

**IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS EN MACIZOS ROCOSOS
CONDICIONANTES DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES, (CANTERAS DE
PRODUCCIÓN DE LAJAS SAN ANTONIO NORTE Y TOCOGUA DUITAMA-
BOYACÁ)**

JONATHAN BERNAL CRISTANCHO

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2016**

**IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS EN MACIZOS ROCOSOS
CONDICIONANTES DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES, (CANTERAS DE
PRODUCCIÓN DE LAJAS SAN ANTONIO NORTE Y TOCOGUA DUITAMA-
BOYACÁ)**

JONATHAN BERNAL CRISTANCHO

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Director
Javier Eduardo Becerra Becerra
Geólogo (D. Sc)**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2016**

Nota de aceptación

Director de Investigación
Javier Eduardo Becerra Becerra
Geólogo (D. Sc)

Jurado

Jurado

Bogotá D.C. Julio de 2016

Antes que todo quisiera agradecer a DIOS por permitirme alcanzar una meta más en mi vida y por guiarme en cada paso que doy.

También quiero agradecer infinitamente a mis padres: Eusebio Bernal Prieto y Martha Helena Cristancho, y a aquellas personas que siempre desearon verme alcanzar esta meta. Gracias a todos ustedes, son mi más grande apoyo e inspiración para cada día ser alguien mejor.

Un agradecimiento especial al Dr. Javier Eduardo Becerra Becerra quien amablemente estuvo brindándome su apoyo y colaboración en la elaboración de este trabajo.

Jonathan Bernal Cristancho

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	6
1.1. PRESENTACIÓN	6
1.2. OBJETIVOS	7
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	7
1.2.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS	7
1.3. JUSTIFICACIÓN	8
1.4. ANTECEDENTES	9
1.4.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	9
1.4.2. ANTECEDENTES NACIONALES	11
CAPÍTULO 2. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA BLANCO DE ESTUDIO.....	12
2.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y VÍAS DE ACCESO	12
2.1.1. CANTERA SAN ANTONIO NORTE	14
2.1.2. CANTERA TOCOGUA	15
2.2. GEOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA	16
2.2.1. GEOLOGÍA	16
CAPÍTULO 3. ETAPAS DEL TRABAJO	21
3.1. COMPILACIÓN BIBLIOGRÁFICA	21
3.2. TRABAJOS DE CAMPO	21
CAPÍTULO 4. MARCO TEÓRICO	26
4.1. CONCEPTOS BÁSICOS DE IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS ROCOSOS DE UN MACIZO	26
4.1.1. Roca	26
4.1.2. MACIZO ROCOSO	26
4.1.3. DIACLASAS	27
4.1.3.1. DIACLASAS DE RETRACCION	27
4.1.3.2. DIACLASAS DE DESCOMPRESIÓN	27
4.1.4. FALLA	27
4.1.5. PLEGAMIENTO O PLIEGUES	28
4.2. CARACTERIZACIÓN DE MACIZOS ROCOSOS	29
4.1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL AFLORAMIENTO	31
4.1.2. DIVISIÓN EN ZONAS	31
4.1.3. DESCRIPCIÓN DE CADA ZONA	31
4.1.4. DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO	32
4.1.5. CARACTERIZACIÓN GLOBAL DEL MACIZO ROCOSO	32
4.3. DESCRIPCIÓN Y ZONIFICACIÓN DEL AFLORAMIENTO	33
4.3.1. IDENTIFICACIÓN DEL AFLORAMIENTO	33
4.3.2. FOTOGRAFÍAS Y ESQUEMAS	33
4.3.3. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA GENERAL	33
4.4. DIVISIÓN EN ZONAS Y DESCRIPCIÓN GENERAL DE CADA ZONA	34
4.4.1. IDENTIFICACIÓN DE ZONAS SINGULARES	34
4.4.2. CARACTERIZACIÓN DE LA MATRIZ ROCOSA	34
4.4.2.1. IDENTIFICACIÓN	34
4.4.2.2. METEORIZACIÓN	36
4.4.2.3. RESISTENCIA	37
4.5. DESCRIPCIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES	38
4.5.1. ORIENTACIÓN	39
4.5.2. ESPACIADO	40
4.5.3. CONTINUIDAD	42
4.5.4. RUGOSIDAD	43
4.5.5. RESISTENCIA DE LAS PAREDES DE LA DISCONTINUIDAD	44
4.5.6. ABERTURA	45
4.5.7. RELLENO	47
4.5.8. FILTRACIONES	48
4.6. CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO	48
4.6.1. TIPO DE ROCA QUE COMPONE EL MACIZO	49
4.6.2. ESTRUCTURA DE LA MASA ROCOSA	49
4.6.3. ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA ROCA	51
4.7. MÉTODOS DE CLASIFICACIÓN DE LOS MACIZOS ROCOSOS	51
4.7.1. CLASIFICACIÓN DE DEERE O DEL RQD (1967)	52
4.7.2. CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKY (1973)	55
4.7.3. CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKY (1989)	55
4.8. MÉTODOS DE REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES	59
4.8.1. PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA	59

