction). En la Figura 71se observa que la densidad más alta corresponde a la orientación principal, en esta estación se presenta el estrato el cual presenta una orientación NE-SW.

Figura 70: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 12: Familia de discontinuidades*

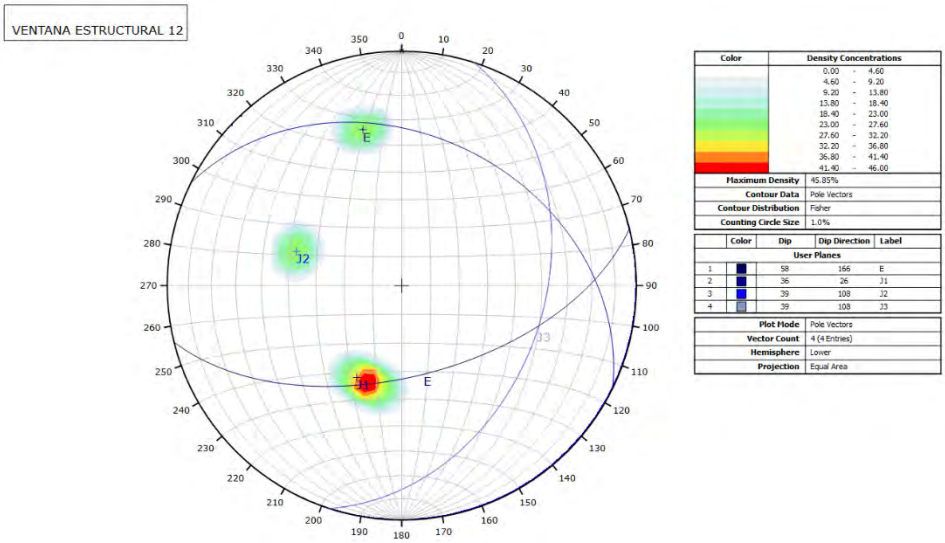
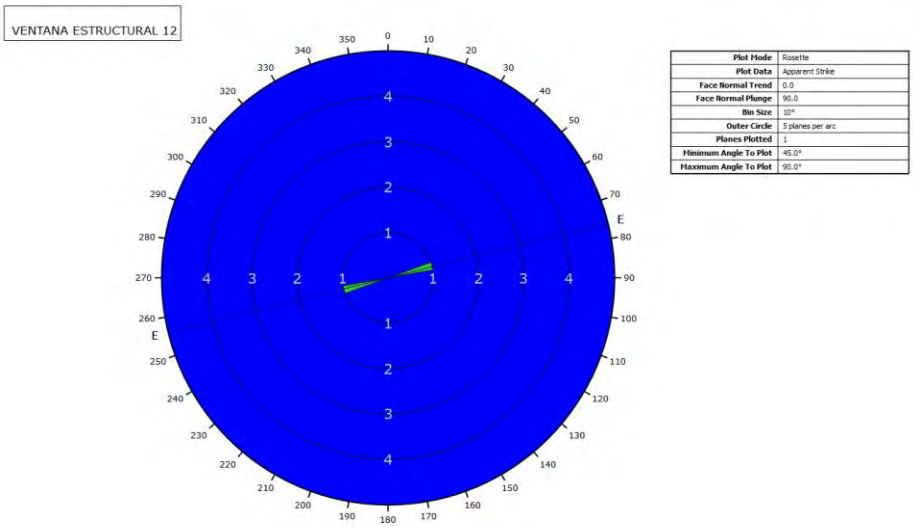


Figura 71: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica 12: Roseta estructural.*



Cuadro 11. *Cuadro de registro Geomecánico de la Matriz Rocosa de la estación N°12.*

HOJA DE DESCRIPCIÓN DEL MACIZO ROCOSO

INFORMACION GENERAL

PROYECTO: INVESTIGACIÓN TESIS	ESTACIÓN / PERFORACIÓN No.: 12					EJECUTADO:		RQD = 36%
	UBICACIÓN:	E	177763	CLIMA: SECO		REVISADO:		RMR =
LOCALIZACIÓN: CHOCCO, SANTIAGO, CUSCO		N	8500683	No. de hojas suplementarias de datos de las discontinuidades:	1	FECHA:		SMR =
TIPO DE LOCALIDAD: Asentamiento Humano		COTA	3485			HORA:		GSI =

INFORMACIÓN DEL MATERIAL ROCOSO

LITOLOGÍA	TIPO DE ROCA: Sedimentaria / Arenisca			COLOR Y TEXTURA: Rojo / Detrítico							FORMACIÓN Y EDAD: Fm Kayra / Paleoceno-Eoceno inferior						
	POTENCIA:			GEOFORMA: Piedemonte													
RESISTENCIA	INDICE DE CAMPO	Extremadamente Blanda (Uña)	Muy blanda (Navaja)	Blanda (Punta martillo)			Media (1 Golpe martillo)			Dura (+ 1 Golpe martillo)			Muy dura (Varios golpes)		Extremadamente dura (Solo raya con martillo)		
		0	1	2			3			4			5		6		
	RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO:			56	52	54	58	54	50	60	59	56	64	63	58	54	58	52

INFORMACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

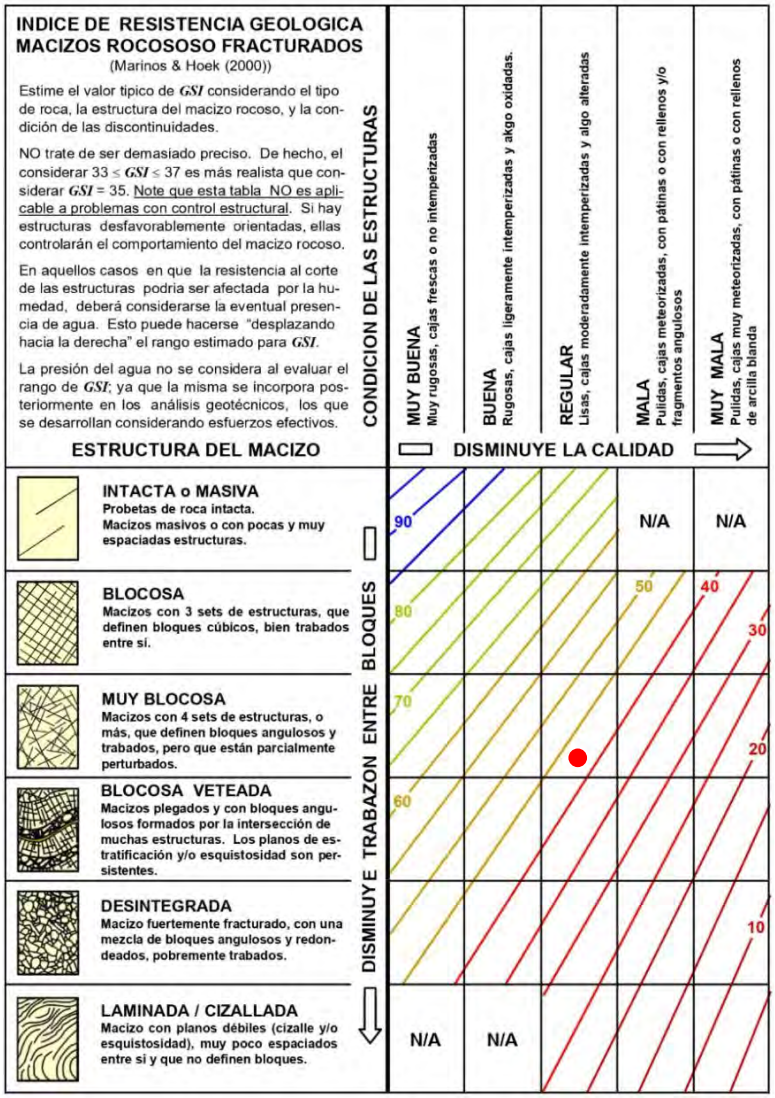
FRACTURACIÓN	BLOQUES	Muy grandes	Grandes	Medios	Pequeños		Muy pequeños	Muy brechificado
	Jv diaclasas/m³	< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 30		>30	>60
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Sana	II Algo meteorizada	III Medianamente meteorizada	IV Muy meteorizada	V Completamente meteorizada / Descompuesta			VI Suelo residual
HIDROGEOLOGÍA	Sin presencia de agua	Seco, con señal de agua	Húmedo	Goteo	Flujo			CAUDAL ESTIMADO:
No. DE SETS DE DISCONTINUIDADES MAYORES		λ =(frecuencia de discontinuidades)/1		OBSERVACIONES				

FOTO

Clasificación Geomecánica – Geological Strength Index (GSI)

La estación N°12 cuenta con bloques pequeños, con un promedio de diaclasas por metro cubico entre 10-30, se encuentra algo meteorizada, seco y con una ligera señal de agua, lo que nos estimó un valor de GSI equivalente a 44.

Figura 72: *Ploteo de datos obtenidos en campo para cálculo del GSI en la estación N°12.*



Clasificación RQD

Se calculó un RQD de la estación N°12 utilizando la formula descrita por Palstrom (1982), la cual utiliza el número de fisuras por metro lineal, teniendo un valor para a la estación N°12 de 60.6%, lo que nos indica que es de calidad buena, debido a que presenta un grado de fracturamiento alto con 19 discontinuidades en 1.4 metros, sin embargo, es necesario aplicar una metodología más robusta como RMR.

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

Donde:

$$\lambda = \frac{N° \ de \ fisuras}{Espaciamiento}$$

Cálculo del RQD para la Estación N°12

- Calculamos λ:

N° de fisuras = 19

Espaciamiento = 1.4m

$$\lambda = \frac{19}{1.4} = 13.6$$

- Calculamos el RQD

$$RQD = 100e^{-0.1x13.6}(0.1x13.6 + 1)$$

$$RQD = 60.6\%$$

Análisis Rocdata

El análisis desarrollado en el Software Rocdata es utilizado para determinar los esfuerzos y los parámetros, está en base a las teorías de Mohr Coulomb y Hoek y Brown, La figura 73 muestra las gráficas de esfuerzos para ambas teorías. Se utilizaron los resultados del ensayo a la compresión uniaxial, para esta ventana, la resistencia a la compresión es de 123.4 Mpa; se observan en los gráficos los esfuerzos principales mayores y menores, así como los esfuerzos normales y cortantes en las Areniscas de la Formación Kayra de la Estación N°12, resume los datos obtenidos con el Software). Estos datos fueron contrastados con los obtenidos en ensayos específicos como carga puntual y compresión simple.

Figura 73: *Análisis de Esfuerzos Rocdata utilizando la clasificación de Morh – Coulomb y el criterio de Hoek y Brown en la estación N°12.*

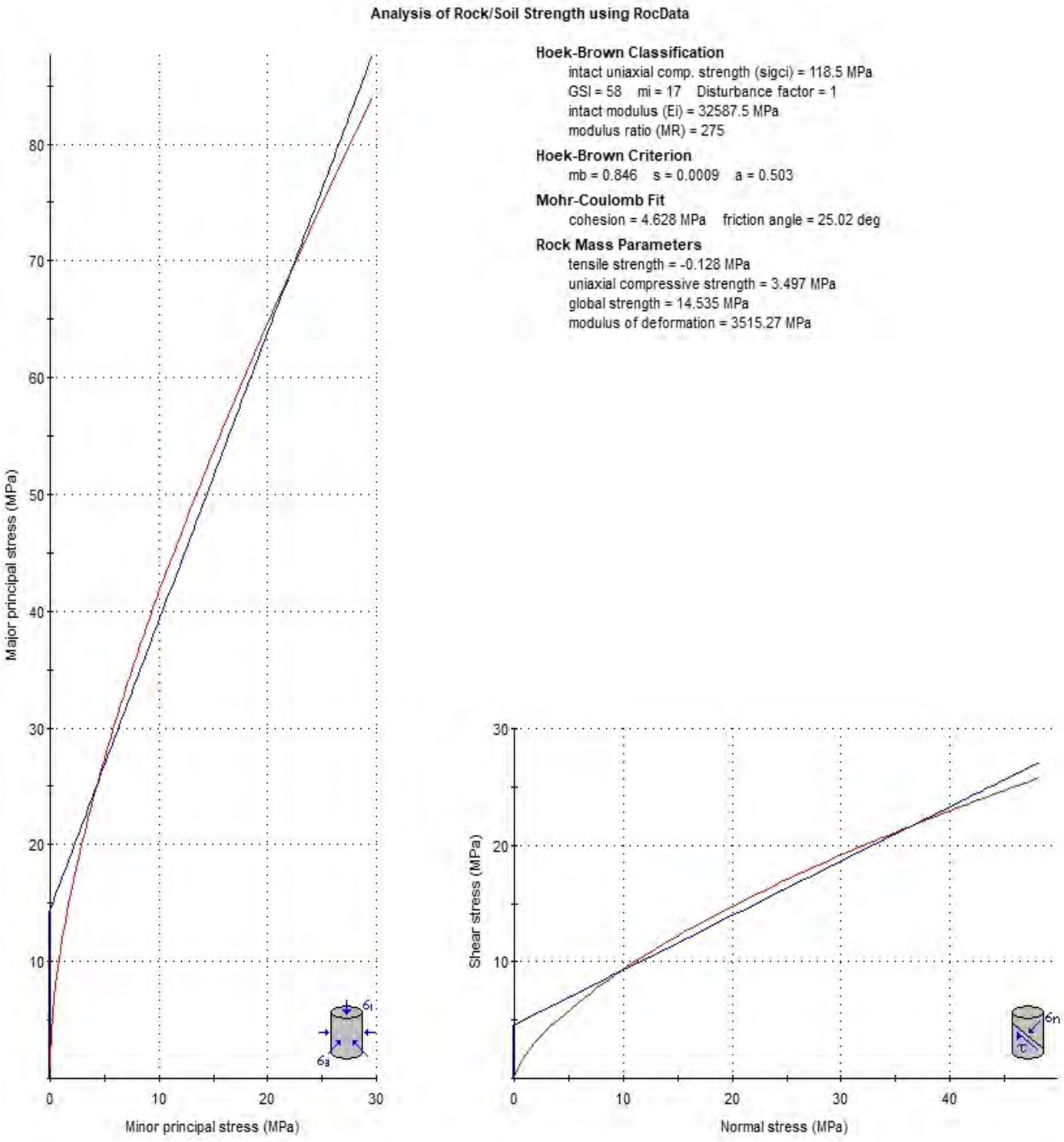


Tabla 46: *Resumen de los valores obtenidos en el Software Rocdata aplicando los valores de la estación N°12.*

Clasificación Hoek-Brown		Criterio Hoek-Brown		Mohr-Coulomb Fit	
Resistencia a la compresión de la Roca Intacta –sigci (MPa)	123.4 MPa	mb	0.183	Cohesión - c	2.600
		s	0.0001	Angulo de Fricción - phi	14.56
		a	0.509		
GSI	44	Rock Mass Parameters			
mi	10	Resistencia a la Tracción – sigt (MPa)		-0.060 MPa	
Factor de Disturbancia - D	1	Resistencia a la compresión Uniaxial – sigc (MPa)		1.070 MPa	
Modulo intacto - Ei	33935	Resistencia Global – sigcm (MPa)		6.722 MPa	
MR	275	Módulo de Deformación – Em (MPa)		1634.81 MPa	

Clasificación RMR

Para la clasificación RMR 89 de Bieniawski, se consideraron los resultados medidos en campo pertenecientes a la Estación Geomecánica Nº12. Entre las propiedades evaluadas se incluye la resistencia a compresión simple (MPa), determinada mediante esclerómetro y ensayos de compresión uniaxial. Para ambos casos, se realizó la correspondiente valoración RMR, sin embargo, debido a que en ambos ensayos el valor de la resistencia a la compresión fue mayor a 100 Mpa, lo cual se encuentra en el rango mayor a 100 Mpa se asigna una puntuación de 12 para ambos casos en la valoración RMR. Las siguientes tablas presentan un resumen de las características de las discontinuidades y la puntuación obtenida.

4.13 Estación Geomecánica N°13

La estación Geomecánica N°13 en la ubicada al Norte del sector Chocco, litológicamente está constituida por secuencias sedimentarias detríticas de coloración Rojizas, en específico areniscas, pertenecientes a la Formación Kayra. Geomorfológicamente dominan estructuras de pies de monte. Teniendo valores de Resistencia a la compresión Simple de 123.40 MPa, obtenido con el esclerómetro y adaptados usando el ábaco, además se determinó la estación como "BUENA", de acuerdo a la clasificación GSI y RMR, ya que se determina que la calidad del Macizo Rocoso es de 69.

Tabla 47: Coordenadas de la Estación Geomecánica N°13.

DATUM	ZONA	COORDENADAS		COTA (m.s.n.m)
		ESTE	NORTE	
WGS-84	19 S	177775	8500762	3482

Análisis DIPS de la Estación Geomecánica N°13

En la Figura 74, se observa las trazas de las discontinuidades (familias principales), en el cuadro superior derecho se tiene la lista de orientación de la familia de juntas (Dip y Dip Direction). En la Figura 75 se observa que la densidad más alta corresponde a la orientación principal, en esta estación se presenta en la junta J2 la cual presenta una orientación NW-SE.

Figura 74: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica N°13: Familia de discontinuidades.*

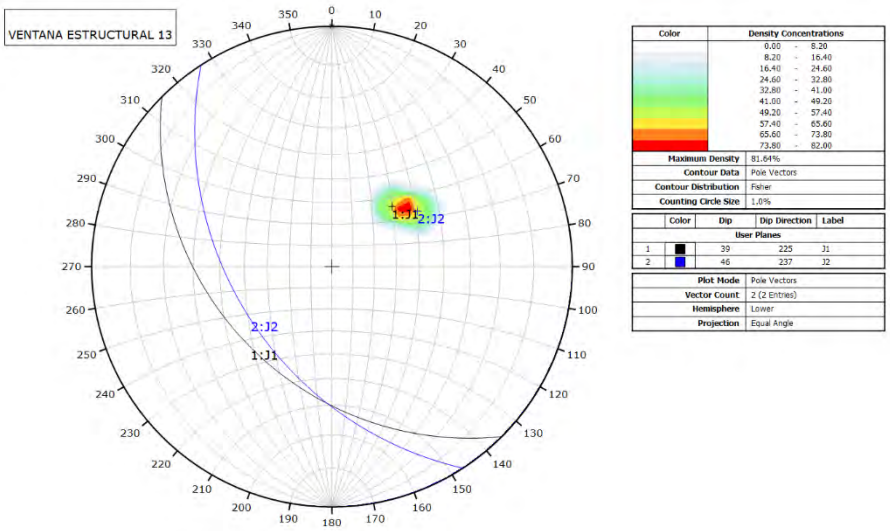
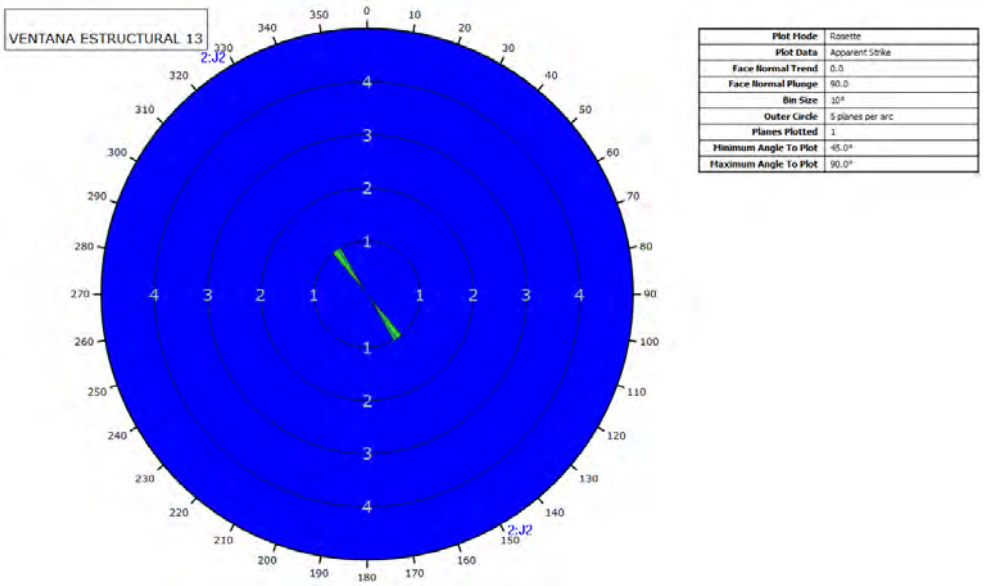


Figura 75: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica N°13: Roseta estructural.*



Cuadro 12. Cuadro de registro Geomecánico de la Matriz Rocosa de la estación N°13.

HOJA DE DESCRIPCIÓN DEL MACIZO ROCOSO

INFORMACION GENERAL

PROYECTO: INVESTIGACIÓN TESIS	**ESTACIÓN / PERFORACIÓN No.: 13**					**EJECUTADO:**		**RQD =** 78%
	UBICACIÓN:	**E**	177775	**CLIMA: SECO**		**REVISADO:**		**RMR =**
LOCALIZACIÓN: CHOCCO, SANTIAGO, CUSCO		**N**	8500762	**No. de hojas suplementarias de datos de las discontinuidades:**	**1**	**FECHA:**		**SMR =**
TIPO DE LOCALIDAD: Asentamiento Humano		**COTA**	3482			**HORA:**		**GSI =**

INFORMACIÓN DEL MATERIAL ROCOSO

LITOLOGÍA	**TIPO DE ROCA: Sedimentaria / Arenisca**			**COLOR Y TEXTURA: Rojo / Detritico**							**FORMACIÓN Y EDAD: Fm Kayra / Paleoceno-Eoceno inferior**						
	POTENCIA:			**GEOFORMA: Piedemonte**													
RESISTENCIA	**INDICE DE CAMPO**	Extremadamente Blanda (Uña)	Muy blanda (Navaja)	Blanda (Punta martillo)			Media (1 Golpe martillo)			Dura (+ 1 Golpe martillo)			Muy dura (Varios golpes)		Extremadamente dura (Solo raya con martillo)		
		0	1	2			3			4			5		6		
	RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO:			56	52	54	58	54	50	60	59	56	64	63	58	54	58	52

INFORMACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

FRACTURACIÓN	**BLOQUES**	Muy grandes	Grandes	Medios	Pequeños	Muy pequeños	Muy brechificado
	Jv diaclasas/m³	< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 30	>30	>60
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Sana	II Algo meteorizada	III Medianamente meteorizada	IV Muy meteorizada	V Completamente meteorizada / Descompuesta		VI Suelo residual
HIDROGEOLOGÍA	Sin presencia de agua	Seco, con señal de agua	Húmedo	Goteo	Flujo		CAUDAL ESTIMADO:
No. DE SETS DE DISCONTINUIDADES MAYORES		λ =(frecuencia de discontinuidades)/1		OBSERVACIONES			

FOTO

Clasificación Geomecánica – Geological Strength Index (GSI)

La estación N°13 cuenta con bloques grandes, con un promedio de diaclasas por metro cubico entre 2-5, se encuentra algo meteorizada, seco y con una ligera señal de agua, lo que nos estimó un valor de GSI equivalente a 70.

Figura 76: *Ploteo de datos obtenidos en campo para cálculo del GSI en la estación N°13.*

Clasificación RQD

Se calculó un RQD de la estación N°13 utilizando la formula descrita por Palstrom (1982), la cual utiliza el número de fisuras por metro lineal, teniendo un valor para a la estación N°13 de 90%, lo que nos indica que es de calidad buena, debido a que presenta un grado de fracturamiento alto con 8 discontinuidades en 1.5 metros, sin embargo, es necesario aplicar una metodología más robusta como RMR.

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

Donde:

$$\lambda = \frac{N° \ de \ fisuras}{Espaciamiento}$$

Cálculo del RQD para la Estación N°13

- Calculamos λ:

N° de fisuras = 8

Espaciamiento = 1.5m

$$\lambda = \frac{19}{1.4} = 5.3$$

- Calculamos el RQD

$$RQD = 100e^{-0.1x5.3}(0.1x5.3 + 1)$$

$$RQD = 90\%$$

Análisis Rocdata

El análisis desarrollado en el Software Rocdata es utilizado para determinar los esfuerzos y los parámetros, está en base a las teorías de Mohr Coulomb y Hoek y Brown, La figura 77 muestra las gráficas de esfuerzos para ambas teorías. Se utilizaron los resultados del ensayo a la compresión uniaxial, para esta ventana, la resistencia a la compresión es de 123.4 Mpa; se observan en los gráficos los esfuerzos principales mayores y menores, así como los esfuerzos normales y cortantes en las Areniscas de la Formación Kayra de la Estación N°13, resume los datos obtenidos con el Software).

Estos datos fueron contrastados con los obtenidos en ensayos específicos como carga puntual y compresión simple.

Figura 77: *Análisis de Esfuerzos Rocdata utilizando la clasificación de Morh – Coulomb y el criterio de Hoek y Brown en la estación N°13.*

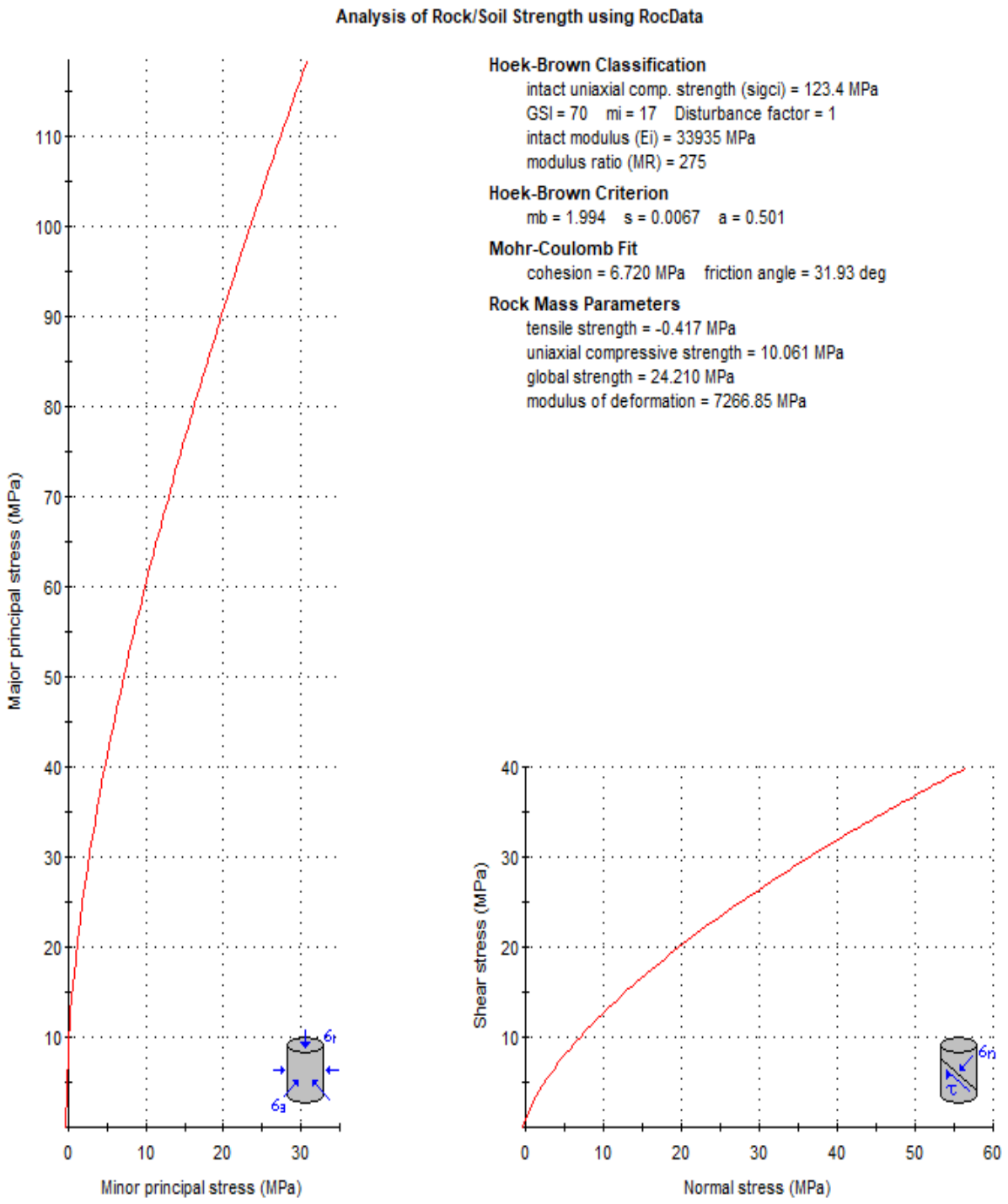


Tabla 48: *Resumen de los valores obtenidos en el Software Rocdata aplicando los valores de la estación N°13.*

Clasificación Hoek-Brown		Criterio Hoek-Brown		Mohr-Coulomb Fit	
Resistencia a la compresión de la Roca Intacta –sigci (MPa)	123.4 MPa	mb	1.994	Cohesión - c	6.71957 MPa
		s	0.007	Angulo de Fricción - phi	31.93
		a	0.501		
GSI	70	Rock Mass Parameters			
mi	17	Resistencia a la Tracción – sigt (MPa)		-0.416893 MPa	
Factor de Disturbancia - D	1	Resistencia a la compresión Uniaxial – sigc (MPa)		10.0609 MPa	
Modulo intacto - Ei	33935	Resistencia Global – sigcm (MPa)		24.21 MPa	
MR	275	Módulo de Deformación – Em (MPa)		7266.85 MPa	

Clasificación RMR

Para la clasificación RMR 89 de Bieniawski, se consideraron los resultados medidos en campo pertenecientes a la Estación Geomecánica Nº13. Entre las propiedades evaluadas se incluye la resistencia a compresión simple (MPa), determinada mediante esclerómetro y ensayos de compresión uniaxial. Para ambos casos, se realizó la correspondiente valoración RMR, sin embargo, debido a que en ambos ensayos el valor de la resistencia a la compresión fue mayor a 100 Mpa, lo cual se encuentra en el rango de 100 a 250 Mpa se asigna una puntuación de 12 para ambos casos en la valoración RMR. Las siguientes tablas presentan un resumen de las características de las discontinuidades y la puntuación obtenida.

4.14 Estación Geomecánica N°14

La estación Geomecánica N°14 en la ubicada al Norte del sector Chocco, litológicamente está constituida por secuencias sedimentarias detríticas de coloración Rojizas, en específico areniscas, pertenecientes a la Formación Kayra. Geomorfológicamente dominan estructuras de pies de monte. Teniendo valores de Resistencia a la compresión Simple de 115.42 MPa, obtenido con el esclerómetro y adaptados usando el ábaco, además se determinó la estación como "BUENA", de acuerdo a la clasificación GSI y RMR, ya que se determina que la calidad del Macizo Rocoso es de 68.

Tabla 49: *Coordenadas de la Estación Geomecánica N°14*

DATUM	ZONA	COORDENADAS		COTA (m.s.n.m)
		ESTE	NORTE	
WGS-84	19 S	177831	8500794	3502

Análisis DIPS de la Estación Geomecánica N°14

En la Figura 62a, se observa las trazas de las discontinuidades (familias principales), en el cuadro superior derecho se tiene la lista de orientación de la familia de juntas (Dip y Dip Direction). En la Figura 62b se observa que la densidad más alta corresponde a la orientación principal, en esta estación se presenta en la J1 la cual presenta una orientación NW-SE.

Figura 78: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica N°14: Familia de discontinuidades.*

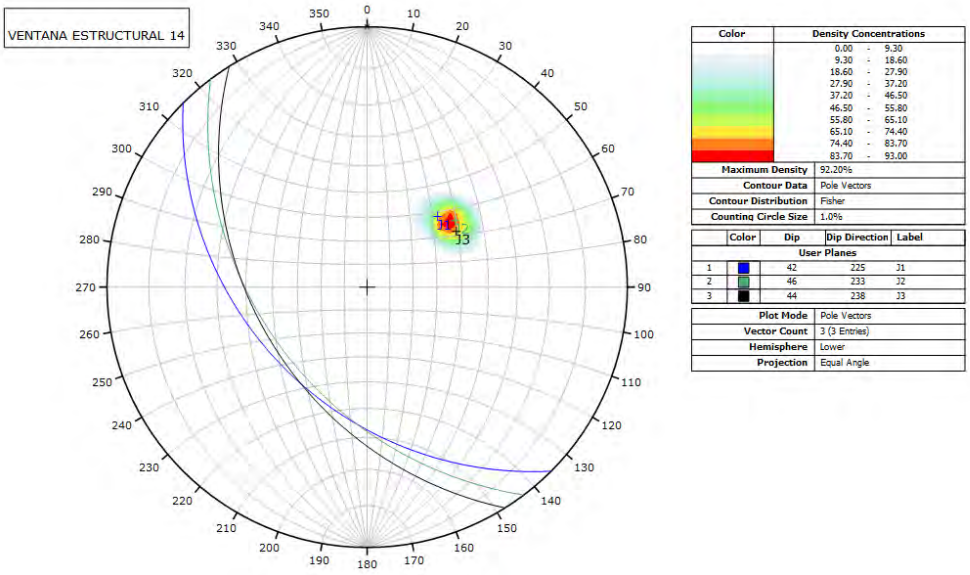
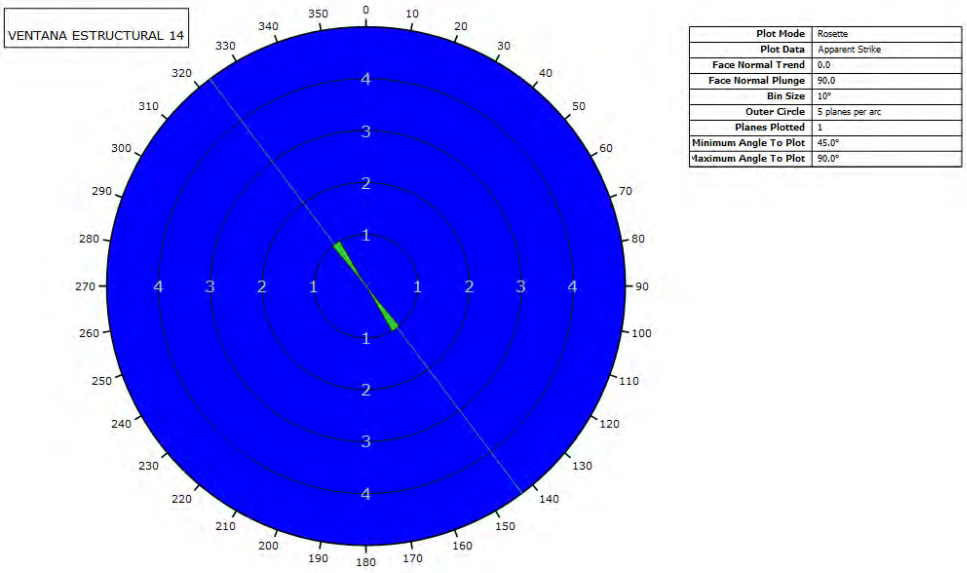


Figura 79: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica N°14: Roseta estructural.*



Cuadro 13. *Cuadro de registro Geomecánico de la Matriz Rocosa de la estación N°14.*

HOJA DE DESCRIPCIÓN DEL MACIZO ROCOSO

INFORMACION GENERAL

PROYECTO: INVESTIGACIÓN TESIS	**ESTACIÓN / PERFORACIÓN No.: 13**					**EJECUTADO:**		**RQD =** 78%
	UBICACÓN:	**E**	177775	**CLIMA: SECO**		**REVISADO:**		**RMR =**
LOCALIZACIÓN: CHOCCO, SANTIAGO, CUSCO		**N**	8500762	**No. de hojas suplementarias de datos de las discontinuidades:**	**1**	**FECHA:**		**SMR =**
TIPO DE LOCALIDAD: Asentamiento Humano		**COTA**	3482			**HORA:**		**GSI =**

INFORMACIÓN DEL MATERIAL ROCOSO

LITOLOGÍA	**TIPO DE ROCA: Sedimentaria / Arenisca**	**COLOR Y TEXTURA: Rojo / Detritico**	**FORMACIÓN Y EDAD: Fm Kayra / Paleoceno-Eoceno inferior**	
	POTENCIA:	**GEOFORMA: Piedemonte**		

RESISTENCIA	**INDICE DE CAMPO**	Extremadamente Blanda (Uña)	Muy blanda (Navaja)	Blanda (Punta martillo)	Media (1 Golpe martillo)	Dura (+ 1 Golpe martillo)	Muy dura (Varios golpes)	Extremadamente dura (Solo raya con martillo)
		0	1	2	3	4	5	6

RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO:															
56	52	54	58	54	50	60	59	56	64	63	58	54	58	52

INFORMACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

FRACTURACIÓN	**BLOQUES**	Muy grandes	Grandes	Medios	Pequeños	Muy pequeños	Muy brechificado
	Jv diaclasas/m³	< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 30	>30	>60
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Sana	II Algo meteorizada	III Medianamente meteorizada	IV Muy meteorizada	V Completamente meteorizada / Descompuesta		VI Suelo residual
HIDROGEOLOGÍA	Sin presencia de agua	Seco, con señal de agua	Húmedo	Goteo	Flujo		CAUDAL ESTIMADO:
No. DE SETS DE DISCONTINUIDADES MAYORES		λ =(frecuencia de discontinuidades)/1		OBSERVACIONES			

FOTO

Clasificación Geomecánica – Geological Strength Index (GSI)

La estación N°14 cuenta con bloques medianos a grandes, con un promedio de diaclasas por metro cubico entre 3-7, se encuentra algo meteorizada, seco y con una ligera señal de agua, lo que nos estimó un valor de GSI equivalente a 67.

Figura 80: *Ploteo de datos obtenidos en campo para cálculo del GSI en la estación N°14.*

Clasificación RQD

Se calculó un RQD de la estación N°14 utilizando la formula descrita por Palstrom (1982), la cual utiliza el número de fisuras por metro lineal, teniendo un valor para a la estación N°14 de 90%, lo que nos indica que es de calidad buena, debido a que presenta un grado de fracturamiento alto con 8 discontinuidades en 1.5 metros, sin embargo, es necesario aplicar una metodología más robusta como RMR.

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

Donde:

$$\lambda = \frac{N° \ de \ fisuras}{Espaciamiento}$$

Cálculo del RQD para la Estación N°14

- Calculamos λ:

N° de fisuras = 8

Espaciamiento = 1.5m

$$\lambda = \frac{19}{1.4} = 5.3$$

- Calculamos el RQD

$$RQD = 100e^{-0.1x5.3}(0.1x5.3 + 1)$$

$$RQD = 90\%$$

Análisis Rocdata

El análisis desarrollado en el Software Rocdata es utilizado para determinar los esfuerzos y los parámetros, está en base a las teorías de Mohr Coulomb y Hoek y Brown, La figura 81 muestra las gráficas de esfuerzos para ambas teorías. Se utilizaron los resultados del ensayo a la compresión uniaxial, para esta ventana, la resistencia a la compresión es de 115.42Mpa; se observan en los gráficos los esfuerzos principales mayores y menores, así como los esfuerzos normales y cortantes en las Areniscas de la Formación Kayra de la Estación N°14, resume los datos obtenidos con el Software). Estos datos fueron contrastados con los obtenidos en ensayos específicos como carga puntual y compresión simple.

Figura 81: *Análisis de Esfuerzos Rocdata utilizando la clasificación de Morh – Coulomb y el criterio de Hoek y Brown en la estación N°14*

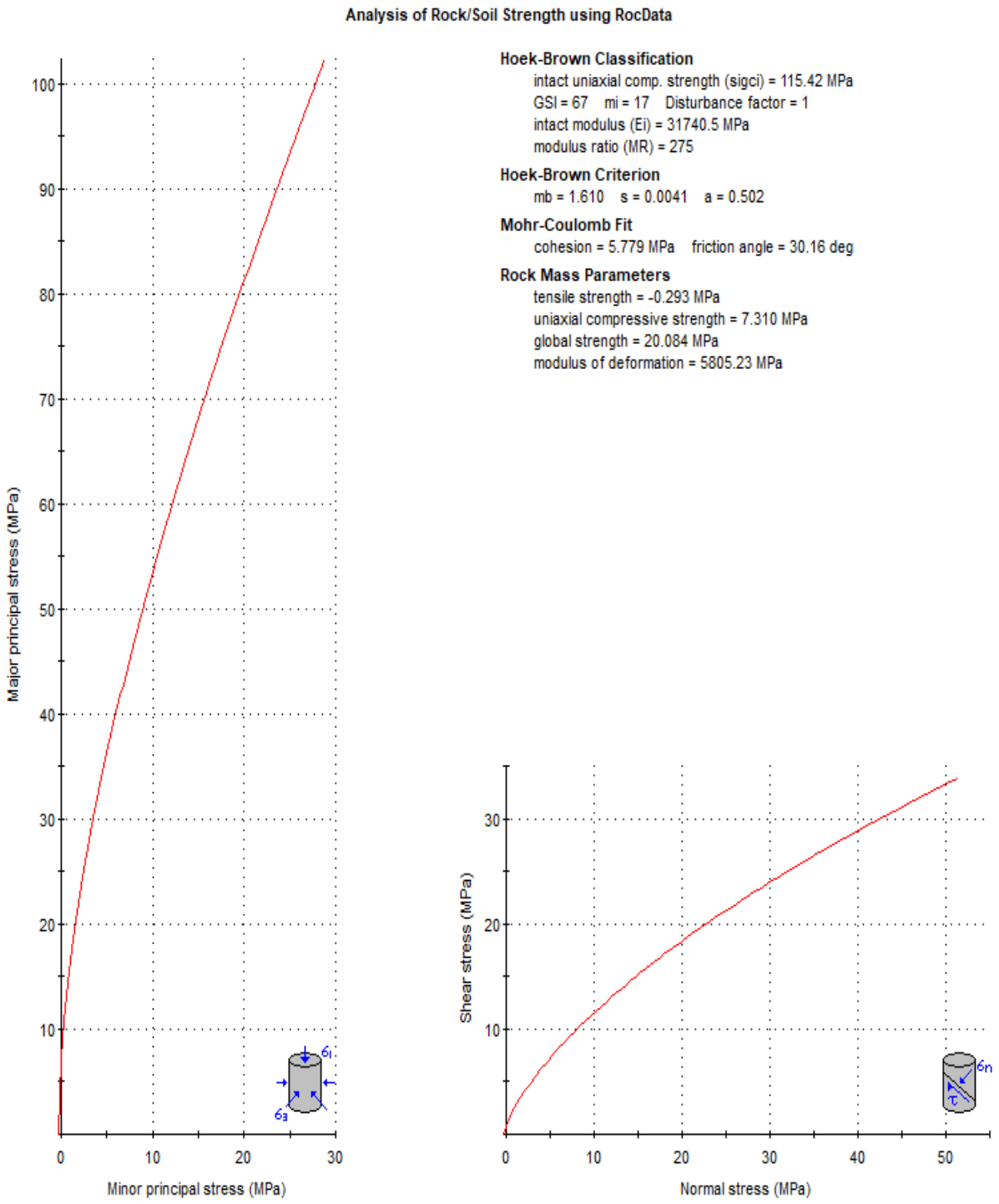


Tabla 50: *Resumen de los valores obtenidos en el Software Rocdata aplicando los valores de la estación N°14*

Clasificación Hoek-Brown		Criterio Hoek-Brown		Mohr-Coulomb Fit	
Resistencia a la compresión de la Roca Intacta –sigci (MPa)	115.42 MPa	mb	1.610	Cohesión - c	5.7786 MPa
		s	0.004	Angulo de Fricción - phi	30.16
		a	0.502		
GSI	67	Rock Mass Parameters			
mi	17	Resistencia a la Tracción – sigt (MPa)		-0.293026 MPa	
Factor de Disturbancia - D	1	Resistencia a la compresión Uniaxial – sigc (MPa)		7.3098 MPa	
Modulo intacto - Ei	31740.5	Resistencia Global – sigcm (MPa)		20.0839 MPa	
MR	275	Módulo de Deformación – Em (MPa)		5805.23 MPa	

Clasificación RMR

Para la clasificación RMR 89 de Bieniawski, se consideraron los resultados medidos en campo pertenecientes a la Estación Geomecánica Nº14. Entre las propiedades evaluadas se incluye la resistencia a compresión simple (MPa), determinada mediante esclerómetro y ensayos de compresión uniaxial. Para ambos casos, se realizó la correspondiente valoración RMR, sin embargo, debido a que en ambos ensayos el valor de la resistencia a la compresión fue mayor a 100 Mpa, lo cual se encuentra en el rango de 100 a 250 Mpa se asigna una puntuación de 12 para ambos casos en la valoración RMR. Las siguientes tablas presentan un resumen de las características de las discontinuidades y la puntuación obtenida.

4.15 Estación Geomecánica N°15

La estación Geomecánica N°15 en la ubicada al Norte del sector Chocco litológicamente está constituida por secuencias sedimentarias detríticas de coloración Rojizas, en específico areniscas, pertenecientes a la Formación Kayra. Geomorfológicamente dominan estructuras de pies de monte. Teniendo valores de Resistencia a la compresión Simple de 118.2 MPa, obtenido con el esclerómetro y adaptados usando el ábaco, además se determinó la estación como "BUENA", de acuerdo a la clasificación GSI y RMR, ya que se determina que la calidad del Macizo Rocoso es de 71

Tabla 51: *Coordenadas de la Estación Geomecánica N°15*

DATUM	ZONA	COORDENADAS		COTA (m.s.n.m)
		ESTE	NORTE	
WGS-84	19 S	177790	8500824	3507

Análisis DIPS de la Estación Geomecánica N°15

En la Figura 82, se observa las trazas de las discontinuidades (familias principales), en el cuadro superior derecho se tiene la lista de orientación de la estratificación y familia de juntas (Dip y Dip Direction). En la Figura 83 se observa que la densidad más alta corresponde a la orientación principal, en esta estación se presenta en las juntasJ1, J2 Y J4 las cuales presentan una orientación NW-SE.

Figura 82: *Proyección esterográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica N°15:Familia de discontinuidades*

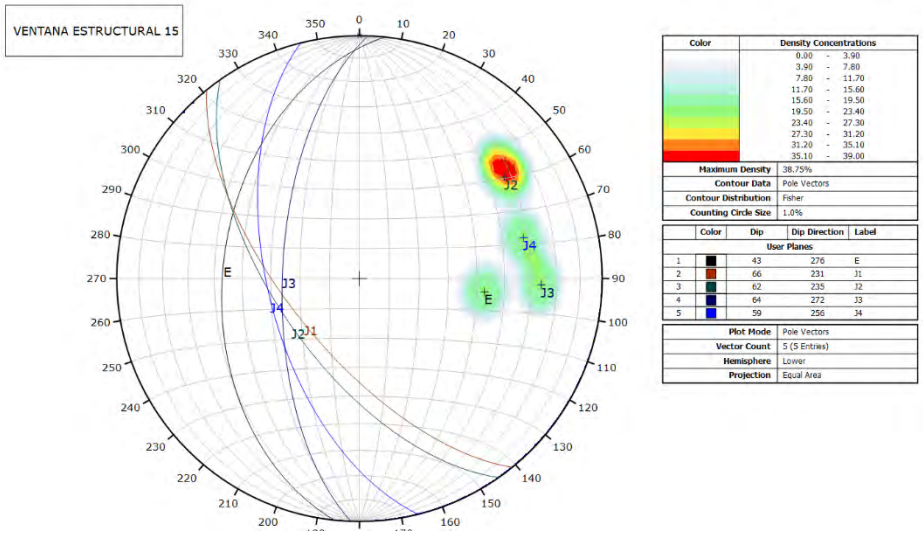
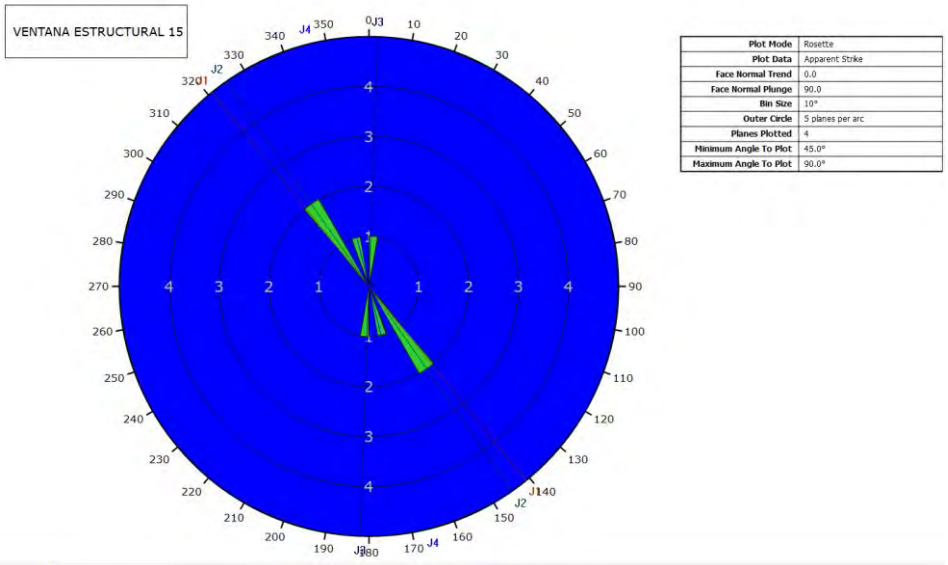


Figura 83: *Proyección estereográfica de las discontinuidades en la Estación Geomecánica N°15: Roseta estructural.*



Cuadro 14. *Cuadro de registro Geomecánico de la Matriz Rocosa de la estación N°15.*

HOJA DE DESCRIPCIÓN DEL MACIZO ROCOSO

INFORMACION GENERAL

PROYECTO: INVESTIGACIÓN TESIS	**ESTACIÓN / PERFORACIÓN No.: 13**					**EJECUTADO:**		**RQD =** 78%
	UBICACÓN:	**E**	177775	**CLIMA: SECO**		**REVISADO:**		**RMR =**
LOCALIZACIÓN: CHOCCO, SANTIAGO, CUSCO		**N**	8500762	**No. de hojas suplementarias de datos de las discontinuidades:**	**1**	**FECHA:**		**SMR =**
TIPO DE LOCALIDAD: Asentamiento Humano		**COTA**	3482			**HORA:**		**GSI =**

INFORMACIÓN DEL MATERIAL ROCOSO

LITOLOGÍA	**TIPO DE ROCA: Sedimentaria / Arenisca**	**COLOR Y TEXTURA: Rojo / Detritico**	**FORMACIÓN Y EDAD: Fm Kayra / Paleoceno-Eoceno inferior**	
	POTENCIA:	**GEOFORMA: Piedemonte**		

RESISTENCIA	**INDICE DE CAMPO**	Extremadamente Blanda (Uña)	Muy blanda (Navaja)	Blanda (Punta martillo)		Media (1 Golpe martillo)			Dura (+ 1 Golpe martillo)			Muy dura (Varios golpes)		Extremadamente dura (Solo raya con martillo)		
		0	1	2		3			4			5		6		
	RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO:	56	52	54	58	54	50	60	59	56	64	63	58	54	58	52

INFORMACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

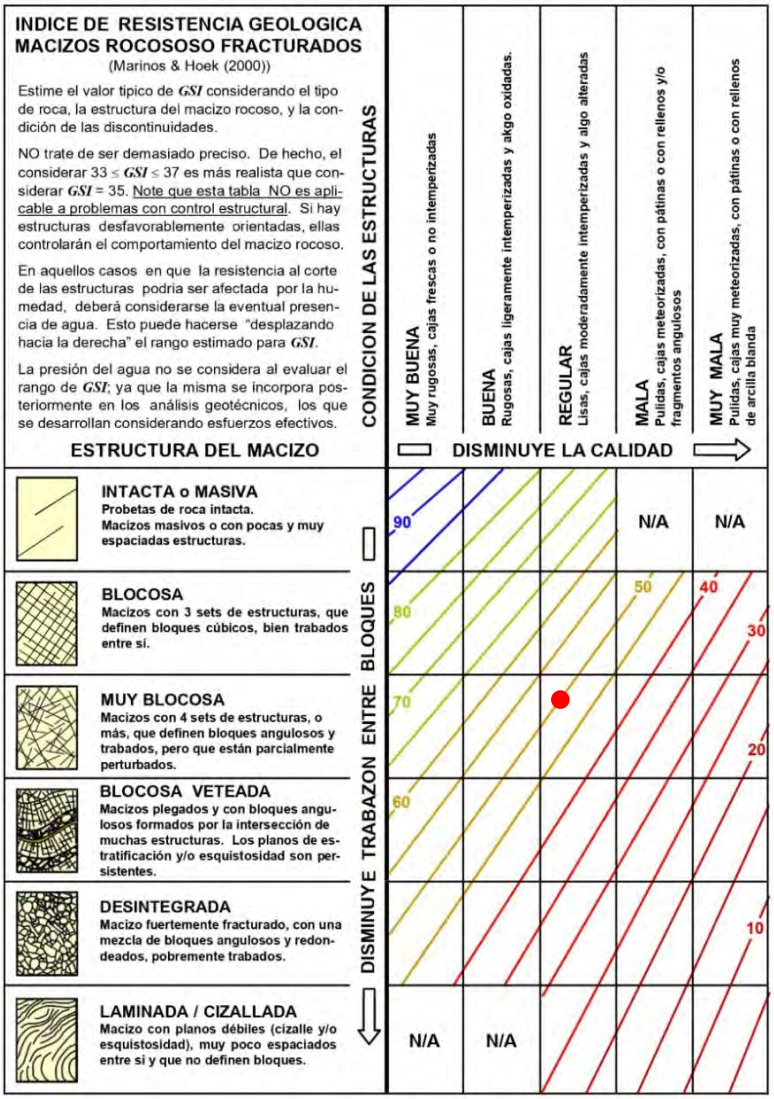
FRACTURACIÓN	**BLOQUES**	Muy grandes	Grandes	Medios	Pequeños	Muy pequeños	Muy brechificado
	Jv diaclasas/m³	< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 30	>30	>60
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Sana	II Algo meteorizada	III Medianamente meteorizada	IV Muy meteorizada	V Completamente meteorizada / Descompuesta		VI Suelo residual
HIDROGEOLOGÍA	Sin presencia de agua	Seco, con señal de agua	Húmedo	Goteo	Flujo		CAUDAL ESTIMADO:
No. DE SETS DE DISCONTINUIDADES MAYORES		λ =(frecuencia de discontinuidades)/1		OBSERVACIONES			

FOTO

Clasificación Geomecánica – Geological Strength Index (GSI)

La estación N°15 cuenta con bloques medianos a grandes, con un promedio de diaclasas por metro cubico entre 7-15, se encuentra algo meteorizada, seco y con una ligera señal de agua, lo que nos estimó un valor de GSI equivalente a 50.

Figura 84: *Ploteo de datos obtenidos en campo para cálculo del GSI en la estación N°15.*



Clasificación RQD

Se calculó un RQD de la estación N°15 utilizando la formula descrita por Palstrom (1982), la cual utiliza el número de fisuras por metro lineal, teniendo un valor para a la estación N°15 de 90%, lo que nos indica que es de calidad buena, debido a que presenta un grado de fracturamiento alto con 8 discontinuidades en 1.5 metros, sin embargo, es necesario aplicar una metodología más robusta como RMR.

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

Donde:

$$\lambda = \frac{N° \ de \ fisuras}{Espaciamiento}$$

Cálculo del RQD para la Estación N°15

- Calculamos λ:

N° de fisuras = 8

Espaciamiento = 1.5m

$$\lambda = \frac{19}{1.4} = 5.3$$

- Calculamos el RQD

$$RQD = 100e^{-0.1x5.3}(0.1x5.3 + 1)$$

$$RQD = 90\%$$

Análisis Rocdata

El análisis desarrollado en el Software Rocdata es utilizado para determinar los esfuerzos y los parámetros, está en base a las teorías de Mohr Coulomb y Hoek y Brown, La figura 85 muestra las gráficas de esfuerzos para ambas teorías. Se utilizaron los resultados del ensayo a la compresión uniaxial, para esta ventana, la resistencia a la compresión es de 118.2 Mpa; se observan en los gráficos los esfuerzos principales mayores y menores, así como los esfuerzos normales y cortantes en las areniscas de la Formación Kayra de la Estación N°15, resume los datos obtenidos con el Software). Estos datos fueron contrastados con los obtenidos en ensayos específicos como carga puntual y compresión simple.

Figura 85: *Análisis de Esfuerzos Rocdata utilizando la clasificación de Morh – Coulomb y el criterio de Hoek y Brown en la estación N°15.*

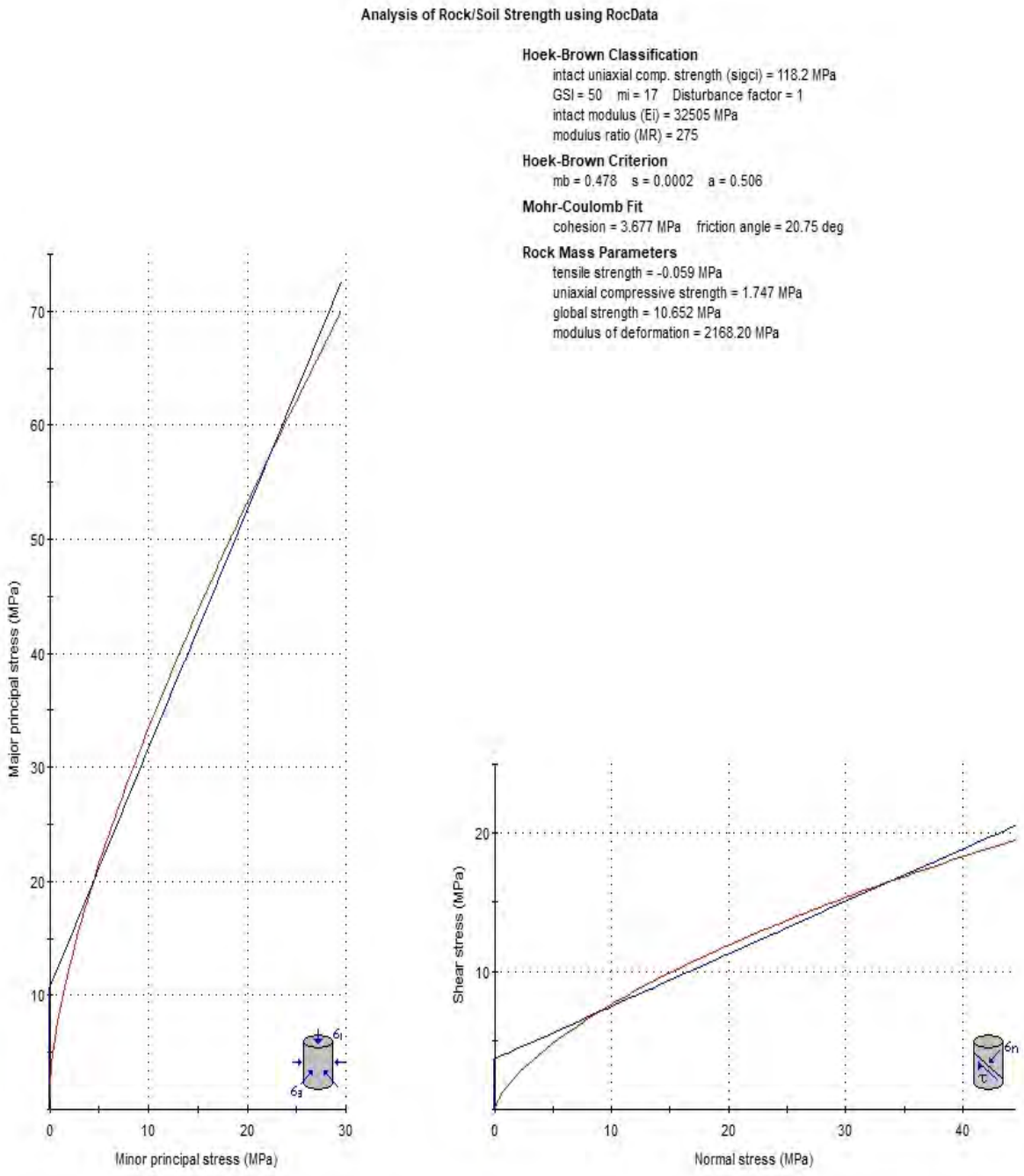


Tabla 52: *Resumen de los valores obtenidos en el Software Rocdata aplicando los valores de la estación N°15*

Clasificación Hoek-Brown		Criterio Hoek-Brown		Mohr-Coulomb Fit	
Resistencia a la compresión de la Roca Intacta –sigci (MPa)	118 MPa	mb	0.478	Cohesión - c	3.67112 MPa
		s	0.000	Angulo de Fricción - phi	20.75
		a	0.506		
GSI	50	Rock Mass Parameters			
mi	17	Resistencia a la Tracción – sigt (MPa)		-0.0593423 MPa	
Factor de Disturbancia - D	1	Resistencia a la compresión Uniaxial – sigc (MPa)		1.7441 MPa	
Modulo intacto - Ei	32450	Resistencia Global – sigcm (MPa)		10.6335 MPa	
MR	275	Módulo de Deformación – Em (MPa)		2164.53 MPa	

Clasificación RMR

Para la clasificación RMR 89 de Bieniawski, se consideraron los resultados medidos en campo pertenecientes a la Estación Geomecánica Nº15. Entre las propiedades evaluadas se incluye la resistencia a compresión simple (MPa), determinada mediante esclerómetro y ensayos de compresión uniaxial. Para ambos casos, se realizó la correspondiente valoración RMR. Las siguientes tablas presentan un resumen de las características de las discontinuidades y la puntuación obtenida para cada ensayo.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Se realizaron 15 estaciones geomecánicas que permitieron evaluar las propiedades del macizo rocoso de la Formación Kayra, aplicando los índices RMR89, GSI y RQD. Los resultados del RMR89 mostraron variaciones entre las estaciones ubicadas en el sector Chocco, lo que evidencia un comportamiento heterogéneo del macizo. Estas diferencias están relacionadas con factores como la litología, el grado de fracturación, el nivel de meteorización, las condiciones de las discontinuidades y la presencia de agua, entre otros elementos que condicionan su calidad geomecánica.

Análisis de la resistencia

La resistencia a la compresión de la roca se estimó directamente en campo mediante el uso de un esclerómetro. En cada estación geomecánica se registraron 20 mediciones del índice de rebote, las cuales fueron posteriormente ordenadas de menor a mayor. Para el análisis se consideraron únicamente los 10 valores más representativos, con los que se obtuvo un promedio utilizado en la determinación de la resistencia a la compresión, aplicando el ábaco de corrección correspondiente.

Los valores finales de resistencia a la compresión (MPa) corregidos para cada estación geomecánica se presentan en la tabla 54.

Tabla 53: *Valores de rebote del esclerómetro*

Ventana estructural 1		
Formacion Kayra		
Orientacion de martillo	Valor de rebote	Vaores ordenados
←	30	30
←	34	31
←	38	32
←	38	34
←	36	34
←	40	34
←	36	36
←	39	36
←	34	38
←	32	38
←	31	39
←	34	40
←	49	42
←	44	43
←	42	44
←	48	47
←	43	47
←	47	48
←	48	48
←	47	49

Figura 86: *Abaco para estimar la resistencia a la compresión de la Estación Geomecánica*

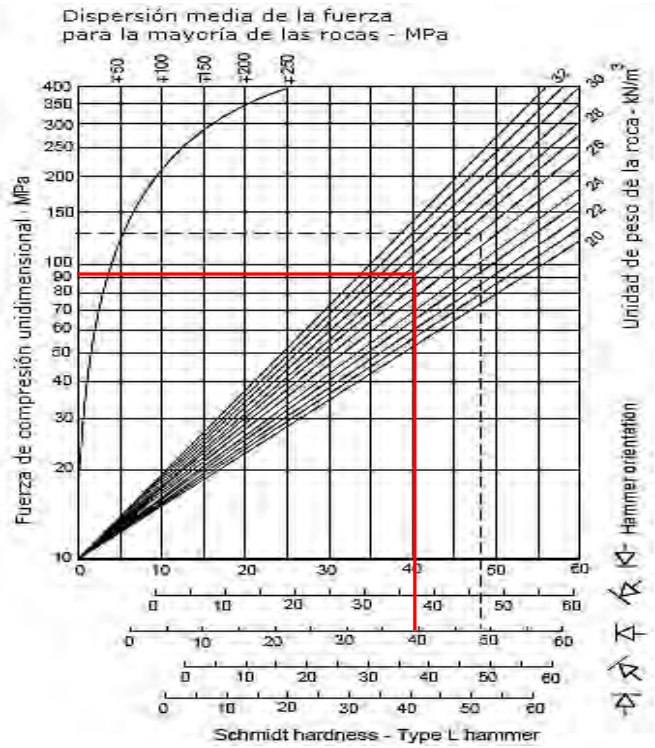


Tabla 54: *Resultados de la resistencia a la compresión calculada con el esclerómetro para cada Estación Geomecánica*

Estación	Esclerómetro (kg/cm²)
EG-1	93
EG-2	100
EG-3	96
EG-4	101
EG-5	95
EG-6	95
EG-7	70
EG-8	87
EG-9	102
EG-10	105
EG-11	110
EG-12	110
EG-13	110
EG-14	110
EG-15	100

Asimismo, se realizaron ensayos de carga puntual y resistencia a la compresión uniaxial, el ensayo de la resistencia a la compresión uniaxial garantiza que el trabajo sea analizado utilizando una muestra de matriz rocosa la cual se encuentra inalterada, por tal motivo para el cálculo de las

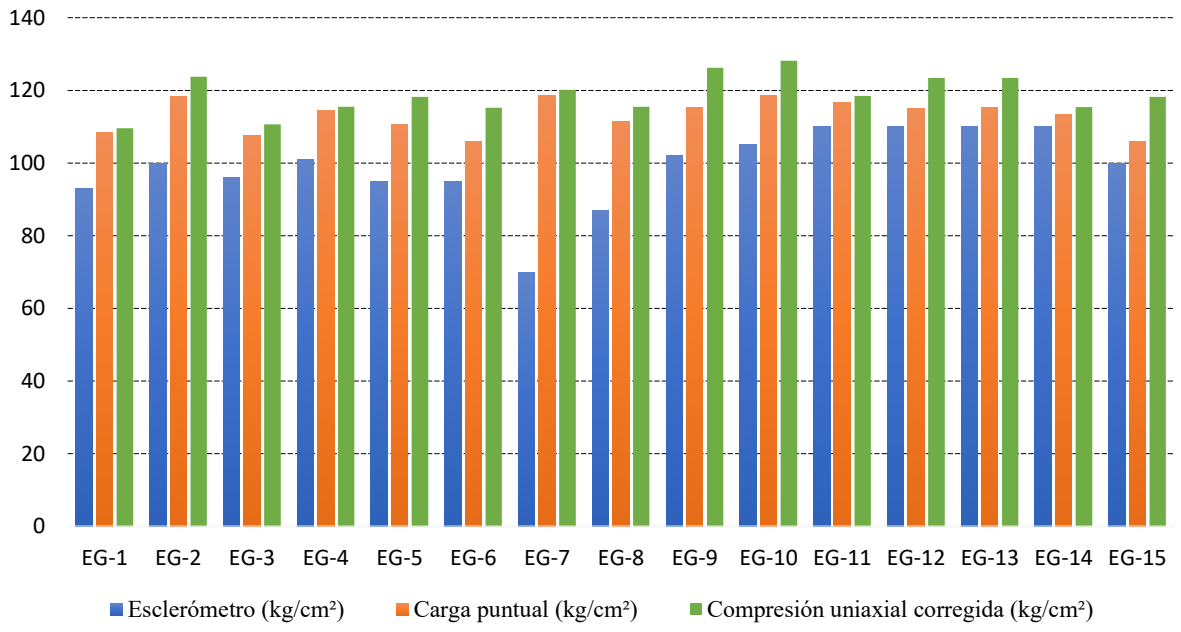
propiedades geomecánicas (cohesión y ángulo de fricción) utilizando el software Rocdata se consideró trabajar con los valores de la resistencia a la compresión uniaxial.

En la siguiente tabla se observa los resultados obtenidos para la resistencia a la compresión utilizando el esclerómetro, carga puntual y compresión uniaxial.

Tabla 55: *Resultados de la resistencia a la compresión*

Estación	Esclerómetro (kg/cm²)	Carga puntual (kg/cm²)	Compresión uniaxial corregida (kg/cm²)
EG-1	93	108.50	109.6
EG-2	100	118.21	123.8
EG-3	96	107.60	110.60
EG-4	101	114.47	115.45
EG-5	95	110.53	118.25
EG-6	95	105.84	115.22
EG-7	70	118.70	120.12
EG-8	87	111.38	115.52
EG-9	102	115.38	126.25
EG-10	105	118.57	128.2
EG-11	110	116.61	118.5
EG-12	110	114.92	123.4
EG-13	110	115.38	123.40
EG-14	110	113.26	115.42
EG-15	100	105.92	118.2

En la siguiente grafica se observa la comparación entre los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión para cada estación geomecánica utilizando los tres ensayos, se puede apreciar que en las estaciones estos valores se mantienen similares.



Del gráfico anterior se determinó que los valores obtenidos mediante los ensayos de carga puntual y compresión uniaxial corregida presentan resultados superiores a 100 MPa en la mayoría de las estaciones geomecánicas evaluadas. En el caso de la compresión uniaxial corregida, todas las estaciones registran valores comprendidos aproximadamente entre 109 MPa y 128 MPa, por lo que, de acuerdo con la clasificación RMR 89 de Bieniawski, estas se ubican dentro del rango de 100 a 250 MPa, obteniendo una valoración de 12 puntos para el parámetro de resistencia de la roca intacta.

Por otro lado, los resultados obtenidos mediante el esclerómetro muestran valores menores a 100 MPa en las estaciones EG-1, EG-2, EG-3, EG-5, EG-6, EG-7 y EG-8, con registros aproximados entre 70 MPa y 96 MPa. Según la clasificación RMR 89, dichas estaciones corresponden al rango de 50 a 100 MPa, alcanzando una puntuación de 7. En contraste, las estaciones EG-4 y desde EG-9 hasta EG-15 presentan valores iguales o superiores a 100 MPa, por lo que se clasifican dentro del rango de 100 a 250 MPa, obteniendo una valoración de 12 puntos.

En la siguiente tabla se muestra los resultados de los parámetros geomecánicos de cada estación en la cual se determina que el tipo de roca es calidad Buena, a excepción de la E.G. 8 que presenta una calidad regular

Tabla 56: *Resultados de las propiedades geomecánicas de cada estación*

ESTACIÓN GEOMECÁNICA	PARÁMETROS GEOMECÁNICOS						
	σci (Mpa)	φ (º)	C' (Mpa)	GSI	RQD	RMR	Tipo de roca
EG Nº1	109.6	27.02	4.6	50	92	67	Buena
EG Nº2	123.8	24.97	4.86	55	85	67	Buena
EG Nº3	110.60	23.38	3.972	55	75.9	63	Buena
EG Nº4	115.45	20.75	3.592	50	87.8	61	Buena
EG Nº5	118.25	27.27	5.158	62	87.8	61	Buena
EG Nº6	115.22	25.02	4.5	58	65.5	64	Buena
EG Nº7	120.12	34.9	7.564	65	85.8	62	Buena
EG Nº8	115.52	18.27	3.092	45	75.9	58	Regular
EG Nº9	126.25	16.85	3.074	42	76	78	Buena
EG Nº10	128.2	16.28	3.074	48	85.5	63	Buena
EG Nº11	118.5	25.02	4.628	58	76.6	63	Buena
EG Nº12	123.4	14.56	2.6	44	60.6	66	Buena
EG Nº13	123.40	31.93	6.72	70	90	69	Buena
EG Nº14	115.42	30.16	5.77	67	90	68	Buena
EG Nº15	118.2	20.75	3.67	50	90	71	Buena

El ensayo químico realizado a la muestra representativa de material pétreo correspondiente a la Formación Kayra reportó una pérdida por acción de sulfato de magnesio del 3.74%, resultado que se encuentra dentro de los límites permisibles establecidos por las normas ASTM C88 y MTC E 209. Este valor indica que el material posee buena resistencia frente a los procesos de desintegración por cristalización de sales, lo que sugiere una baja alterabilidad en condiciones de exposición a soluciones salinas.

Desde una perspectiva química, la baja pérdida por acción del sulfato indica que la roca contiene una composición mineralógica resistente a procesos de intemperismo químico, especialmente frente a ambientes ricos en sulfatos, por tal motivo el grado de alteración en las 15 estaciones geomecánicas se encontraba en ligeramente alterada a moderadamente alterada. Esta resistencia puede estar relacionada con un bajo contenido de minerales arcillosos expansivos o sulfatables, como yeso o anhidrita, y un predominio de minerales silicatados más estables como feldespatos potásicos, lo cual se alinea con la buena estabilidad observada en el ensayo.

Los resultados indican una mayor durabilidad de la roca frente a ciclos de humedecimiento-secado, un factor determinante en la estabilidad de macizos rocosos sometidos a variaciones ambientales o hidrogeológicas. La resistencia a la desintegración química se asocia directamente con una mayor calidad geomecánica del macizo, favoreciendo parámetros como el Índice de Calidad de Roca (RQD), la resistencia al corte y la estabilidad general en obras de ingeniería civil y minera.

El ensayo de abrasión en la Máquina de Los Ángeles se realizó conforme a la norma MTC E 207–2016, con el objetivo de evaluar la resistencia del agregado frente al desgaste mecánico. La muestra ensayada presentó un peso total de 5004.87 g y fue sometida a 500 revoluciones utilizando 12 esferas abrasivas. Como resultado, se obtuvo un porcentaje de abrasión de 50.71 %,

indicando que más de la mitad del material sufrió desgaste durante el ensayo. Este valor evidencia que el agregado posee una resistencia moderada a baja frente a procesos de impacto y fricción. Asimismo, el gráfico (ver anexo) muestra que el 49.29 % corresponde al material resistente y el 50.71 % al material desgastado. En términos geomecánicos, estos resultados sugieren que el material presenta susceptibilidad a la fragmentación bajo condiciones de carga y abrasión continua.

El ensayo de peso específico de suelos para la fracción gruesa se realizó conforme a la norma MTC E 206, basada en ASTM C-127 y AASHTO T-85, con el propósito de determinar la gravedad específica de las gravas evaluadas. La muestra presentó un peso seco de 962.06 g y un peso saturado superficialmente seco de 993.00 g. Como resultado, se obtuvo un peso específico aparente corregido de 2.47 g/cm³, valor característico de materiales granulares con densidad media a alta. Asimismo, el porcentaje de error obtenido fue de 0.00 %, indicando una adecuada precisión en el desarrollo del ensayo. En términos geotécnicos, este resultado sugiere que el material posee una composición mineralógica relativamente compacta y adecuada para aplicaciones en obras de ingeniería civil y geotecnia.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. La caracterización geomecánica de la Formación Kayra permitió establecer en general que el macizo rocoso presenta una calidad de buena según la clasificación RMR 89 de Bieniawski. De las 15 estaciones geomecánicas evaluadas, 14 fueron clasificadas como roca buena tipo II (61 % a 78 %) y 1 como regulares tipo III (58 %), evidenciando una predominancia de condiciones favorables para la ejecución de obras civiles, aunque con variabilidad local. Se identificaron las condiciones litológicas (roca arenisca intercaladas con de lutitas), estructurales (discontinuidades que condicionan el grado de fracturamiento las rocas), estas condiciones incluyen directamente en la calidad del macizo rocoso.
2. Las características geológicas como la estratigrafía, estructuras y geomorfología influyen significativamente en el comportamiento del macizo rocoso frente a obras civiles. En particular, la presencia de estructuras geológicas activas o zonas de debilidad puede comprometer la estabilidad del macizo rocoso.
3. La clasificación RMR evidenció que la calidad del macizo rocoso está fuertemente influenciada por las condiciones estructurales. Las zonas con menor fracturamiento y discontinuidades espaciadas registraron mejores calificaciones en la escala RMR. La mayoría de las estaciones mostraron condiciones geomecánicas adecuadas, lo que sugiere un comportamiento estructural estable en la mayor parte del sector estudiado.

4. Los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia, abrasión y peso específico muestran un comportamiento geomecánico coherente del material evaluado. Los ensayos de compresión uniaxial, carga puntual y esclerómetro evidencian valores de resistencia moderada a alta en la mayoría de las estaciones geomecánicas, indicando una roca relativamente competente. Asimismo, el peso específico promedio de 2.47 g/cm³ sugiere la presencia de un material compacto y con densidad media a alta, característica asociada generalmente a agregados con buena resistencia mecánica. Sin embargo, el ensayo de abrasión Los Ángeles presentó un desgaste de 50.71 %, lo que indica una susceptibilidad moderada a la fragmentación y al desgaste por impacto. Esta relación evidencia que, aunque el material posee una resistencia aceptable y una densidad adecuada, presenta cierta debilidad frente a esfuerzos abrasivos continuos, posiblemente debido a microfracturas, grado de alteración o características mineralógicas propias del material rocoso.
5. Se identificó que las características estructurales, especialmente el grado de fracturamiento, la apertura, la persistencia y la orientación de las discontinuidades, tienen un papel importante en la valoración de la calidad del macizo rocoso. En la estación donde se observó un mayor grado de fracturamiento, los valores del RMR fueron menores, clasificándose como de calidad regular tipo III.

Recomendaciones

1. Se recomienda desarrollar una segunda fase de estudios, centrada en la caracterización hidrogeológica y su integración con los datos estructurales y geomecánicos existentes, para lograr un modelo geotécnico más robusto y confiable. La hidrogeología es fundamental en un estudio de caracterización geomecánica de rocas debido a que el agua influye directamente en la estabilidad y comportamiento del macizo rocoso. Conocer la presencia de agua subterránea, su flujo y presión permite anticipar cómo las rocas y sus fracturas reaccionarán frente a cargas, excavaciones o cimentaciones, evitando problemas como deslizamientos, asentamientos o filtraciones. Además, ayuda a obtener mediciones más realistas de la resistencia de la roca, planificar obras civiles seguras y duraderas, y diseñar sistemas de drenaje que protejan tanto la infraestructura como el entorno. En pocas palabras, integrar la hidrogeología asegura que las decisiones de construcción sean confiables, sostenibles y seguras para quienes vivirán y trabajarán en la zona.
2. Se recomienda realizar ensayos específicos como pruebas de permeabilidad, mediciones de nivel freático, mapeo de surgencias y análisis de flujo subterráneo, con el fin de evaluar la influencia del agua en la estabilidad del macizo rocoso, especialmente en zonas donde se podrían desarrollar obras civiles subterráneas o a cielo abierto. Debido a que la falta de información hidrogeológica representó una limitación importante en la presente caracterización geomecánica.
3. Se recomienda complementar la presente evaluación mediante la ejecución de ensayos de corte directo sobre muestras representativas de cada estación geomecánica, con la finalidad de determinar con mayor precisión los parámetros de resistencia al corte, tales como la cohesión (c) y el ángulo de fricción interna (φ). Asimismo, se recomienda la

realización de investigaciones geotécnicas mediante perforaciones diamantinas o calicatas profundas que permitan obtener información detallada de la calidad del macizo rocoso, incluyendo la determinación del índice RQD (Rock Quality Designation) y otros parámetros geomecánicos relevantes.

4. La presente investigación no contempló la ejecución de dichos ensayos y perforaciones debido a las limitaciones presupuestales del proyecto y a la disponibilidad restringida de equipos especializados para este tipo de estudios. No obstante, su implementación en etapas posteriores permitirá reducir la incertidumbre asociada a la caracterización geomecánica y mejorar la confiabilidad de los análisis de estabilidad y diseño geotécnico.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Arellano Gil, J., de la Llata Romero, R., Carreón Méndez, M., Villarreal Morán, J., & Morales Barrera, W. (2002). *EJERCICIOS DE GEOLOGIA ESTRUCTURAL* .

Benavente Escóbar , C., Delgado Madera, F., Taipe Maquerhua , E., Audin , L., & Pari Pinto, W. (2013). *Neotectónica y Peligro Sísmico.*

Aucay Maldonado, L. E., & Ordoñez Ordoñez, J. D. (2019). *APLICABILIDAD DEL ESCLERÓMETRO O MARTILLO DE SCHMIDT A LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE EN ROCAS.* Cuenca: Repositorio Universidad del Azuay.

Coila Valdez, P. A. (2019). *CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS IGNIMBRITAS DE LA FORMACION HUAYLLAS DEL CERRO INTIORKO, CON FINES DE CIMENTACIÓN (DISTRITO DE ALTO DE LA ALIANZA - TACNA).* Alto de la Alianza: Repositio de la Universidad Nacional de San Agustin.

Fossen, H. (2016). *Structural Geology.*

Gonzáles de Vallejo, L. (2002). *INGENIERÍA GEOLÓGICA.* Madrid: PEARSON Educación.

Gonzáles Maldonado, A. (2018). *Caracterizacion geomecánica del macizo rocoso,para su aplicacion en geotécnia, en el sector Lucarqui, Loja- Ecuador.*

Hizarra Samaniego, J., Lopez Camargo, J., & Navarro Romo, J. (2021). *Evaluación geomecánica del macizo rocoso para determinar el angulo de reposo del talud, carretera tramo San Antonio puente Chiquiacc, Huancavelica-2021.*

Luza Sucapuca, N. F. (2021). *"ANÁLISIS GEOMECÁNICO PARA DETERMINAR LOS FACTORES CRITICOS QUE GENERAN LA INESTABILIDAD DE LOS TALUDES,*

TRAMO DE LA CARRETERA CON PROGRESIVAS KM3+000 – KM7+000 BAÑOS DEL INCA – LLACANORA. Piura: Repositorio de la Universidad Privada del Norte .

Mansilla Miranda, C., & Pacheco Barrientos, J. (2006). *CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LA FORMACIÓN LORETO EN EL SECTOR SUR DE LA CIUDAD DE PUNTA ARENAS.* Punta Arenas: Repositorio de la Universidad de Magallanes.

Medina Allcca, L., Núñez Peredo, M., Vílchez Mata, M., Peña Laureano, F., Gómez Velasquez, H., & Sosa Senticala, N. (2021). *Peligro geológico por movimientos en masa e inundación fluvial en la ciudad de Cusco.*

Ramirez Oyanguren, P., & Alejano Monge, L. (2004). *MECÁNICA DE ROCAS: FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA DE TALUDES.* Madrid.

Sanchez, A. M. (2017). *EVALUACIÓN GEOMECÁNICA-GEOTÉCNICA DE LA CARRETERA EL TAYAL - SANTA ISOLINA BAJO , PROVINCIA DE CHOTA CAJAMARCA .*

Suárez-Burgoa, L. (2015). *Descripción del MACIZO ROCOSO, INTRODUCCION A LA INGENIERIA DE ROCAS DE SUPERFICIE Y SUBTERRÁNEA* (Segunda ed.). Medellín: Sin Editorial.

ANEXOS

Anexo A: Matriz de consistencia

Anexo B: Cuadro de operacionalización de variables

Anexo C: Resultados de esclerómetro – Martillo de Schmidt

Anexo D: Resultado de ábaco, del ensayo de esclerometría

Anexo E: Planos De Ubicación

Anexo F: Plano MDE

Anexo G: Plano De Pendientes

Anexo H: Plano Geologico Regional

Anexo I: Plano Geologico Local

Anexo J: Plano De Geologia Estructural

Anexo K: Plano Geomorfologico

Anexo J: Plano Geomecánico

Anexo K: Clasificación RMR, determinado rango de valores de las E.G.

Anexo A: Matriz de Consistencia

Matriz de Consistencia			
Problema General	**Objetivo General**	**Hipótesis General**	**Metodología**
¿Cuáles son las características geomecánicas del macizo rocoso de la Formación Kayra y de qué manera influyen para la construcción de obras civiles en el sector Chocco, distrito de Santiago – Cusco?	Realizar la caracterización geomecánica del macizo rocoso de la Formación Kayra para evaluar su comportamiento y su aptitud para la construcción de obras civiles en el sector Chocco, distrito de Santiago – Cusco.	La caracterización geomecánica de la Formación Kayra en el sector Chocco, en el distrito de Santiago, permitirá identificar las condiciones litológicas, estructurales y morfológicas que influyen en la calidad del macizo rocoso y el comportamiento del afloramiento frente a esfuerzos externos que puedan suceder sobre el mismo y afectar la construcción de las obras civiles.	**Tipo de investigación** El estudio se enmarca dentro de una investigación aplicada, ya que busca generar conocimiento específico sobre las propiedades geomecánicas del macizo rocoso que pueda ser utilizado directamente en la planificación y diseño de obras civiles en zonas de expansión urbana. Además, tiene un enfoque cuantitativo, porque implica mediciones y análisis de propiedades físicas, mecánicas de las rocas. **Diseño de investigación.** El diseño de investigación es no experimental, descriptivo y transversal. **Nivel de investigación.** El estudio se sitúa en un nivel explicativo-descriptivo.
Problema especifico	**Objetivo Especifico**	**Hipótesis Especifica**	
¿Como influyen las características geológicas (estratigrafía, características estructurales, geomorfología) del macizo rocoso de la formación Kayra en la construcción de obras civiles en el sector Chocco?	Dar a conocer cómo influyen las características geológicas (estratigrafía, características estructurales, geomorfología) del macizo rocoso de la Formación Kayra en la construcción de obras civiles en el sector Chocco.	Las condiciones geológicas locales como la estratigrafía, estructuras (discontinuidades) y geomorfología influyen directamente en la viabilidad, planificación y la construcción de las obras civiles, afectando principalmente la estabilidad y el comportamiento a largo plazo de las estructuras.	
¿Qué calidad presenta el macizo rocoso de la Formación Kayra en el sector Chocco según la clasificación geomecánica de RMR?	Determinar la calidad del macizo rocoso de la Formación Kayra en el sector Chocco.	La calidad geomecánica del macizo rocoso en el sector Chocco varía moderadamente, permitiendo identificar zonas con condiciones buenas y regulares para el desarrollo de obras civiles. En general presenta calidades óptimas para soportar cargas de obras civiles.	
¿Cuáles son las características físicas, mecánicas y químicas del macizo rocoso de la Formación Kayra en el sector Chocco?	Determinar las características físicas, mecánicas y químicas del macizo rocoso de la Formación Kayra en el sector Chocco.	La variabilidad litológica y los procesos de alteración Física y química generan diferencias marcadas en las propiedades físico-mecánicas del macizo rocoso, reduciendo su resistencia y su calidad del macizo rocoso El macizo estudiado posee propiedades físicas y químicas que favorecen su resistencia y durabilidad frente a cargas de obras civiles.	
¿Cuáles son las características de las discontinuidades del macizo rocoso de la Formación Kayra en el sector Chocco?	Determinar las características de las discontinuidades del macizo rocoso de la Formación Kayra en el sector Chocco.	Las discontinuidades del macizo rocoso en la Formación Kayra presentan orientaciones predominantes y espaciamientos regulares, se encuentran distribuidas de manera que no comprometen significativamente la estabilidad del macizo rocoso para la construcción de obras civiles.	

Anexo B: Cuadro de operacionalización de variables

Matriz de operacionalización de Variables

Variable	Dimensión	Indicadores	Técnica / Método	Instrumento
Variable Independiente: Caracterización Geológica y Geomecánica del Macizo Rocoso	**Estratigrafía**	Litología, unidades estratigráficas, espesor de estratos	Observación directa y descripción geológica	Ficha de campo, libreta geológica, GPS, cámara fotográfica
	Geomorfología	Relieve, pendiente, formas del terreno, procesos geomorfológicos	Observación directa e interpretación cartográfica	Mapa geomorfológico, imágenes satelitales
	Geología Estructural (Discontinuidades)	Orientación, espaciamiento, persistencia, apertura, rugosidad y relleno de discontinuidades	Levantamiento geológico-estructural	Brújula geológica, ficha geomecánica, cámara fotográfica
	Tipo de roca	Clasificación litológica, origen y grado de meteorización	Observación y descripción petrográfica	Ficha de descripción geológica, martillo geológico
	Propiedades físicas de la roca	Características de las discontinuidades, peso específico, grado de alteración	Descripción geológica, mediciones de campo y ensayos de laboratorio	Equipos de laboratorio y reportes de ensayo
Variable Dependiente: Calidad Geomecánica del Macizo Rocoso	**Propiedades mecánicas de la roca**	Resistencia a compresión simple, esclerómetro, Carga puntual abrasión de los ángeles	Ensayos de laboratorio y análisis geotécnico	Prensa de compresión, equipo de carga puntual, esclerómetro Schmidt, máquina de abrasión Los Ángeles y reportes de ensayo
	Propiedades químicas de la roca	Durabilidad al sulfato de magnesio	Ensayo de durabilidad de sulfatos	Horno de secado, balanza, recipientes de inmersión y reportes de laboratorio
	Calidad geomecánica del macizo rocoso	RQD, condición de discontinuidades, agua subterránea, meteorización	Levantamiento geomecánico	Ficha geomecánica de campo
	Clasificaciones geomecánicas (RMR)	Valor RMR y categoría del macizo rocoso	Aplicación de la metodología de Bieniawski (1989)	Formato de cálculo RMR

Anexo C: Resultados de esclerometro – Martillo de Shcdmit

VENTANA N° 01		
Formacion Kayra		
Orientacion de martillo	Valor de rebote	Vaores ordenados
←	30	30
←	34	31
←	38	32
←	38	34
←	36	34
←	40	34
←	36	36
←	39	36
←	34	38
←	32	38
←	31	39
←	34	40
←	49	42
←	44	43
←	42	44
←	48	47
←	43	47
←	47	48
←	48	48
←	47	49
	Promedio	39.5

VENTANA N° 02		
Formacion Kayra		
Orientacion de martillo	Valor de rebote	Vaores ordenados
←	42	40
←	48	42
←	48	44
←	44	44
←	45	44
←	48	44
←	48	44
←	44	45
←	47	45
←	44	45
←	45	47
←	44	47
←	50	47
←	53	48
←	47	48
←	44	48
←	47	48
←	45	49
←	40	50
←	49	53
	Promedio	46.1

VENTANA N°3		
Formacion Kayra		
Orientacion de martillo	Valor de rebote	Vaores ordenados
←	48	38
←	44	41
←	47	41
←	41	41
←	43	41
←	44	42
←	42	42
←	41	42
←	44	43
←	41	44
←	38	44
←	44	44
←	41	44
←	45	45
←	47	45
←	45	45
←	47	47
←	42	47
←	45	47
←	42	48
	Promedio	43.55

VENTANA N° 4		
Formacion Kayra		
Orientacion de martillo	Valor de rebote	Vaores ordenados
←	45	39
←	41	41
←	45	41
←	46	41
←	44	42
←	44	43
←	41	44
←	42	44
←	44	44
←	48	44
←	48	44
←	47	45
←	47	45
←	44	46
←	39	47
←	43	47
←	41	48
←	44	48
←	50	50
←	46	46
	Promedio	44.45

VENTANA Nº 5		
Formación Kayra		
Valores rebote		
Orientación de martillo	Valor rebote	Valores ordenados
←	43	36
←	44	38
←	42	41
←	46	42
←	47	42
←	46	43
←	45	43
←	47	43
←	50	43
←	43	44
←	41	45
←	36	45
←	38	45
←	42	46
←	43	46
←	48	46
←	45	47
←	43	47
←	46	48
←	45	50
	Promedio	46.5

VENTANA Nº 6		
Formación Kayra		
Valores rebote		
Orientación de martillo	Valor rebote	Valores ordenados
←	43	40
←	42	42
←	43	42
←	43	43
←	40	43
←	46	43
←	47	43
←	47	44
←	43	45
←	48	45
←	50	45
←	46	46
←	44	46
←	45	47
←	47	47
←	45	47
←	50	47
←	45	48
←	47	50
←	42	50
	Promedio	47.3

VENTANA Nº 7		
Formación Kayra		
Valores rebote		
Orientación de martillo	Valor rebote	Valores ordenados
←	36	29
←	33	30
←	34	31
←	39	32
←	29	33
←	31	33
←	32	34
←	30	35
←	33	36
←	40	36
←	35	38
←	39	39
←	39	39
←	39	39
←	41	39
←	38	39
←	42	40
←	36	41
←	41	41
←	39	42
	Promedio	39.7

VENTANA Nº 8		
Formación Kayra		
Valores rebote		
Orientación de martillo	Valor rebote	Valores ordenados
←	37	37
←	43	37
←	43	37
←	40	38
←	39	39
←	43	39
←	46	39
←	41	40
←	39	40
←	37	41
←	40	42
←	37	43
←	39	43
←	38	43
←	43	43
←	45	45
←	49	46
←	46	46
←	42	49
←	50	50
	Promedio	45

VENTANA Nº 9		
Formación Kayra		
Valores rebote		
Orientación de martillo	Valor rebote	Valores ordenados
←	48	43
←	47	43
←	43	43
←	50	44
←	47	45
←	46	46
←	49	46
←	45	46
←	47	47
←	47	47
←	49	47
←	46	47
←	44	47
←	48	47
←	43	48
←	43	48
←	47	48
←	46	49
←	47	49
←	48	50
	Promedio	48

VENTANA Nº 10		
Formación Kayra		
Valores rebote		
Orientación de martillo	Valor rebote	Valores ordenados
←	58	48
←	55	49
←	57	49
←	58	50
←	56	50
←	52	50
←	57	51
←	51	51
←	48	51
←	52	52
←	49	52
←	50	52
←	50	52
←	52	53
←	49	55
←	51	56
←	50	57
←	53	57
←	51	58
←	52	58
	Promedio	55

VENTANA Nº 11		
Formación Kayra		
Valores rebote		
Orientación de martillo	Valor rebote	Valores ordenados
←	45	34
←	38	38
←	34	41
←	48	45
←	41	45
←	51	46
←	45	46
←	46	47
←	53	47
←	51	48
←	52	48
←	46	49
←	48	49
←	49	49
←	49	50
←	47	51
←	50	51
←	49	51
←	51	52
←	47	53
	Promedio	50.3

VENTANA Nº 12		
Formación Kayra		
Valores rebote		
Orientación de martillo	Valor rebote	Valores ordenados
←	50	46
←	49	47
←	47	47
←	50	47
←	50	48
←	51	48
←	46	48
←	53	48
←	52	49
←	48	49
←	49	49
←	47	50
←	48	50
←	52	50
←	49	51
←	47	51
←	51	52
←	48	52
←	52	52
←	48	53
	Promedio	51

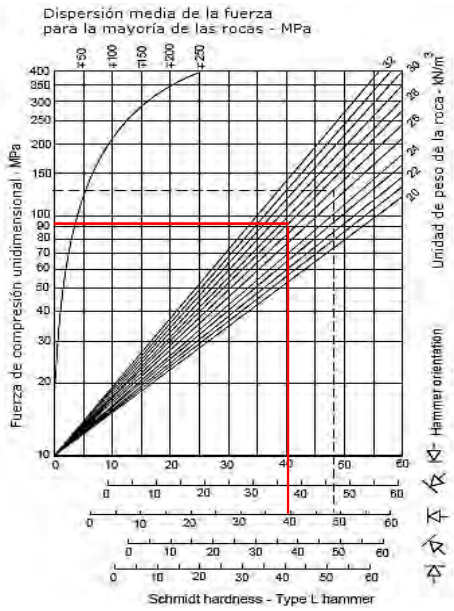
VENTANA Nº 13		
Formación Kayra		
Valores rebote		
Orientación de martillo	Valor rebote	Valores ordenados
←	52	44
←	47	45
←	52	45
←	47	45
←	52	46
←	50	46
←	51	47
←	48	47
←	45	47
←	46	47
←	48	47
←	47	48
←	45	48
←	47	48
←	44	50
←	47	50
←	45	51
←	46	52
←	48	52
←	50	52
	Promedio	49.8

VENTANA Nº 14		
Formación Kayra		
Valores rebote		
Orientación de martillo	Valor rebote	Valores ordenados
←	50	44
←	50	45
←	44	47
←	50	48
←	52	49
←	51	49
←	45	50
←	49	50
←	52	50
←	49	51
←	55	52
←	53	52
←	55	52
←	53	52
←	48	52
←	52	53
←	55	53
←	52	55
←	52	55
←	47	55
	Promedio	53.1

VENTANA Nº 15		
Formación Kayra		
Valores rebote		
Orientación de martillo	Valor rebote	Valores ordenados
←	53	44
←	50	44
←	47	45
←	51	46
←	48	46
←	51	46
←	49	46
←	44	47
←	47	47
←	49	47
←	47	48
←	46	49
←	52	49
←	46	50
←	46	50
←	46	50
←	50	51
←	45	51
←	44	52
←	50	53
	Promedio	50.3

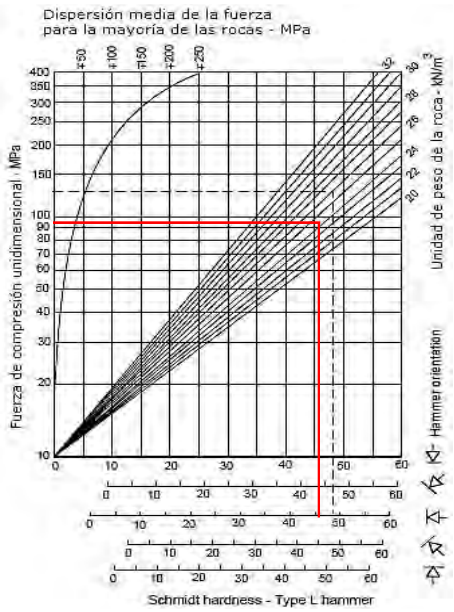
Anexo D: Resultado de ábaco, del ensayo de esclerometría

ESTACIÓN GEOMECÁNICA Nº1



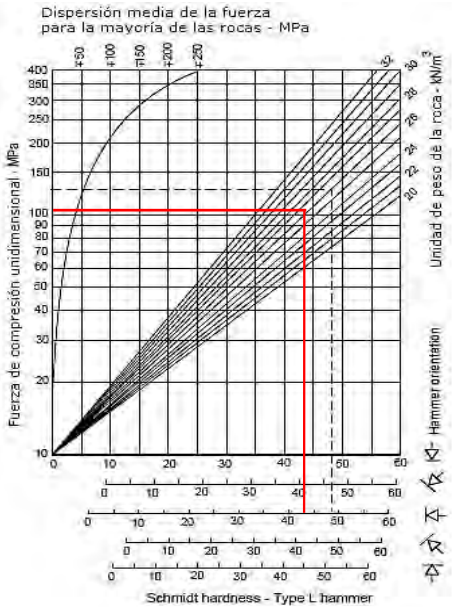
Resistencia a la compresión: 93 Mpa

ESTACIÓN GEOMECÁNICA Nº2



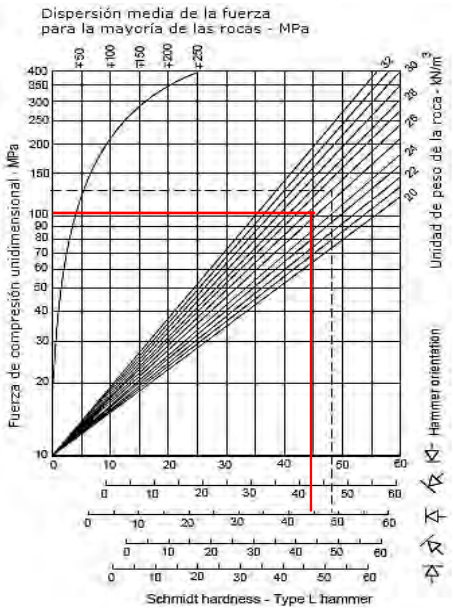
Resistencia a la compresión: 100 Mpa

ESTACIÓN GEOMECÁNICA Nº3



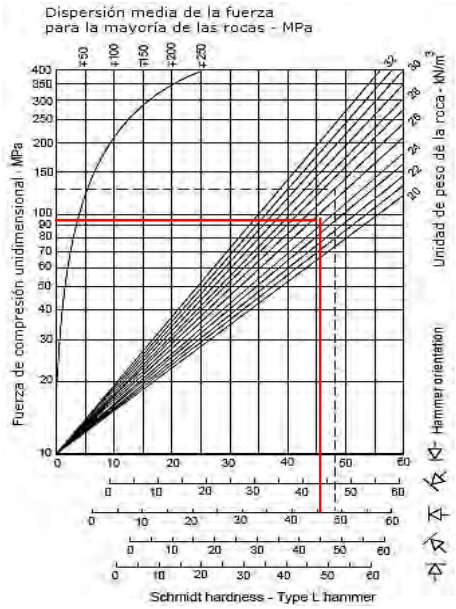
Resistencia a la compresión: 96 Mpa

ESTACIÓN GEOMECÁNICA Nº4



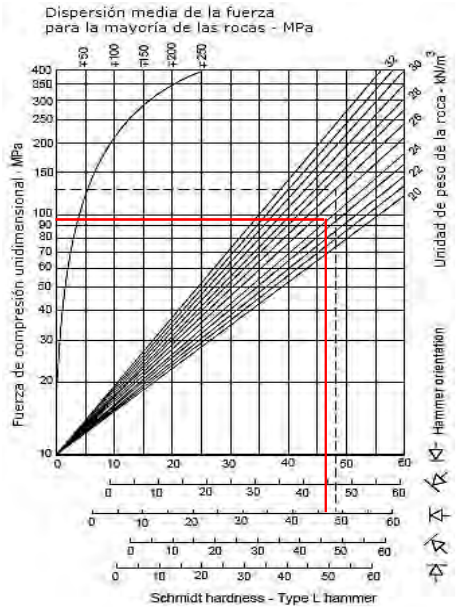
Resistencia a la compresión: 101 Mpa

ESTACIÓN GEOMECÁNICA Nº5



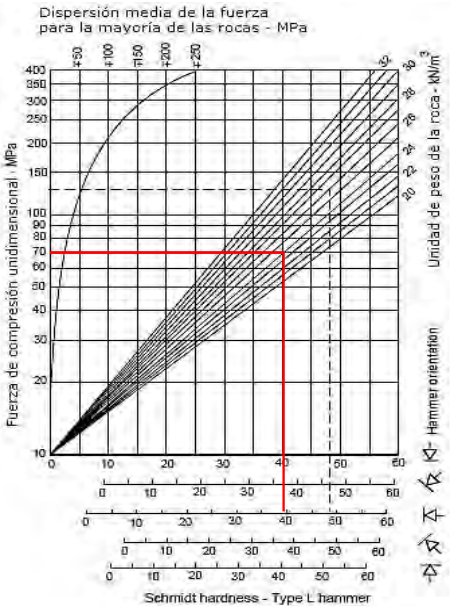
Resistencia a la compresión: 95 Mpa

ESTACIÓN GEOMECÁNICA Nº6



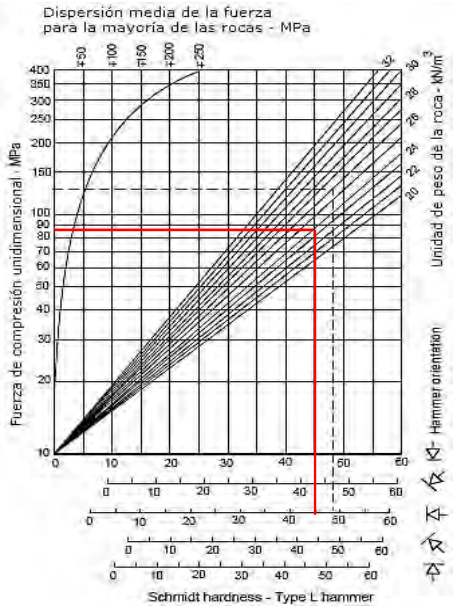
Resistencia a la compresión: 95 Mpa

ESTACIÓN GEOMECÁNICA Nº7



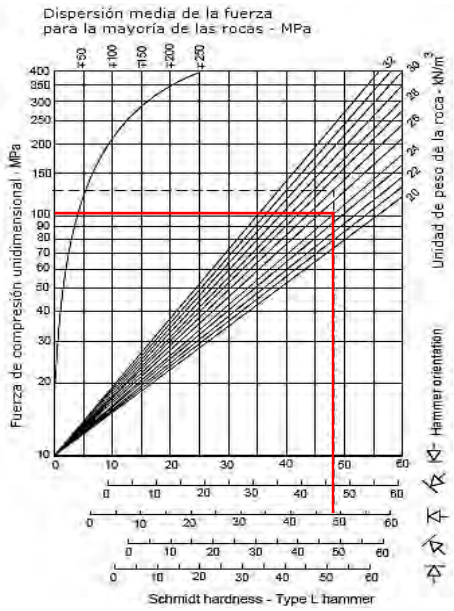
Resistencia a la compresión: 70 Mpa

ESTACIÓN GEOMECÁNICA Nº8



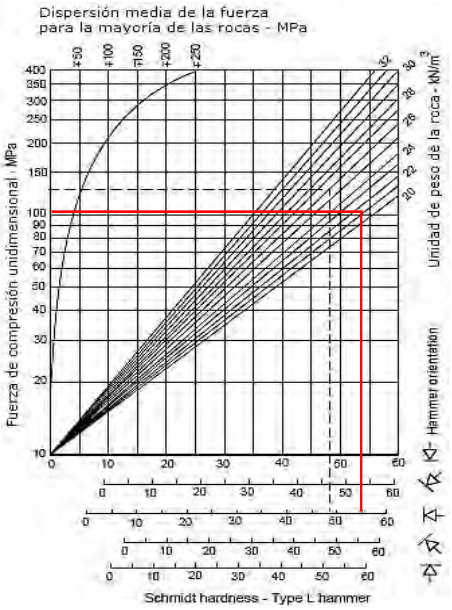
Resistencia a la compresión: 87 Mpa

ESTACIÓN GEOMECÁNICA Nº9



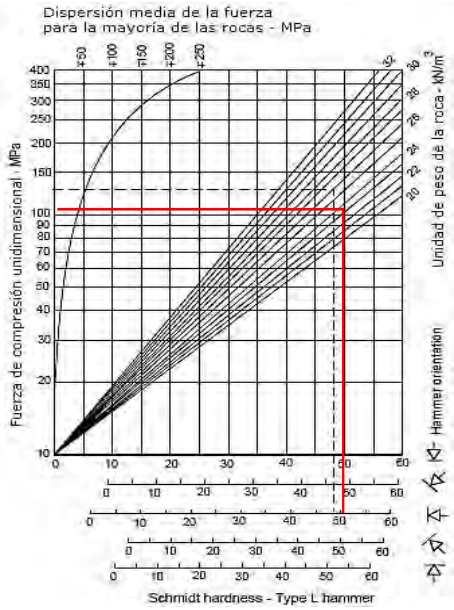
Resistencia a la compresión: 102 Mpa

ESTACIÓN GEOMECÁNICA Nº10



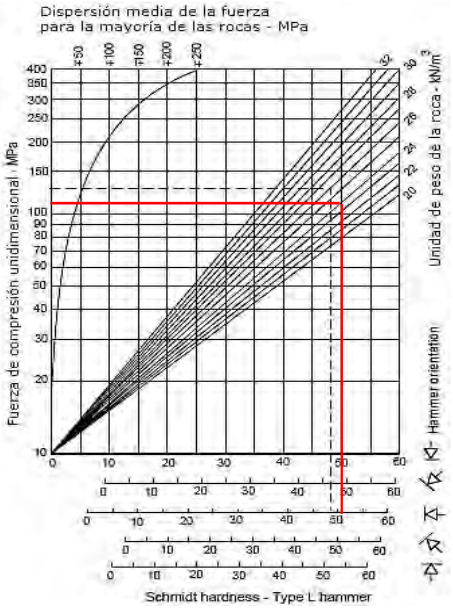
Resistencia a la compresión: 105 Mpa

ESTACIÓN GEOMECÁNICA Nº11



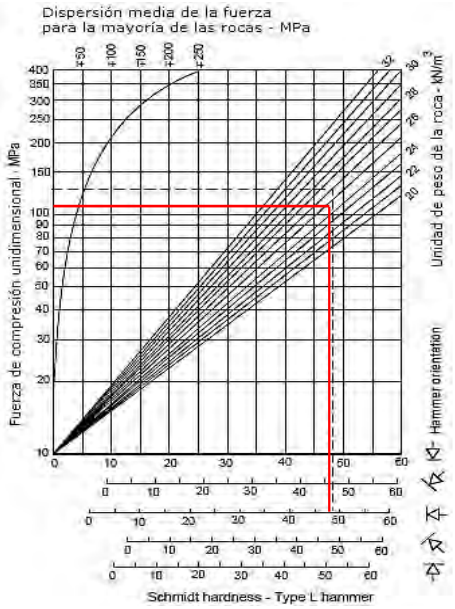
Resistencia a la compresión: 110 Mpa

ESTACIÓN GEOMECÁNICA Nº12



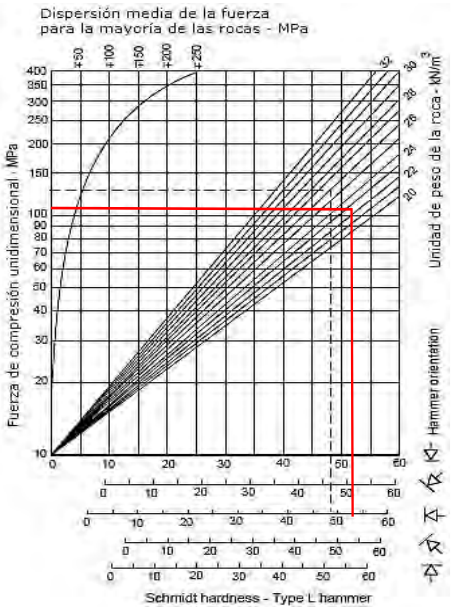
Resistencia a la compresión: 110 Mpa

ESTACIÓN GEOMECÁNICA Nº13



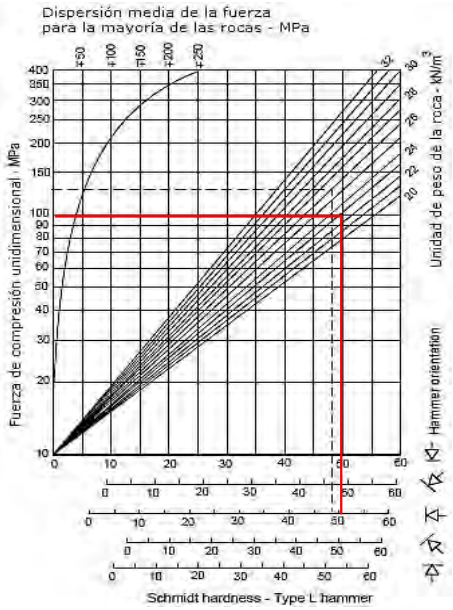
Resistencia a la compresión: 110 Mpa

ESTACIÓN GEOMECÁNICA Nº14



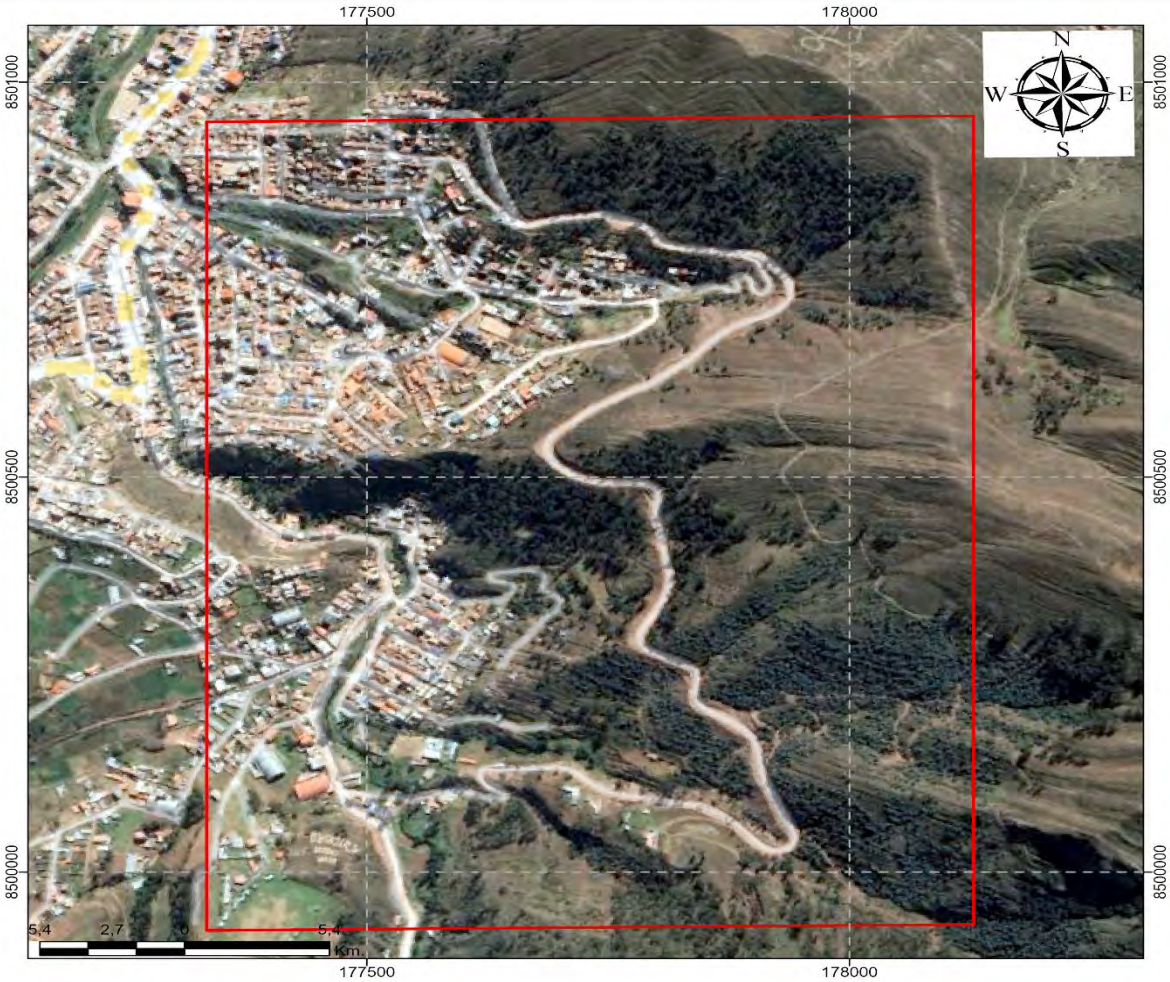
Resistencia a la compresión: 110 Mpa

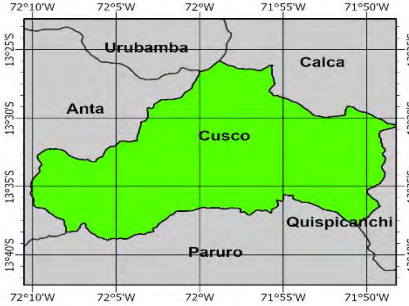
ESTACIÓN GEOMECÁNICA Nº15



Resistencia a la compresión: 100 Mpa

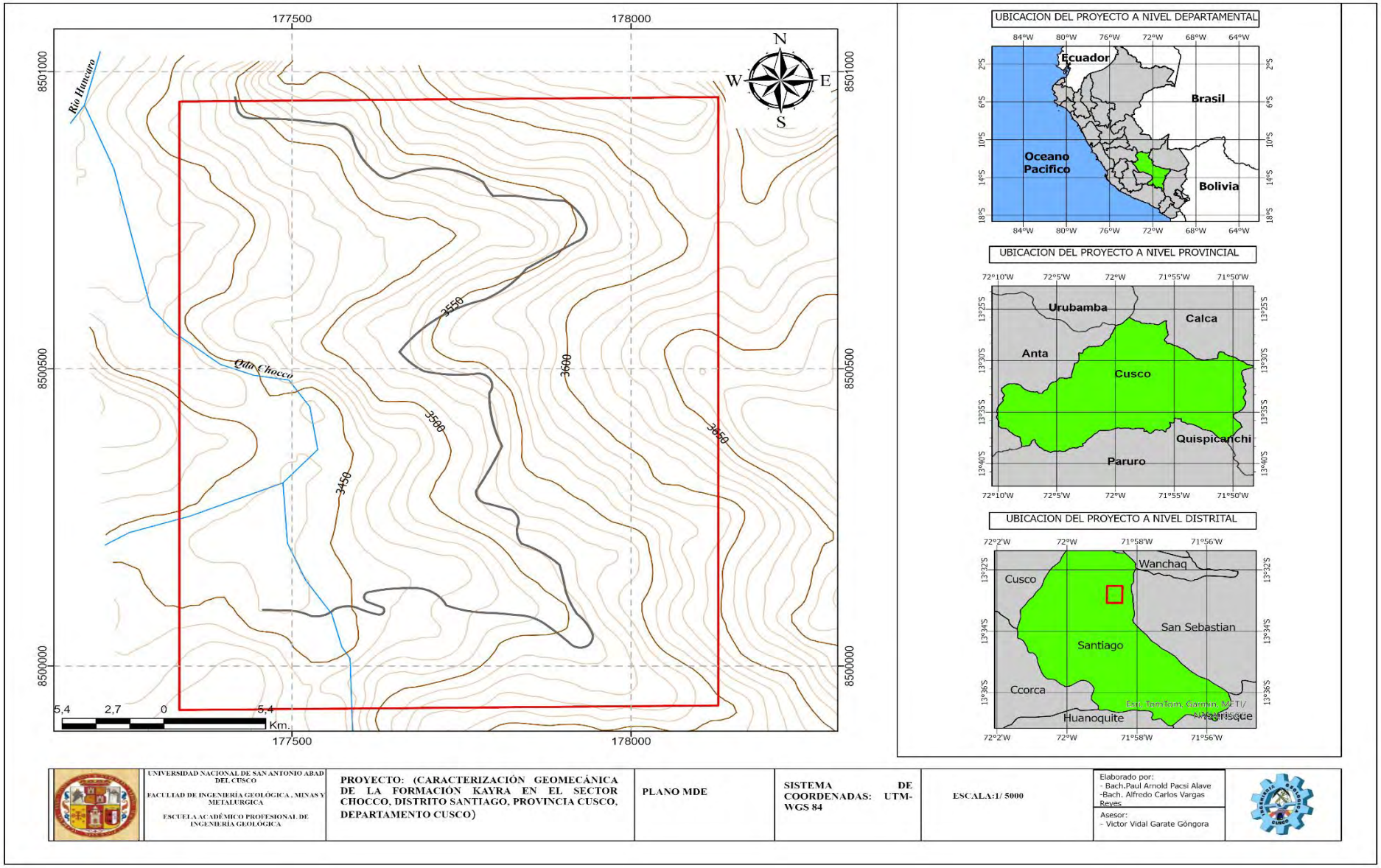
Anexo E: Plano De Ubicación



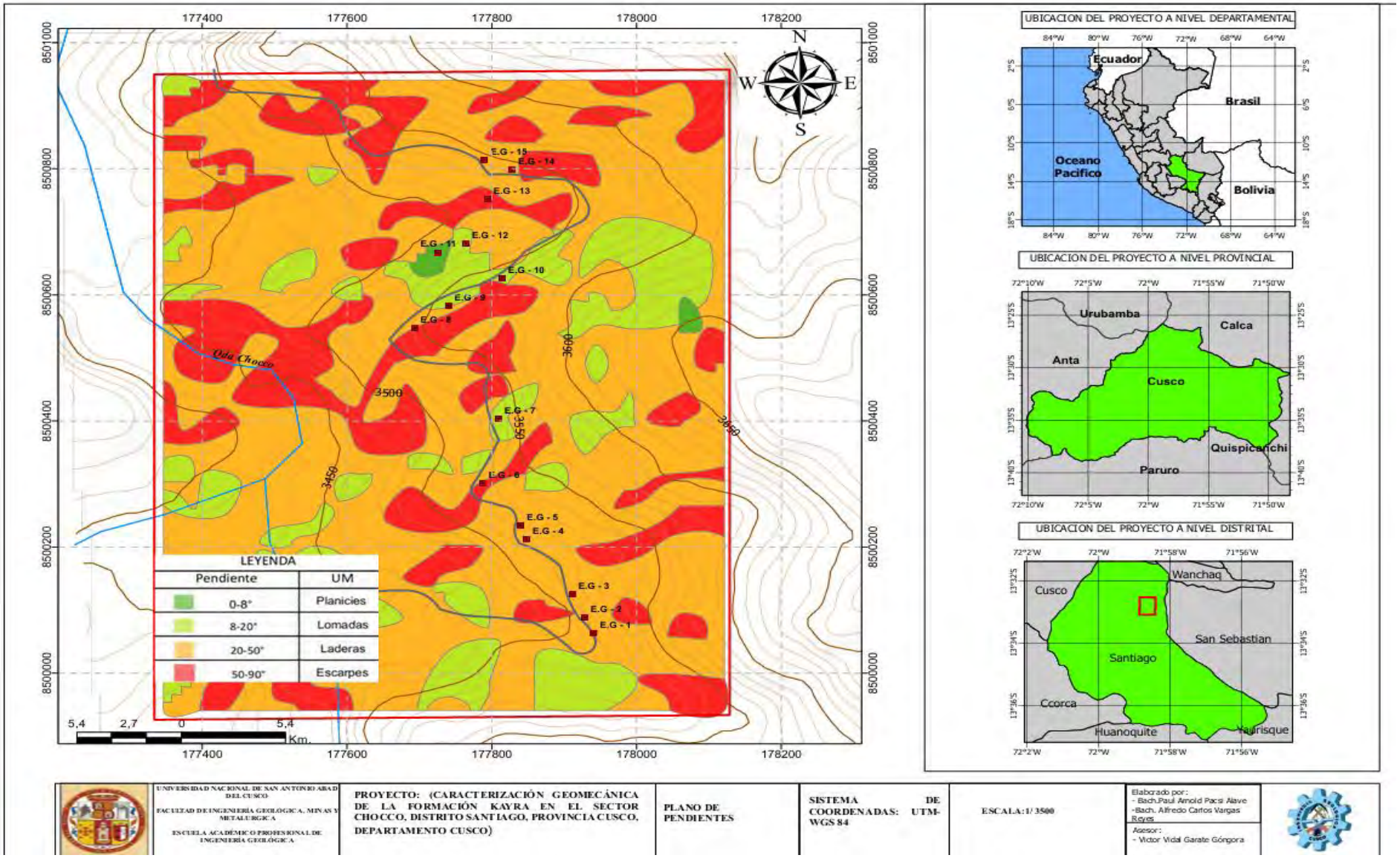


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	PROYECTO: (CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LA FORMACIÓN KAYRA EN EL SECTOR CHOCCO, DISTRITO SANTIAGO, PROVINCIA CUSCO, DEPARTAMENTO CUSCO)	PLANO DE UBICACION	SISTEMA DE COORDENADAS: UTM-WGS 84	ESCALA:1/ 5000	Elaborado por: - Bach.Paul Arnold Pacsi Alave -Bach. Alfredo Carlos Vargas Reyes Asesor: - Victor Vidal Garate Góngora

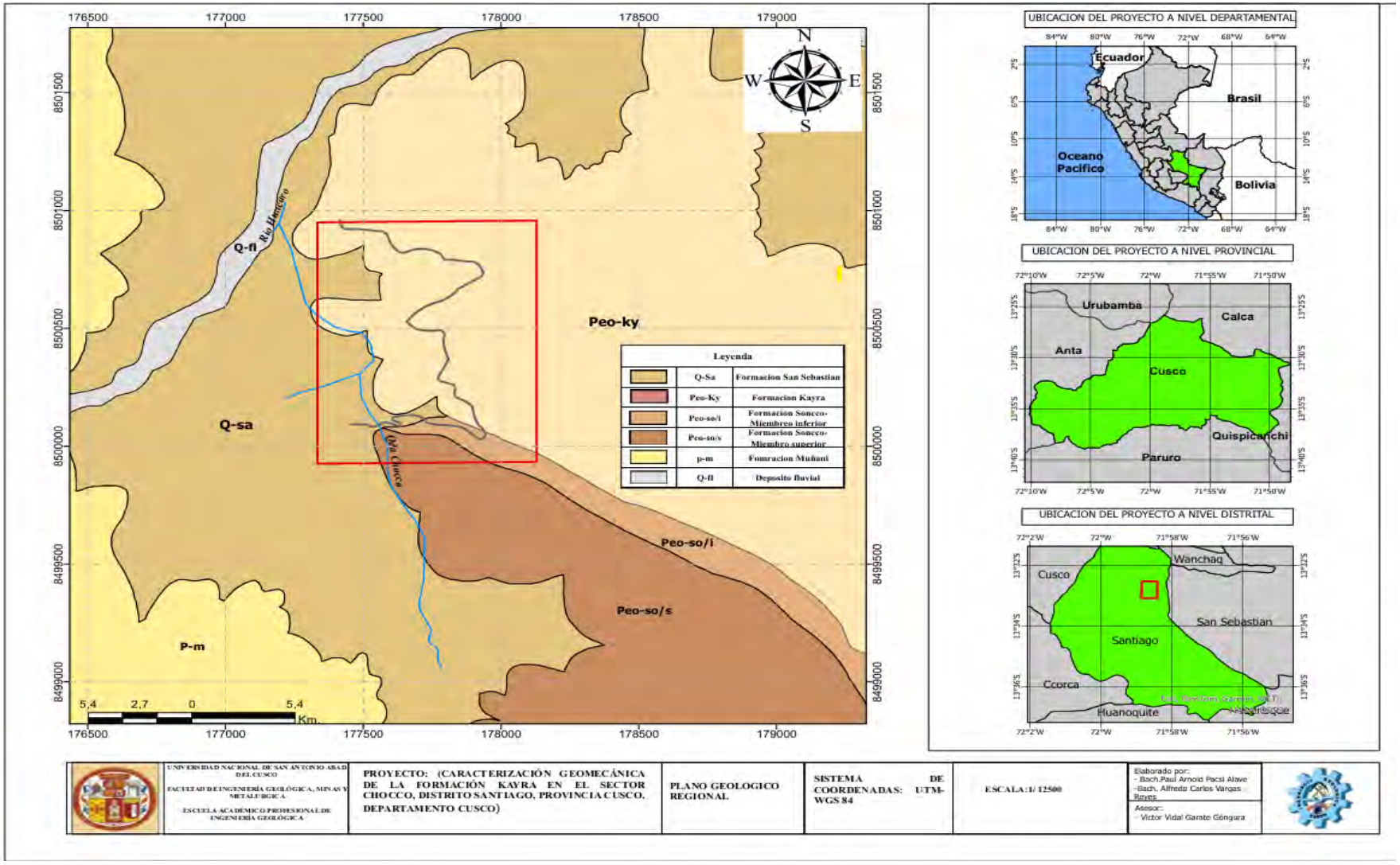
Anexo F: Plano MDE



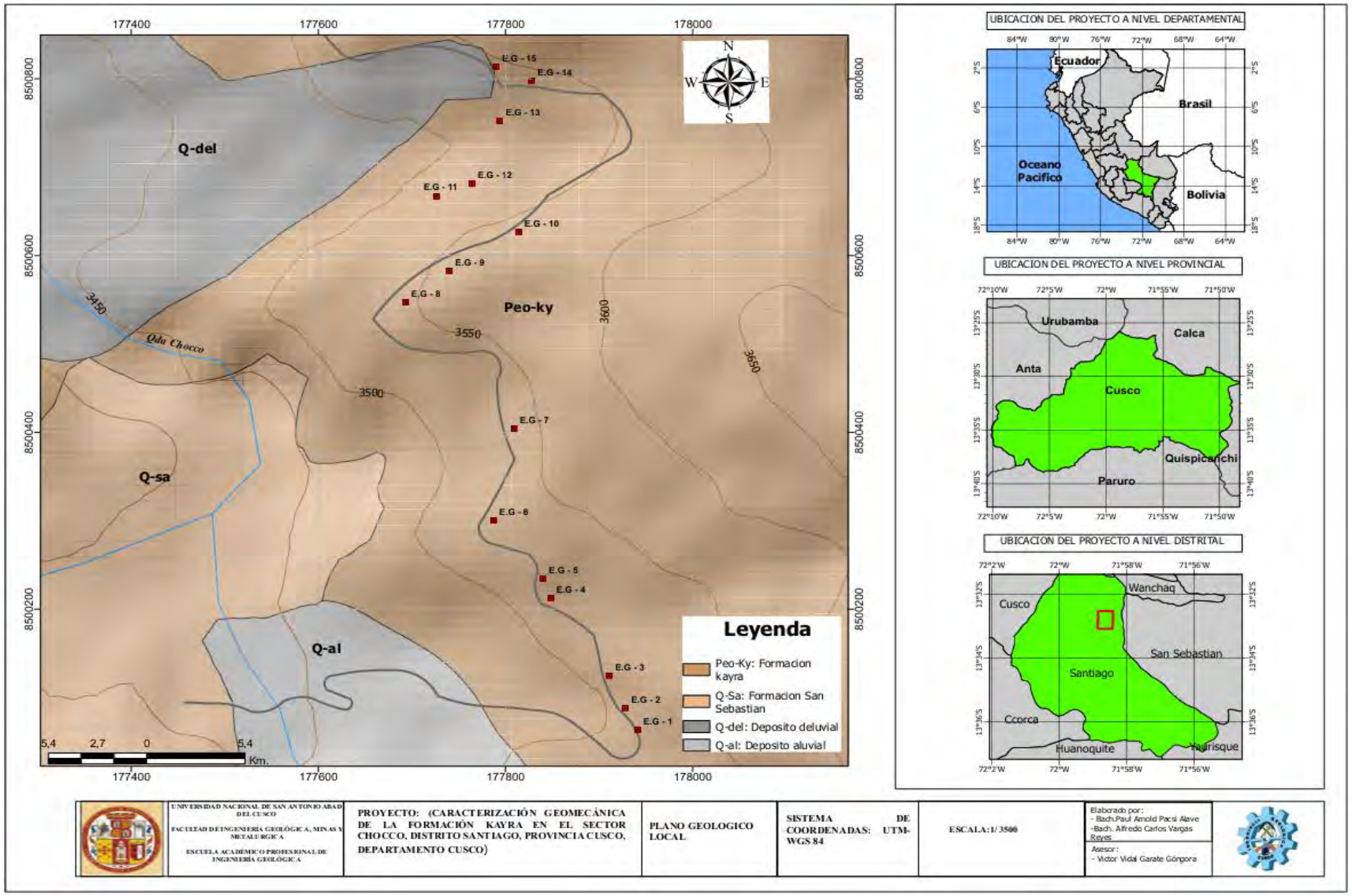
Anexo G: Plano De Pendientes



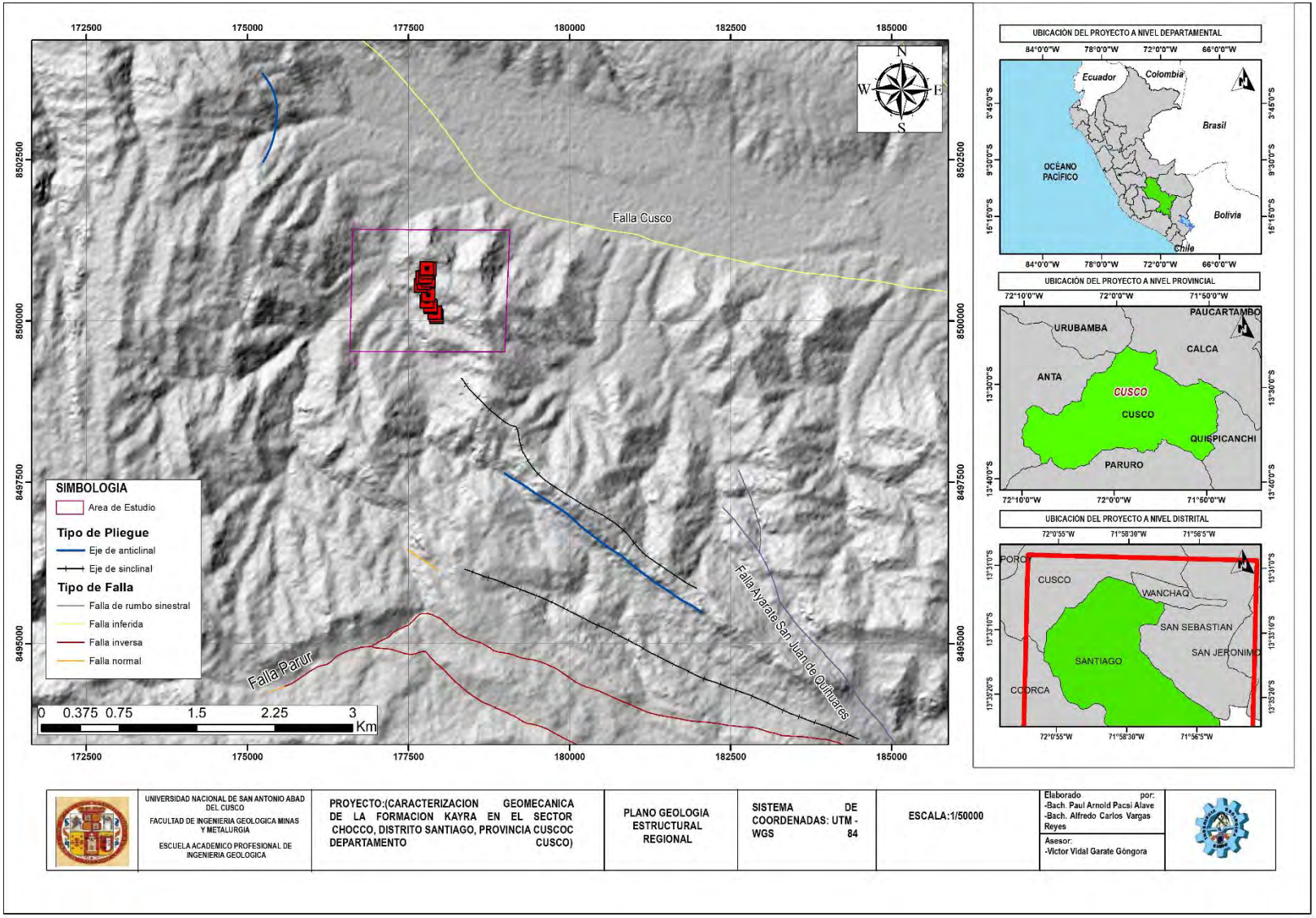
Anexo H: Plano Geologico Regional



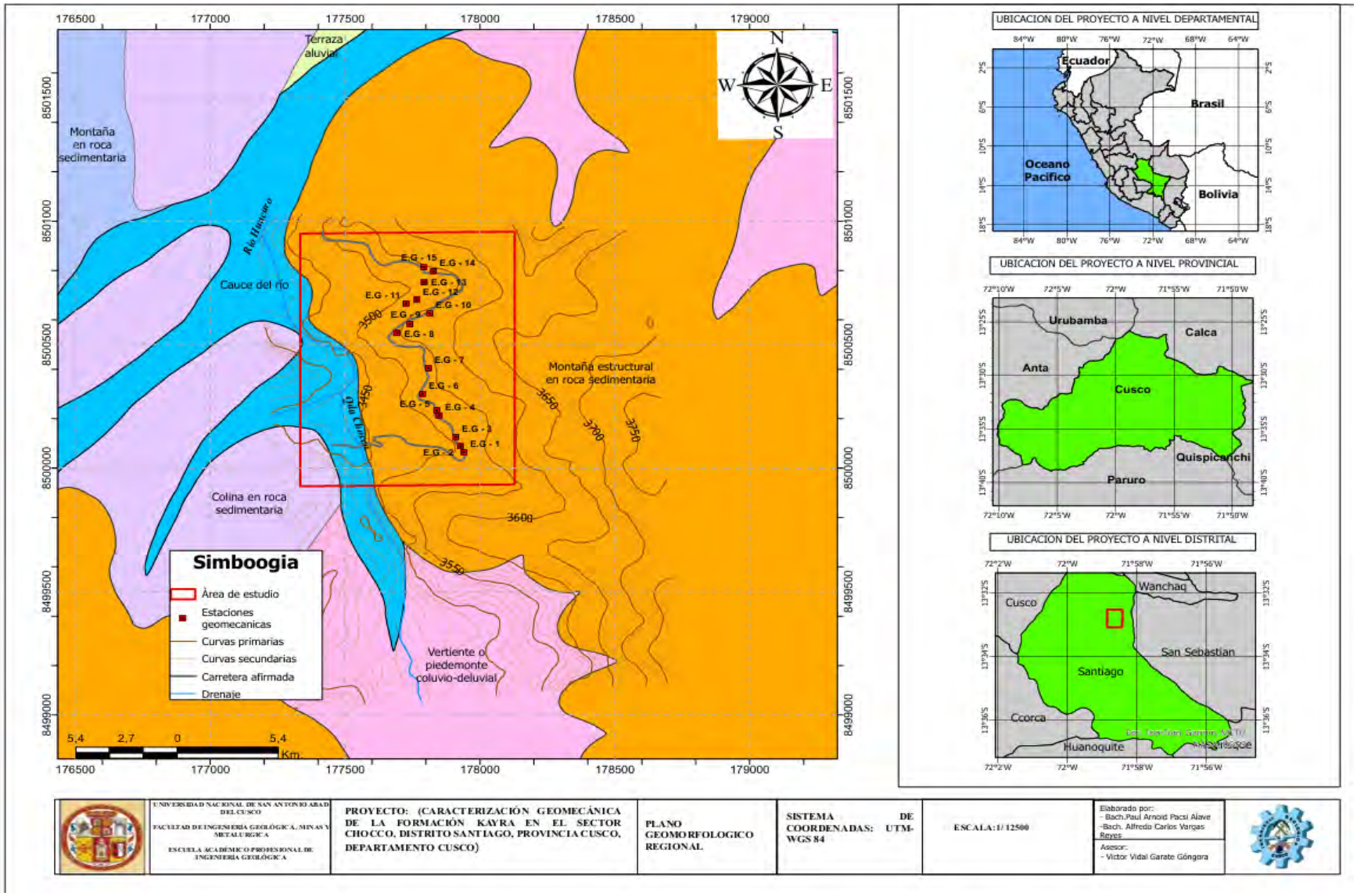
Anexo I: Plano Geologico Local



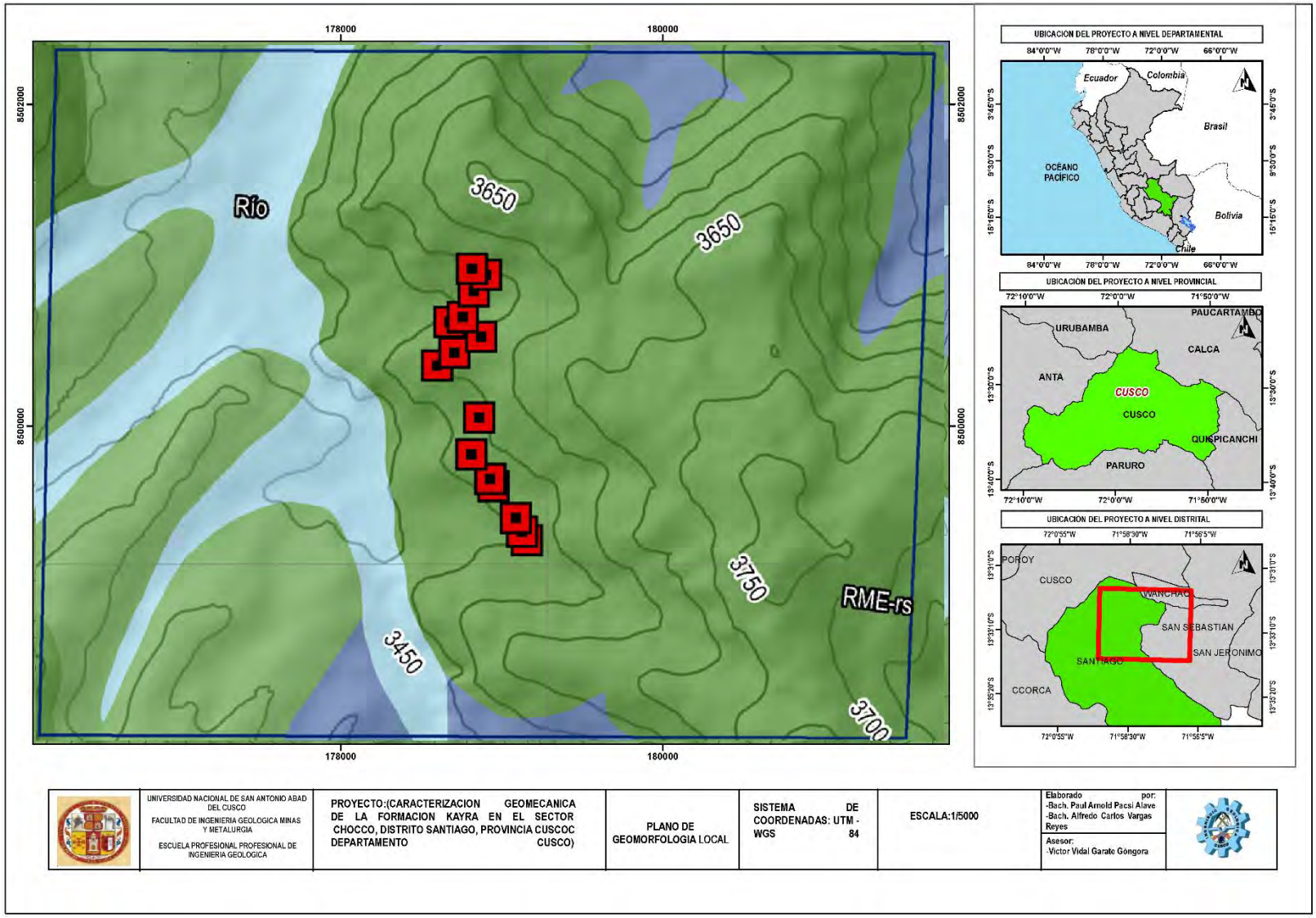
Anexo J: Plano De Geologia Estructural



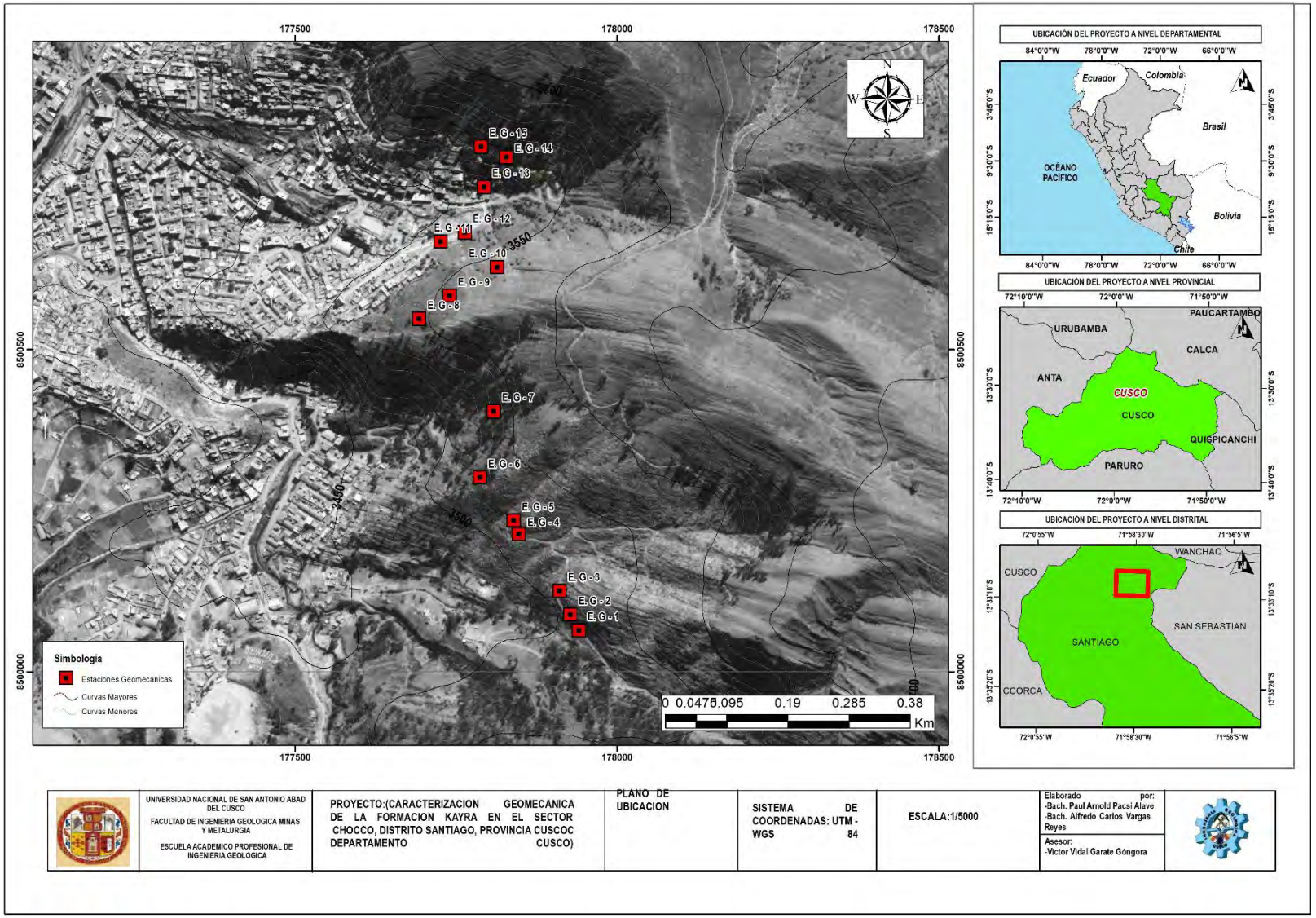
Anexo K: Plano Geomorfologico Regional



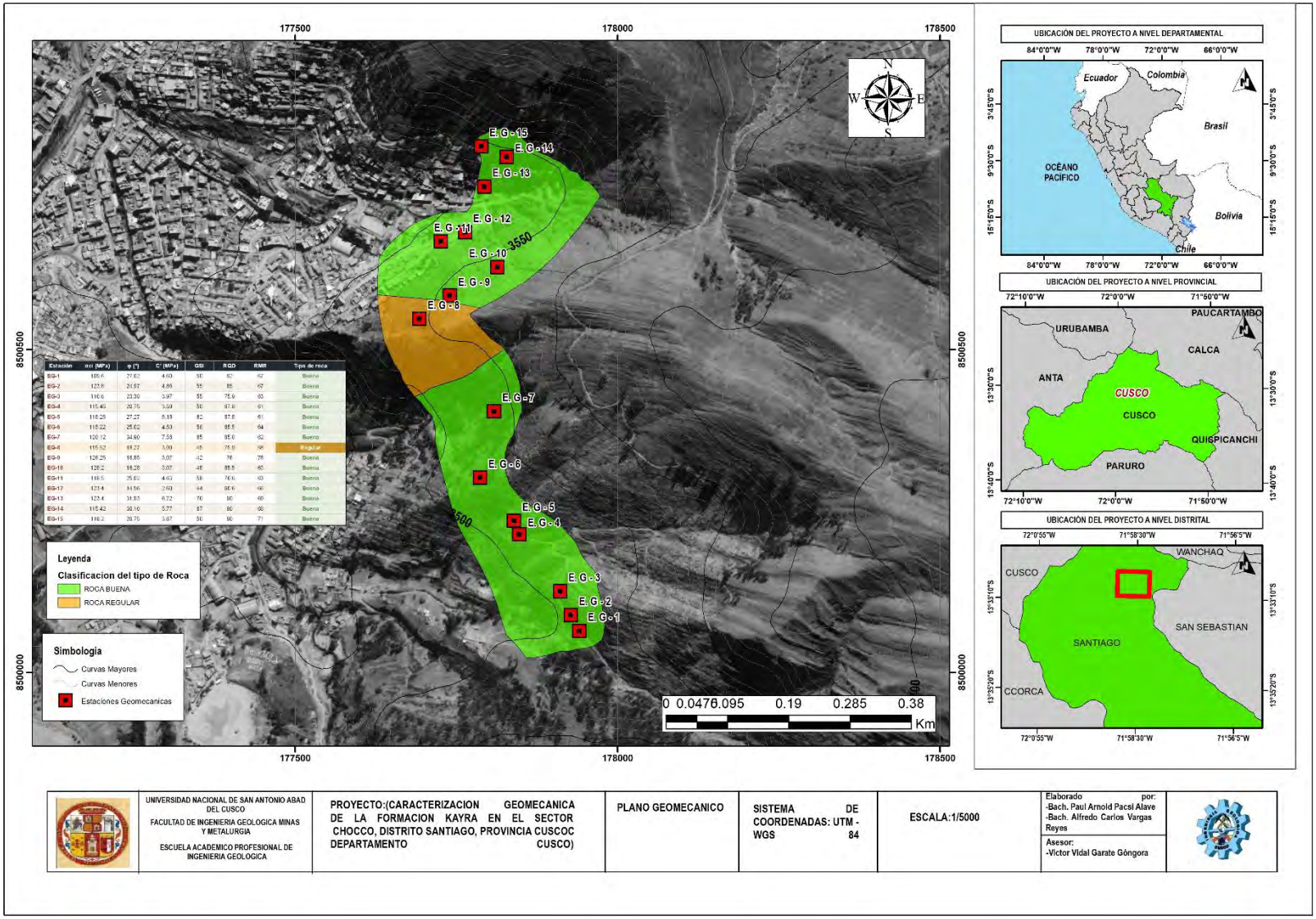
Anexo L: Mapa geomeorfolofico local



Anexo M: Plano de ubicación de las estaciones geomecánicas



Anexo N: Clasificación RMR, determinado rango de valores de las E.G.



Estación	σci (MPa)	φ (°)	C' (MPa)	GSI	RQD	RMR	Tipo de roca
EG-1	105.6	27.62	4.60	50	92	67	Buena
EG-2	123.8	29.67	4.85	55	85	67	Buena
EG-3	110.6	23.30	3.97	55	75.9	65	Buena
EG-4	115.45	28.75	5.50	50	87.8	61	Buena
EG-5	118.25	27.27	5.18	62	87.8	61	Buena
EG-6	115.22	25.62	4.50	56	85.5	64	Buena
EG-7	120.12	34.60	7.53	65	95.6	62	Buena
EG-8	115.52	18.27	3.00	45	75.9	56	Regular
EG-9	126.25	18.85	3.07	42	74	78	Buena
EG-10	128.2	18.28	3.07	48	88.8	65	Buena
EG-11	118.5	25.82	4.63	58	76.6	63	Buena
EG-12	123.4	34.56	2.60	44	96.6	66	Buena
EG-13	123.4	31.53	6.72	70	90	69	Buena
EG-14	115.42	30.16	5.77	67	90	66	Buena
EG-15	118.2	28.75	3.67	50	90	71	Buena

Anexo O: Resultados de clasificacion RMR.

Clasificación RMR, determinado rango de valores- E.G.1

			A. Parámetros de clasificación con sus valores							Valoración	Valoración
	Parámetros		Rango de valores								
1	Resistencia de la roca intacta	Índice de Resistencia de Carga Puntual (IS)	> 10 Mp	4-10 Mpa	2 -4 Mpa	1 -2 Mpa	Para estos rangos es recomendable ensayos de resistencia a la compresión				
		Resistencia a la compresión uniaxial	> 250 Mpa	100 - 250 Mpa	50 - 100 Mpa	25 - 50 Mpa	5 -25 Mpa	1 - 5 Mpa	< 1 Mpa	50 - 100 Mpa	
	Puntaje		15	12	7	4	2	1	0	7	12
2	RQD		90-100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25			90-100	
	Puntaje		20	17	13	8	3			20	20
3	Espaciado del estrato		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 1		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 2		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 3		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 4		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 5		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Promedio de espaciado del Estrato, Discontinuidad 1, 2 ,3,4 y 5										11
4	**B. Guías para la clasificación según las condiciones de las discontinuidades (Promedio del Estrato y discontinuidades)**										
	Longitud (Persistencia) E puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			> 20 m 0	0
	Longitud (Persistencia) D1 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			10 - 20 m 1	1
	Longitud (Persistencia) D2 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D3 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D4 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D5 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Promedio de la longitud del Estrato, Discontinuidad										5.6
	Separación (abertura) E puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			> 5 mm 0	0
	Separación (abertura) D1 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			1 - 5 mm 1	1
	Separación (abertura) D2 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D3 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D4 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1					
	Separación (abertura) D5 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Promedio de la separación del Estrato, Discontinuidad										5.6
	Rugosidad E puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Muy rugosa 6	6
	Rugosidad D1 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Rugosa 5	5
	Rugosidad D2 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Rugosa 5	5
	Rugosidad D3 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Rugosa 5	5
	Rugosidad D4 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Rugosa 5	5
	Rugosidad D5 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Rugosa 5	5
	Promedio de la rugosidad del Estrato, Discontinuidad										3
	Meteorización E puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Moderadamente meteorizada 3	3
	Meteorización D1 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Moderadamente meteorizada 3	3
	Meteorización D2 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Moderadamente meteorizada 3	3
	Meteorización D3 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Ligeramente meteorizada 5	5
	Meteorización D4 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Moderadamente meteorizada 3	3
	Meteorización D4 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Moderadamente meteorizada 3	3
	Promedio de meteorización del Estrato, Discontinuidad										3
	Suma de condición de discontinuidades										17.2
5	Agua subterránea	flujo por cada 10m. De longitud del túnel (1/min)	Ninguno	< 10	10 a 25	25 - 125	> 125				
		(Presión de agua en la diaclasas) (Tensión principal mayor o1)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5				
		Condiciones generales	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo			Húmedo	
	puntaje		15	10	7	4	0			10	10
	c. Tipos de macizos determinados a partir de la valuación total										
	Puntaje		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21				67
	Tipos de rocas		I	II	III	IV	V				II
	Descripción		Muy buena	Buena	Regular	Mala	Muy mala				Buena

Clasificación RMR, determinado rango de valores- E.G.2

			A. Parámetros de clasificación con sus valores							Valoración	Valoración
	Parámetros		Rango de valores								
1	Resistencia de la roca intacta	Índice de Resistencia de Carga Puntual (IS)	> 10 Mp	4-10 Mpa	2 -4 Mpa	1 -2 Mpa	Para estos rangos es recomendable ensayos de resistencia a la compresión				
		Resistencia a la compresión uniaxial	> 250 Mpa	100 - 250 Mpa	50 - 100 Mpa	25 - 50 Mpa	5 -25 Mpa	1 - 5 Mpa	< 1 Mpa	50 - 100 Mpa	
	Puntaje		15	12	7	4	2	1	0	7	7
2	RQD		90-100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25			90-100	
	Puntaje		20	17	13	8	3			20	20
3	Espaciado del estrato		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 1		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 2		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 3		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 4		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			15	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	
	Espaciado de las discontinuidades 5		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			15	15
	Puntaje		20	15	10	8	5				
	Promedio de espaciado del Estrato, Discontinuidad 1, 2 y 3										15
4	**B. Guías para la clasificación según las condiciones de las discontinuidades (Promedio del Estrato y discontinuidades)**										
	Longitud (Persistencia) E puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			> 20 m 0	0
	Longitud (Persistencia) D1 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D2 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D3 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D4 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D5 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Promedio de la longitud del Estrato, Discontinuidad										1
	Separación (abertura) E puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			1 - 5 mm 1	1
	Separación (abertura) D1 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D2 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D3 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D4 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D5 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Promedio de la separación del Estrato, Discontinuidad										5
	Rugosidad E puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Muy rugosa 6	6
	Rugosidad D1 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Rugosa 5	5
	Rugosidad D2 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Ligeramente rugosa 3	3
	Rugosidad D3 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Rugosa 5	5
	Rugosidad D4 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Rugosa 5	5
	Rugosidad D5 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Rugosa 5	5
	Promedio de la rugosidad del Estrato, Discontinuidad										5
	Meteorización E puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Moderadamente meteorizada 3	3
	Meteorización D1 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Moderadamente meteorizada 3	3
	Meteorización D2 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Ligeramente meteorizada 5	5
	Meteorización D3 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Ligeramente meteorizada 5	5
	Meteorización D4 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Ligeramente meteorizada 5	5
	Meteorización D5 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Ligeramente meteorizada 5	5
	Promedio de meteorización del Estrato, Discontinuidad										4
	Suma de condición de discontinuidades										15
5	Agua subterránea	flujo por cada 10m. De longitud del túnel (1/min)	Ninguno	< 10	10 a 25	25 - 125	> 125				
		(Presión de agua en la diacl.) (Tensión principal mayor o1)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5				
		Condiciones generales	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo			Húmedo	
	puntaje		15	10	7	4	0			10	10
c. Tipos de macizos determinados a partir de la valuación total											
Puntaje			100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21				67
Tipos de rocas			I	II	III	IV	V				II
Descripción			Muy buena	Buena	Regular	Mala	Muy mala				Buena

Clasificación RMR, determinado rango de valores- E.G.3

	A. Parámetros de clasificación con sus valores									Valoración	Valoración
	Parámetros		Rango de valores								
1	Resistencia de la roca intacta	Índice de Resistencia de Carga Puntual (IS)	> 10 Mp	4-10 Mpa	2 -4 Mpa	1 -2 Mpa	Para estos rangos es recomendable ensayos de resistencia a la compresión				
		Resistencia a la compresión uniaxial	> 250 Mpa	100 - 250 Mpa	50 - 100 Mpa	25 - 50 Mpa	5 -25 Mpa	1 - 5 Mpa	< 1 Mpa	50 - 100 Mpa	
	Puntaje		15	12	7	4	2	1	0	7	12
2	RQD		90-100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25			90-100	
	Puntaje		20	17	13	8	3			20	17
3	Espaciado del estrato		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 1		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 2		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Promedio de espaciado del Estrato, Discontinuidad 1, 2 y 3										11.6
	B. Guías para la clasificación según las condiciones de las discontinuidades (Promedio del Estrato y discontinuidades)										
	Longitud (Persistencia) E puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			> 20 m 0	0
	Longitud (Persistencia) D1 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D2 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
4	Promedio de la longitud del Estrato, Discontinuidad										1.3
	Separación (abertura) E puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			1 - 5 mm 1	1
	Separación (abertura) D1 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D2 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Promedio de la separación del Estrato, Discontinuidad										2
	Rugosidad E puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Muy rugosa 6	6
	Rugosidad D1 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Rugosa 5	5
	Rugosidad D2 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Ligeramente rugosa 3	3
	Promedio de la rugosidad del Estrato, Discontinuidad										4.3
	Meteorización E puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Moderadamente meteorizada 3	3
	Meteorización D1 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Moderadamente meteorizada 3	3
	Meteorización D2 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Ligeramente meteorizada 5	5
5	Promedio de meteorización del Estrato, Discontinuidad										5
	Suma de condición de discontinuidades										12.6
	Agua subterránea	flujo por cada 10m. De longitud del túnel (1/min)	Ninguno	< 10	10 a 25	25 - 125	> 125				
		(Presión de agua en la diacl.) (Tensión principal mayor o1)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5				
		Condiciones generales	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo			Húmedo	
	puntaje		15	10	7	4	0			10	10
			100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21				63
			I	II	III	IV	V				II
			Muy buena	Buena	Regular	Mala	Muy mala				Buena

Clasificación RMR, determinado rango de valores- E.G.4

	A. Parámetros de clasificación con sus valores								Valoración	Valoración
	Parámetros		Rango de valores							
1	Resistencia de la roca intacta	Índice de Resistencia de Carga Puntual (IS)	> 10 Mp	4-10 Mpa	2 -4 Mpa	1 -2 Mpa	Para estos rangos es recomendable ensayos de resistencia a la compresión			
		Resistencia a la compresión uniaxial	> 250 Mpa	100 - 250 Mpa	50 - 100 Mpa	25 - 50 Mpa	5 -25 Mpa	1 - 5 Mpa	< 1 Mpa	50 - 100 Mpa
	Puntaje		15	12	7	4	2	1	0	7	7
2	RQD		90-100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25			90-100	
	Puntaje		20	17	13	8	3			20	20
3	Espaciado del estrato		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 1		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 2		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 3		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 4		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm				
	Puntaje		20	15	10	8	5				
	Promedio de espaciado del Estrato, Discontinuidad 1, 2 ,3 y 4										5.6
4	**B. Guías para la clasificación según las condiciones de las discontinuidades (Promedio del Estrato y discontinuidades)**										
	Longitud (Persistencia) E puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			> 20 m 0	0
	Longitud (Persistencia) D1 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D2 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D3 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D4 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0				
	Promedio de la longitud del Estrato, Discontinuidad										2.4
	Separación (abertura) E puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			1 - 5 mm 1	1
	Separación (abertura) D1 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D2 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D3 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D4 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0				
	Promedio de la separación del Estrato, Discontinuidad										5.2
	Rugosidad E puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Muy rugosa 6	6
	Rugosidad D1 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Rugosa 5	5
	Rugosidad D2 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Ligeramente rugosa 3	3
	Rugosidad D3 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Rugosa 5	5
	Rugosidad D4 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0				
	Promedio de la rugosidad del Estrato, Discontinuidad										4.6
	Meteorización E puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Moderadamente meteorizada 3	3
	Meteorización D1 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Moderadamente meteorizada 3	3
	Meteorización D2 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Ligeramente meteorizada 5	5
	Meteorización D3 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Ligeramente meteorizada 5	5
	Meteorización D4 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0				
	Promedio de meteorización del Estrato, Discontinuidad										4.6
	Suma de condición de discontinuidades										16.8
5	Agua subterránea	flujo por cada 10m. De longitud del túnel (1/min)	Ninguno	< 10	10 a 25	25 - 125	> 125				
		(Presión de agua en la diacl.) (Tensión principal mayor o1)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5				
		Condiciones generales	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo			Húmedo	
	puntaje		15	10	7	4	0			10	10
	c. Tipos de macizos determinados a partir de la valuación total										
	Puntaje		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21				61
	Tipos de rocas		I	II	III	IV	V				II
	Descripción		Muy buena	Buena	Regular	Mala	Muy mala				Buena

Clasificación RMR, determinado rango de valores- E.G.5

A. Parámetros de clasificación con sus valores										Valoración	Valoración
Parámetros			Rango de valores								
1	Resistencia de la roca intacta	Índice de Resistencia de Carga Puntual (IS)	> 10 Mp	4-10 Mpa	2 -4 Mpa	1 -2 Mpa	Para estos rangos es recomendable ensayos de resistencia a la compresión				
		Resistencia a la compresión uniaxial	> 250 Mpa	100 - 250 Mpa	50 - 100 Mpa	25 - 50 Mpa	5 -25 Mpa	1 - 5 Mpa	< 1 Mpa	50 - 100 Mpa	
	Puntaje		15	12	7	4	2	1	0	7	12
2	RQD		90-100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25			90-100	
	Puntaje		20	17	13	8	3			20	17
3	Espaciado del estrato		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 1		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 2		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 3		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Promedio de espaciado del Estrato, Discontinuidad 1, 2 y 3										5.75
	B. Guías para la clasificación según las condiciones de las discontinuidades (Promedio del Estrato y discontinuidades)										
	Longitud (Persistencia) E puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			> 20 m 0	0
4	Longitud (Persistencia) D1 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D2 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D3 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Promedio de la longitud del Estrato, Discontinuidad										1.5
	Separación (abertura) E puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			1 - 5 mm 1	1
	Separación (abertura) D1 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D2 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D3 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Promedio de la separación del Estrato, Discontinuidad										6
	Rugosidad E puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Muy rugosa 6	6
	Rugosidad D1 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Rugosa 5	5
	Rugosidad D2 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Ligeramente rugosa 3	3
	Rugosidad D3 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Rugosa 5	5
	Promedio de la rugosidad del Estrato, Discontinuidad										5
	Meteorización E puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Moderadamente meteorizada 3	3
	Meteorización D1 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Moderadamente meteorizada 3	3
	Meteorización D2 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Ligeramente meteorizada 5	5
	Meteorización D3 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Ligeramente meteorizada 5	5
	Promedio de meteorización del Estrato, Discontinuidad										5
	Suma de condición de discontinuidades										17.5
5	Agua subterránea	flujo por cada 10m. De longitud del túnel (1/min)	Ninguno	< 10	10 a 25	25 - 125	> 125				
		(Presión de agua en la diacl.) (Tensión principal mayor o1)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5				
		Condiciones generales	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo			Húmedo	
	puntaje		15	10	7	4	0			10	10
			100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21				61
			I	II	III	IV	V				II
			Muy buena	Buena	Regular	Mala	Muy mala				Buena

Clasificación RMR, determinado rango de valores- E.G.6

	A. Parámetros de clasificación con sus valores									Valoración	Valoración
	Parámetros		Rango de valores								
1	Resistencia de la roca intacta	Índice de Resistencia de Carga Puntual (IS)	> 10 Mp	4-10 Mpa	2 -4 Mpa	1 -2 Mpa	Para estos rangos es recomendable ensayos de resistencia a la compresión				
		Resistencia a la compresión uniaxial	> 250 Mpa	100 - 250 Mpa	50 - 100 Mpa	25 - 50 Mpa	5 -25 Mpa	1 - 5 Mpa	< 1 Mpa	50 - 100 Mpa	
		Puntaje	15	12	7	4	2	1	0	7	12
2	RQD		90-100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25			90-100	
	Puntaje		20	17	13	8	3			20	13
3	Espaciado del estrato		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 1		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 2		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 3		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
4	Promedio de espaciado del Estrato, Discontinuidad 1, 2 y 3										15
	B. Guías para la clasificación según las condiciones de las discontinuidades (Promedio del Estrato y discontinuidades)										
	Longitud (Persistencia) E puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			> 20 m 0	0
	Longitud (Persistencia) D1 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D2 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D3 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Promedio de la longitud del Estrato, Discontinuidad										1.5
	Separación (abertura) E puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			1 - 5 mm 1	1
	Separación (abertura) D1 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D2 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D3 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Promedio de la separación del Estrato, Discontinuidad										2
	Rugosidad E puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Muy rugosa 6	6
	Rugosidad D1 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Rugosa 5	5
	Rugosidad D2 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Ligeramente rugosa 3	3
	Rugosidad D3 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Rugosa 5	5
	Promedio de la rugosidad del Estrato, Discontinuidad										5
	Meteorización E puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Moderadamente meteorizada 3	3
	Meteorización D1 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Moderadamente meteorizada 3	3
	Meteorización D2 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Ligeramente meteorizada 5	5
	Meteorización D3 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Ligeramente meteorizada 5	5
	Promedio de meteorización del Estrato, Discontinuidad										5
	Suma de condición de discontinuidades										13.5
5	Agua subterránea	flujo por cada 10m. De longitud del túnel (1/min)	Ninguno	< 10	10 a 25	25 - 125	> 125				
		(Presión de agua en la diacl.) (Tensión principal mayor o1)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5				
		Condiciones generales	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo			Húmedo	
	puntaje		15	10	7	4	0			10	10
	Puntaje		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21				64
	Tipos de rocas		I	II	III	IV	V				II
	Descripción		Muy buena	Buena	Regular	Mala	Muy mala				Buena

Clasificación RMR, determinado rango de valores- E.G.7

	A. Parámetros de clasificación con sus valores									Valoración	Valoración
	Parámetros		Rango de valores								
1	Resistencia de la roca intacta	Índice de Resistencia de Carga Puntual (IS)	> 10 Mp	4-10 Mpa	2 -4 Mpa	1 -2 Mpa	Para estos rangos es recomendable ensayos de resistencia a la compresión				
		Resistencia a la compresión uniaxial	> 250 Mpa	100 - 250 Mpa	50 - 100 Mpa	25 - 50 Mpa	5 -25 Mpa	1 - 5 Mpa	< 1 Mpa	50 - 100 Mpa	
		Puntaje	15	12	7	4	2	1	0	7	12
2	RQD		90-100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25			90-100	
	Puntaje		20	17	13	8	3			20	17
3	Espaciado del estrato		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 1		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Promedio de espaciado del Estrato, Discontinuidad 1										9
	B. Guías para la clasificación según las condiciones de las discontinuidades (Promedio del Estrato y discontinuidades)										
	Longitud (Persistencia) E puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			> 20 m 0	0
	Longitud (Persistencia) D1 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Promedio de la longitud del Estrato, Discontinuidad										0
	Separación (abertura) E puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			1 - 5 mm 1	1
	Separación (abertura) D1 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
4	Promedio de la separación del Estrato, Discontinuidad										5
	Rugosidad E puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Muy rugosa 6	6
	Rugosidad D1 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Rugosa 5	5
	Promedio de la rugosidad del Estrato, Discontinuidad										4.5
	Meteorización E puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Moderadamente meteorizada 3	3
	Meteorización D1 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Moderadamente meteorizada 3	3
	Promedio de meteorización del Estrato, Discontinuidad										4
	Suma de condición de discontinuidades										13.5
5	Agua subterránea	flujo por cada 10m. De longitud del túnel (1/min)	Ninguno	< 10	10 a 25	25 - 125	> 125				
		(Presión de agua en la diacl.) (Tensión principal mayor o1)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5				
		Condiciones generales	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo			Húmedo	
	puntaje		15	10	7	4	0			10	10
	Puntaje		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21				62
	Tipos de rocas		I	II	III	IV	V				II
	Descripción		Muy buena	Buena	Regular	Mala	Muy mala				Buena

Clasificación RMR, determinado rango de valores- E.G.8

	A. Parámetros de clasificación con sus valores									Valoración	Valoración
	Parámetros		Rango de valores								
1	Resistencia de la roca intacta	Índice de Resistencia de Carga Puntual (IS)	> 10 Mp	4-10 Mpa	2 -4 Mpa	1 -2 Mpa	Para estos rangos es recomendable ensayos de resistencia a la compresión				
		Resistencia a la compresión uniaxial	> 250 Mpa	100 - 250 Mpa	50 - 100 Mpa	25 - 50 Mpa	5 -25 Mpa	1 - 5 Mpa	< 1 Mpa	50 - 100 Mpa	
	Puntaje		15	12	7	4	2	1	0	7	12
2	RQD		90-100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25			90-100	
	Puntaje		20	17	13	8	3			20	13
3	Espaciado del estrato		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 1		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 2		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 3		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 4		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 5		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Promedio de espaciado del Estrato, Discontinuidad 1, 2 y 3										5
4	**B. Guías para la clasificación según las condiciones de las discontinuidades (Promedio del Estrato y discontinuidades)**										
	Longitud (Persistencia) E puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			> 20 m 0	0
	Longitud (Persistencia) D1 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D2 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D3 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D4 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D45 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Promedio de la longitud del Estrato, Discontinuidad										3
	Separación (abertura) E puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			1 - 5 mm 1	1
	Separación (abertura) D1 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D2 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D3 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D4 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D5 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Promedio de la separación del Estrato, Discontinuidad										4.6
	Rugosidad E puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Muy rugosa 6	6
	Rugosidad D1 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Rugosa 5	5
	Rugosidad D2 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Ligeramente rugosa 3	3
	Rugosidad D3 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Rugosa 5	5
	Rugosidad D4 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Rugosa 5	5
	Rugosidad D5 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Rugosa 5	5
	Promedio de la rugosidad del Estrato, Discontinuidad										3.3
	Meteorización E puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Moderadamente meteorizada 3	3
	Meteorización D1 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Moderadamente meteorizada 3	3
	Meteorización D2 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Ligeramente meteorizada 5	5
	Meteorización D3 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Ligeramente meteorizada 5	5
	Meteorización D4 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Ligeramente meteorizada 5	5
	Meteorización D5 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Ligeramente meteorizada 5	5
	Promedio de meteorización del Estrato, Discontinuidad										5
5	**Suma de condición de discontinuidades**										5
	Agua subterránea	flujo por cada 10m. De longitud del túnel (1/min)	Ninguno	< 10	10 a 25	25 - 125	> 125				15.9
		(Presión de agua en la diacl.) (Tensión principal mayor o1)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5				
		Condiciones generales	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo			Húmedo	
	puntaje		15	10	7	4	0			10	
											10
		Puntaje	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21				58
		Tipos de rocas	I	II	III	IV	V				II
		Descripción	Muy buena	Buena	Regular	Mala	Muy mala				Regular

Clasificación RMR, determinado rango de valores- E.G.9

			A. Parámetros de clasificación con sus valores							Valoración	Valoración
	Parámetros		Rango de valores								
1	Resistencia de la roca intacta	Índice de Resistencia de Carga Puntual (IS)	> 10 Mp	4-10 Mpa	2 -4 Mpa	1 -2 Mpa	Para estos rangos es recomendable ensayos de resistencia a la compresión				
		Resistencia a la compresión uniaxial	> 250 Mpa	100 - 250 Mpa	50 - 100 Mpa	25 - 50 Mpa	5 -25 Mpa	1 - 5 Mpa	< 1 Mpa	50 - 100 Mpa	
	Puntaje		15	12	7	4	2	1	0	7	12
2	RQD		90-100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25			90-100	
	Puntaje		20	17	13	8	3			20	17
3	Espaciado del estrato		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 1		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 2		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 3		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 4		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5				15
	Espaciado de las discontinuidades 5		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5				15
	Espaciado de las discontinuidades 6		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5				
	Promedio de espaciado del Estrato, Discontinuidad 1, 2 y 3										11
4	**B. Guías para la clasificación según las condiciones de las discontinuidades (Promedio del Estrato y discontinuidades)**										
	Longitud (Persistencia) E puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			> 20 m 0	0
	Longitud (Persistencia) D1 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D2 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D3 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D4 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D5 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D6 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Promedio de la longitud del Estrato, Discontinuidad										5.6
	Separación (abertura) E puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			1 - 5 mm 1	1
	Separación (abertura) D1 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D2 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D3 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D4 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D5 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			1 - 5 mm 1	1
	Separación (abertura) D6 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			1 - 5 mm 1	1
	Promedio de la separación del Estrato, Discontinuidad										5.3
	Rugosidad E puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Muy rugosa 6	6
	Rugosidad D1 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Rugosa 5	5
	Rugosidad D2 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Ligeramente rugosa 3	3
	Rugosidad D3 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Rugosa 5	5
	Rugosidad D4 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Rugosa 5	5
	Rugosidad D5 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Rugosa 5	5
	Rugosidad D6 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0				
	Promedio de la rugosidad del Estrato, Discontinuidad										4.8
	Meteorización E puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Moderadamente meteorizada 3	3
	Meteorización D1 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Moderadamente meteorizada 3	3
	Meteorización D2 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Ligeramente meteorizada 5	5
	Meteorización D3 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Ligeramente meteorizada 5	5
	Meteorización D4 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Ligeramente meteorizada 5	5
	Meteorización D5 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Ligeramente meteorizada 5	5
	Meteorización D6 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Ligeramente meteorizada 5	5
	Promedio de meteorización del Estrato, Discontinuidad										5
	Suma de condición de discontinuidades										20.7
5	Agua subterránea	flujo por cada 10m. De longitud del túnel (1/min)	Ninguno	< 10	10 a 25	25 - 125	> 125				
		(Presión de agua en la diacl.) (Tensión principal mayor o1)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5				
		Condiciones generales	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo			Húmedo	
	puntaje		15	10	7	4	0			10	15
	c. Tipos de macizos determinados a partir de la valuación total										
	Puntaje		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21				78
	Tipos de rocas		I	II	III	IV	V				II
	Descripción		Muy buena	Buena	Regular	Mala	Muy mala				Buena

Clasificación RMR, determinado rango de valores- E.G.10

			A. Parámetros de clasificación con sus valores							Valoración	Valoración
	Parámetros		Rango de valores								
1	Resistencia de la roca intacta	Índice de Resistencia de Carga Puntual (IS)	> 10 Mp	4-10 Mpa	2 -4 Mpa	1 -2 Mpa	Para estos rangos es recomendable ensayos de resistencia a la compresión				
		Resistencia a la compresión uniaxial	> 250 Mpa	100 - 250 Mpa	50 - 100 Mpa	25 - 50 Mpa	5 -25 Mpa	1 - 5 Mpa	< 1 Mpa	50 - 100 Mpa	
	Puntaje		15	12	7	4	2	1	0	7	12
2	RQD		90-100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25			90-100	
	Puntaje		20	17	13	8	3			20	17
3	Espaciado del estrato		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 1		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 2		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 3		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 4		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm				
	Puntaje		20	15	10	8	5				
	Promedio de espaciado del Estrato, Discontinuidad 1, 2 y 3										11
4	**B. Guías para la clasificación según las condiciones de las discontinuidades (Promedio del Estrato y discontinuidades)**										
	Longitud (Persistencia) E puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			> 20 m 0	0
	Longitud (Persistencia) D1 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D2 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D3 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D4 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0				
	Promedio de la longitud del Estrato, Discontinuidad										0
	Separación (abertura) E puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			1 - 5 mm 1	1
	Separación (abertura) D1 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D2 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D3 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D4 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0				
	Promedio de la separación del Estrato, Discontinuidad										3.8
	Rugosidad E puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Muy rugosa 6	6
	Rugosidad D1 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Rugosa 5	5
	Rugosidad D2 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Ligeramente rugosa 3	3
	Rugosidad D3 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Rugosa 5	5
	Rugosidad D4 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0				
	Promedio de la rugosidad del Estrato, Discontinuidad										4.2
	Meteorización E puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Moderadamente meteorizada 3	3
	Meteorización D1 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Moderadamente meteorizada 3	3
	Meteorización D2 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Ligeramente meteorizada 5	5
	Meteorización D3 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Ligeramente meteorizada 5	5
	Meteorización D4 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0				
	Promedio de meteorización del Estrato, Discontinuidad										4.6
	Suma de condición de discontinuidades										12.6
5	Agua subterránea	flujo por cada 10m. De longitud del túnel (1/min)	Ninguno	< 10	10 a 25	25 - 125	> 125				
		(Presión de agua en la diacl.) (Tensión principal mayor o1)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5				
		Condiciones generales	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo			Húmedo	
	puntaje		15	10	7	4	0			10	10
	c. Tipos de macizos determinados a partir de la valuación total										
	Puntaje		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21				63
	Tipos de rocas		I	II	III	IV	V				II
	Descripción		Muy buena	Buena	Regular	Mala	Muy mala				Buena

Clasificación RMR, determinado rango de valores- E.G.11

	A. Parámetros de clasificación con sus valores								Valoración	Valoración
	Parámetros		Rango de valores							
1	Resistencia de la roca intacta	Índice de Resistencia de Carga Puntual (IS)	> 10 Mp	4-10 Mpa	2 -4 Mpa	1 -2 Mpa	Para estos rangos es recomendable ensayos de resistencia a la compresión			
		Resistencia a la compresión uniaxial	> 250 Mpa	100 - 250 Mpa	50 - 100 Mpa	25 - 50 Mpa	5 -25 Mpa	1 - 5 Mpa / < 1 Mpa	50 - 100 Mpa	
	Puntaje		15	12	7	4	2	1 / 0	7	12
2	RQD		90-100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		90-100	
	Puntaje		20	17	13	8	3		20	13
3	Espaciado del estrato		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5		15	15
	Espaciado de las discontinuidades 1		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5		15	15
	Espaciado de las discontinuidades 2		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5		15	15
	Espaciado de las discontinuidades 3		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5		15	15
	Espaciado de las discontinuidades 4		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			
	Puntaje		20	15	10	8	5			
	Promedio de espaciado del Estrato, Discontinuidad 1, 2 y 3									5
4	**B. Guías para la clasificación según las condiciones de las discontinuidades (Promedio del Estrato y discontinuidades)**									
	Longitud (Persistencia) E puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0		> 20 m 0	0
	Longitud (Persistencia) D1 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0		3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D2 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0		3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D3 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0		3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D4 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			
	Promedio de la longitud del Estrato, Discontinuidad									4
	Separación (abertura) E puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0		1 - 5 mm 1	1
	Separación (abertura) D1 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0		0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D2 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0		0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D3 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0		0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D4 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			
	Promedio de la separación del Estrato, Discontinuidad									4.8
	Rugosidad E puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0		Muy rugosa 6	6
	Rugosidad D1 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0		Rugosa 5	5
	Rugosidad D2 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0		Ligeramente rugosa 3	3
	Rugosidad D3 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0		Rugosa 5	5
	Rugosidad D4 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			
	Promedio de la rugosidad del Estrato, Discontinuidad									3.8
	Meteorización E puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0		Moderadamente meteorizada 3	3
	Meteorización D1 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0		Moderadamente meteorizada 3	3
	Meteorización D2 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0		Ligeramente meteorizada 5	5
	Meteorización D3 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0		Ligeramente meteorizada 5	5
	Meteorización D4 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			
	Promedio de meteorización del Estrato, Discontinuidad									5
	Suma de condición de discontinuidades									17.6
5	Agua subterránea	flujo por cada 10m. De longitud del túnel (1/min)	Ninguno	< 10	10 a 25	25 - 125	> 125			
		(Presión de agua en la diacl.) (Tensión principal mayor o1)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5			
		Condiciones generales	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo		Húmedo	
	puntaje		15	10	7	4	0		10	15
	c. Tipos de macizos determinados a partir de la valuación total									
	Puntaje		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21			63
	Tipos de rocas		I	II	III	IV	V			II
	Descripción		Muy buena	Buena	Regular	Mala	Muy mala			Buena

Clasificación RMR, determinado rango de valores- E.G.12

	A. Parámetros de clasificación con sus valores								Valoración	Valoración
	Parámetros		Rango de valores							
1	Resistencia de la roca intacta	Índice de Resistencia de Carga Puntual (IS)	> 10 Mp	4-10 Mpa	2 -4 Mpa	1 -2 Mpa	Para estos rangos es recomendable ensayos de resistencia a la compresión			
		Resistencia a la compresión uniaxial	> 250 Mpa	100 - 250 Mpa	50 - 100 Mpa	25 - 50 Mpa	5 -25 Mpa	1 - 5 Mpa / < 1 Mpa	50 - 100 Mpa	
	Puntaje		15	12	7	4	2	1 / 0	7	7
2	RQD		90-100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		90-100	
	Puntaje		20	17	13	8	3		20	20
3	Espaciado del estrato		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5		15	15
	Espaciado de las discontinuidades 1		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5		15	15
	Espaciado de las discontinuidades 2		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5		15	15
	Espaciado de las discontinuidades 3		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5		15	15
	Espaciado de las discontinuidades 4		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			
	Puntaje		20	15	10	8	5			
	Promedio de espaciado del Estrato, Discontinuidad 1, 2 y 3									15
4	**B. Guías para la clasificación según las condiciones de las discontinuidades (Promedio del Estrato y discontinuidades)**									
	Longitud (Persistencia) E puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0		> 20 m 0	0
	Longitud (Persistencia) D1 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0		3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D2 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0		3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D3 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0		3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D4 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			
	Promedio de la longitud del Estrato, Discontinuidad									1.5
	Separación (abertura) E puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0		1 - 5 mm 1	1
	Separación (abertura) D1 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0		0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D2 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0		0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D3 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0		0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D4 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			
	Promedio de la separación del Estrato, Discontinuidad									3.25
	Rugosidad E puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0		Muy rugosa 6	6
	Rugosidad D1 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0		Rugosa 5	5
	Rugosidad D2 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0		Ligeramente rugosa 3	3
	Rugosidad D3 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0		Rugosa 5	5
	Rugosidad D4 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			
	Promedio de la rugosidad del Estrato, Discontinuidad									4.75
	Meteorización E puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0		Moderadamente meteorizada 3	3
	Meteorización D1 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0		Moderadamente meteorizada 3	3
	Meteorización D2 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0		Ligeramente meteorizada 5	5
	Meteorización D3 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0		Ligeramente meteorizada 5	5
	Meteorización D4 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			
	Promedio de meteorización del Estrato, Discontinuidad									4
	Suma de condición de discontinuidades									13.5
5	Agua subterránea	flujo por cada 10m. De longitud del túnel (1/min)	Ninguno	< 10	10 a 25	25 - 125	> 125			
		(Presión de agua en la diacl.) (Tensión principal mayor o1)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5			
		Condiciones generales	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo		Húmedo	
	puntaje		15	10	7	4	0		10	10
c. Tipos de macizos determinados a partir de la valuación total										
Puntaje			100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21			66
Tipos de rocas			I	II	III	IV	V			II
Descripción			Muy buena	Buena	Regular	Mala	Muy mala			Buena

Clasificación RMR, determinado rango de valores- E.G.13

	A. Parámetros de clasificación con sus valores								Valoración	Valoración
	Parámetros		Rango de valores								
1	Resistencia de la roca intacta	Índice de Resistencia de Carga Puntual (IS)	> 10 Mp	4-10 Mpa	2 -4 Mpa	1 -2 Mpa	Para estos rangos es recomendable ensayos de resistencia a la compresión				
		Resistencia a la compresión uniaxial	> 250 Mpa	100 - 250 Mpa	50 - 100 Mpa	25 - 50 Mpa	5 -25 Mpa	1 - 5 Mpa	< 1 Mpa	50 - 100 Mpa	
	Puntaje		15	12	7	4	2	1	0	7	12
2	RQD		90-100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25			90-100	
	Puntaje		20	17	13	8	3			20	17
3	Espaciado del estrato		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 1		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 2		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 3		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 4		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm				
	Puntaje		20	15	10	8	5				
	Promedio de espaciado de Discontinuidad 1, 2										15
4	**B. Guías para la clasificación según las condiciones de las discontinuidades (Promedio del Estrato y discontinuidades)**										
	Longitud (Persistencia) E puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			> 20 m 0	0
	Longitud (Persistencia) D1 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D2 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D3 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D4 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0				
	Promedio de la longitud de Discontinuidad										0
	Separación (abertura) E puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			1 - 5 mm 1	1
	Separación (abertura) D1 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D2 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D3 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D4 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0				
	Promedio de la separación de Discontinuidad										5
	Rugosidad E puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Muy rugosa 6	6
	Rugosidad D1 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Rugosa 5	5
	Rugosidad D2 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Ligeramente rugosa 3	3
	Rugosidad D3 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Rugosa 5	5
	Rugosidad D4 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0				
	Promedio de la rugosidad del Discontinuidad										5
	Meteorización E puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Moderadamente meteorizada 3	3
	Meteorización D1 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Moderadamente meteorizada 3	3
	Meteorización D2 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Ligeramente meteorizada 5	5
	Meteorización D3 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Ligeramente meteorizada 5	5
	Meteorización D4 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0				
	Promedio de meteorización del Estrato, Discontinuidad										5
	Suma de condición de discontinuidades										15
5	Agua subterránea	flujo por cada 10m. De longitud del túnel (1/min)	Ninguno	< 10	10 a 25	25 - 125	> 125				
		(Presión de agua en la diacl.) (Tensión principal mayor o1)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5				
		Condiciones generales	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo			Húmedo	
	puntaje		15	10	7	4	0			10	10
	c. Tipos de macizos determinados a partir de la valuación total										
	Puntaje		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21				69
	Tipos de rocas		I	II	III	IV	V				II
	Descripción		Muy buena	Buena	Regular	Mala	Muy mala				Buena

Clasificación RMR, determinado rango de valores- E.G.14

	A. Parámetros de clasificación con sus valores									Valoración	Valoración
	Parámetros		Rango de valores								
1	Resistencia de la roca intacta	Índice de Resistencia de Carga Puntual (IS)	> 10 Mp	4-10 Mpa	2 -4 Mpa	1 -2 Mpa	Para estos rangos es recomendable ensayos de resistencia a la compresión				
		Resistencia a la compresión uniaxial	> 250 Mpa	100 - 250 Mpa	50 - 100 Mpa	25 - 50 Mpa	5 -25 Mpa	1 - 5 Mpa	< 1 Mpa	50 - 100 Mpa	
	Puntaje		15	12	7	4	2	1	0	7	12
2	RQD		90-100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25			90-100	
	Puntaje		20	17	13	8	3			20	17
3	Espaciado del estrato		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 1		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 2		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 3		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 4		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm				
	Puntaje		20	15	10	8	5				
	Promedio de espaciado del Estrato, Discontinuidad 1, 2 y 3										15
4	**B. Guías para la clasificación según las condiciones de las discontinuidades (Promedio del Estrato y discontinuidades)**										
	Longitud (Persistencia) E puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			> 20 m 0	0
	Longitud (Persistencia) D1 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D2 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D3 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D4 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0				
	Promedio de la longitud del Estrato, Discontinuidad										0
	Separación (abertura) E puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			1 - 5 mm 1	1
	Separación (abertura) D1 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D2 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D3 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D4 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0				
	Promedio de la separación del Estrato, Discontinuidad										4
	Rugosidad E puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Muy rugosa 6	6
	Rugosidad D1 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Rugosa 5	5
	Rugosidad D2 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Ligeramente rugosa 3	3
	Rugosidad D3 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Rugosa 5	5
	Rugosidad D4 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0				
	Promedio de la rugosidad del Estrato, Discontinuidad										5
	Meteorización E puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Moderadamente meteorizada 3	3
	Meteorización D1 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Moderadamente meteorizada 3	3
	Meteorización D2 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Ligeramente meteorizada 5	5
	Meteorización D3 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Ligeramente meteorizada 5	5
	Meteorización D4 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0				
	Promedio de meteorización del Estrato, Discontinuidad										5
	Suma de condición de discontinuidades										14
5	Agua subterránea	flujo por cada 10m. De longitud del túnel (1/min)	Ninguno	< 10	10 a 25	25 - 125	> 125				
		(Presión de agua en la diacl.) (Tensión principal mayor o1)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5				
		Condiciones generales	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo			Húmedo	
	puntaje		15	10	7	4	0			10	10
	c. Tipos de macizos determinados a partir de la valuación total										
	Puntaje		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21				68
	Tipos de rocas		I	II	III	IV	V				II
	Descripción		Muy buena	Buena	Regular	Mala	Muy mala				Buena

Clasificación RMR, determinado rango de valores- E.G.15

A. Parámetros de clasificación con sus valores										Valoración	Valoración
Parámetros			Rango de valores								
1	Resistencia de la roca intacta	Índice de Resistencia de Carga Puntual (IS)	> 10 Mp	4-10 Mpa	2 -4 Mpa	1 -2 Mpa	Para estos rangos es recomendable ensayos de resistencia a la compresión				
		Resistencia a la compresión uniaxial	> 250 Mpa	100 - 250 Mpa	50 - 100 Mpa	25 - 50 Mpa	5 -25 Mpa	1 - 5 Mpa	< 1 Mpa	50 - 100 Mpa	
	Puntaje		15	12	7	4	2	1	0	7	12
2	RQD		90-100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25			90-100	
	Puntaje		20	17	13	8	3			20	17
3	Espaciado del estrato		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 1		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 2		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 3		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			0.6 - 2 m	
	Puntaje		20	15	10	8	5			15	15
	Espaciado de las discontinuidades 4		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm				
	Puntaje		20	15	10	8	5				
	Promedio de espaciado del Estrato, Discontinuidad 1, 2 y 3										15
4	**B. Guías para la clasificación según las condiciones de las discontinuidades (Promedio del Estrato y discontinuidades)**										
	Longitud (Persistencia) E puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			> 20 m 0	0
	Longitud (Persistencia) D1 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D2 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D3 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0			3 - 10 m 2	2
	Longitud (Persistencia) D4 puntaje		< 1 m 6	1 -3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0				
	Promedio de la longitud del Estrato, Discontinuidad										3.6
	Separación (abertura) E puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			1 - 5 mm 1	1
	Separación (abertura) D1 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D2 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D3 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0			0.1 - 1.0 mm 4	4
	Separación (abertura) D4 puntaje		Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0				
	Promedio de la separación del Estrato, Discontinuidad										4.6
	Rugosidad E puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Muy rugosa 6	6
	Rugosidad D1 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Rugosa 5	5
	Rugosidad D2 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Ligeramente rugosa 3	3
	Rugosidad D3 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0			Rugosa 5	5
	Rugosidad D4 puntaje		Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0				
	Promedio de la rugosidad del Estrato, Discontinuidad										3.8
	Meteorización E puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Moderadamente meteorizada 3	3
	Meteorización D1 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Moderadamente meteorizada 3	3
	Meteorización D2 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Ligeramente meteorizada 5	5
	Meteorización D3 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0			Ligeramente meteorizada 5	5
	Meteorización D4 puntaje		Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0				
	Promedio de meteorización del Estrato, Discontinuidad										5
	Suma de condición de discontinuidades										17
5	Agua subterránea	flujo por cada 10m. De longitud del túnel (1/min)	Ninguno	< 10	10 a 25	25 - 125	> 125				
		(Presión de agua en la diacl.) (Tensión principal mayor o1)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5				
		Condiciones generales	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo			Húmedo	
	puntaje		15	10	7	4	0			10	10
c. Tipos de macizos determinados a partir de la valuación total											
Puntaje			100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21				71
Tipos de rocas			I	II	III	IV	V				II
Descripción			Muy buena	Buena	Regular	Mala	Muy mala				Buena

Anexo P: Ensayo de abrasión de muestra representativa en la zona de estudio

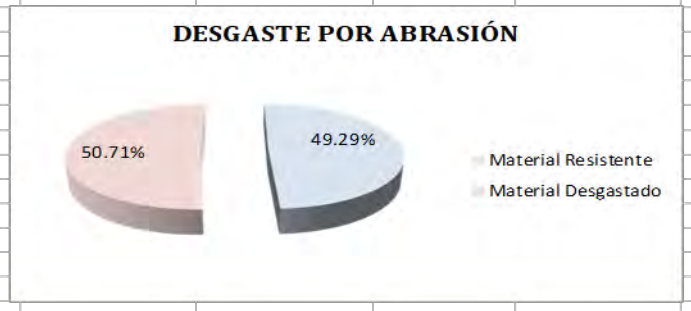
DESGASTE POR ABRASIÓN EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

MTC E 207 - 2016, Basado en la Norma ASTM C-131, ASTM C-535 y AASHTO T-96

DATOS DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES		DATOS DE LA CARGA ABRASIVA (Esferas)	
Longitud Interior (cm) =	50.80	Diámetro Promedio (mm) =	46.65
Diámetro Interior (cm) =	71.10	Peso Promedio (gr) =	416.06
Velocidad de Giro del Cilindro (rpm) =	33	Número de Esferas =	12
Número total de vueltas =	500		

GRANULOMETRÍA SEGÚN TIPO DE GRADACIÓN			PESO DE LA MUESTRA SECA ANTES DEL ENSAYO
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz	Gradación A	
3" (75 mm)	2½" (63 mm)	-	-
2½" (63 mm)	2" (50 mm)	-	-
2" (50 mm)	1½" (37.5 mm)	-	-
1½" (37.5 mm)	1" (25 mm)	1250 ± 25	1251.38
1" (25 mm)	3/4" (19 mm)	1250 ± 25	1253.60
3/4" (19 mm)	1/2" (12.5 mm)	1250 ± 10	1250.74
1/2" (12.5 mm)	3/8" (9.5 mm)	1250 ± 10	1249.15
3/8" (9.5 mm)	1/4" (6.3 mm)	-	-
1/4" (6.3 mm)	Nº 4 (4.75 mm)	-	-
Nº 4 (4.75 mm)	Nº 8 (2.36 mm)	-	-
Total (gr)		**5000 ± 10**	**5004.87**

DATOS DEL ENSAYO	
Peso de la Muestra seca retenida en el tamiz Nº 12, despues del ensayo (gr)	2467.04
Peso que pasa el tamiz Nº 12, despues del ensayo (gr)	2537.83



% DE ABRASIÓN = 50.71%

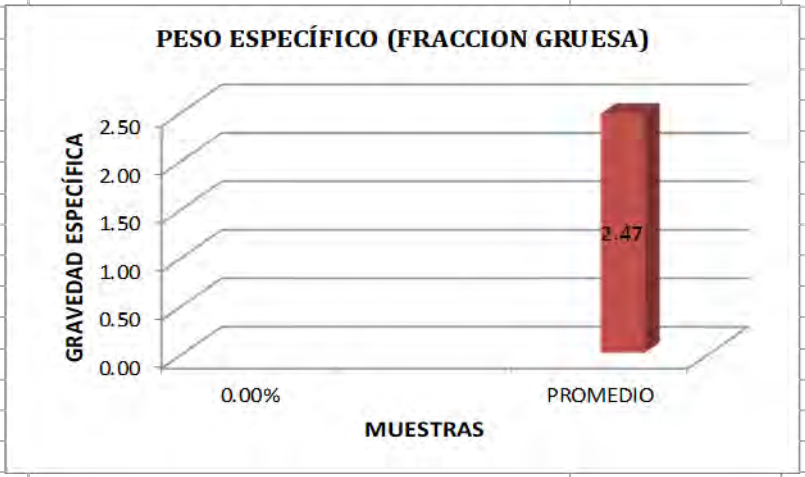
Anexo Q: Ensayo de peso específico de muestra representativa en la zona de estudio

PESO ESPECÍFICO DE SUELOS (FRACCIÓN GRUESA)

MTC E 206, Basado en la Norma ASTM C-127 y AASHTO T-85

DATOS DEL ENSAYO	MUESTRA 01
Peso de la Muestra Seca (gr)	962.06
Peso de la Muestra Sumergida (gr)	603.00
Temperatura del Agua (°C)	15.0
Peso de la Muestra Saturada con Superficie Seca (gr)	993.00
Peso del Agua Desplazada (gr)	390.00
Peso Específico Aparente a temperatura de ensayo (gr/cm3)	2.467
Factor de corrección por temperatura	1.0008273
Peso Específico Aparente (gr/cm3)	2.469

% de Error =	0.00%
< 2%	Ok!



PESO ESPECÍFICO DE GRAVAS = 2.47 gr/cm3