4.8.1. TIPOS DE REPRESENTACIONES ESTEREOGRÁFICAS	61
4.8.1.1. DIAGRAMA DE CÍRCULOS MÁXIMOS O DIAGRAMA BETA	62
4.8.1.2. DIAGRAMA DE POLOS O DIAGRAMA PI.....	63
4.8.1.3. DIAGRAMA DE DENSIDAD DE POLOS.....	63
4.8.2. DIAGRAMA DE ROSETAS	64
CAPÍTULO 5. CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO	65
5.1. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS EN CAMPO E IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN LAS CANTERAS "SAN ANTONIO NORTE Y TOCOGUA"	65
5.1.1. CANTERA SAN ANTONIO NORTE	65
5.2. PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA.....	86
5.3. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA mR	89
5.3.1. CANTERA SAN ANTONIO NORTE	89
5.3.2. CANTERA TOCOGUA	99
5.3.3. PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA.....	104
6. CONCLUSIONES.....	106
7. BIBLIOGRAFÍA	107

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Unidades estratigráficas, Cartografía geoquímica.....	16
Tabla 2. Formato para descripción del macizo Rocoso.....	30
Tabla 3. Clasificación del tamaño de grano de las rocas	35
Tabla 4. Clasificación del grado de meteorización	37
Tabla 5. Descripción del espaciado.....	42
Tabla 6. Descripción de la continuidad.....	43
Tabla 7. Descripción de la abertura.....	46
Tabla 8. Descripción del relleno.....	48
Tabla 9. Tipos de discontinuidades de la masa rocosa.....	50
Tabla 10. Estado de conservación de la masa rocosa.....	51
Tabla 11. Métodos de clasificación de macizos rocosos.....	52
Tabla 12. Equivalencias entre métodos de clasificación de macizos rocosos.....	52
Tabla 13. Puntaje según el valor del R.Q.D. (A).....	56
Tabla 14. Puntaje según resistencia a la compresión simple (B).....	56
Tabla 15. Puntaje según espaciamiento de discontinuidades del grupo más importante (C).....	57
Tabla 16. Puntaje según las condiciones de las discontinuidades (D).....	57
Tabla 17. Puntaje según las condiciones del agua subterránea (E).....	58
Tabla 18. Corrección por la orientación de las discontinuidades (F).....	58
Tabla 19. Categoría de la clasificación Geomecánica.....	59
Tabla 20. Propiedades de las proyecciones azimutales más utilizadas en la ingeniería geológica.....	60
Tabla 21. Clasificación de los deslizamientos.....	75
Tabla 22. Categoría de la clasificación Geomecánica.....	89
Tabla 23. Descripción del espaciado.....	91
Tabla 24. Descripción de la abertura.....	92
Tabla 25. Resistencias a carga puntual de las muestras correspondientes a cada uno de los segmentos de la cantera San Antonio Norte.....	93
Tabla 26. Clasificación de la resistencia de la roca matriz (ISRM ,1981).....	94
Tabla 27. Clasificación de la calidad de la roca matriz según RQD.....	95
Tabla 28. Puntaje según el valor del R.Q.D. (A).....	95
Tabla 29. Puntaje según resistencia a la compresión simple (B).....	96
Tabla 30. Puntaje según espaciamiento de discontinuidades del grupo más importante (C).....	96
Tabla 31. Puntaje según las condiciones de las discontinuidades (D).....	96
Tabla 32. Puntaje según las condiciones del agua subterránea (E).....	97
Tabla 33. Corrección por la orientación de las discontinuidades (F).....	98

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica y mapa geológico, canteras San Antonio Norte y Tocogua	13
Figura 2. Cantera San Antonio Norte	14
Figura 3. Cantera Tocogua.....	15
Figura 4. Mapa Geológico Renzoni, et.al., 1983.	18
Figura 5. Procedimiento de manejo de brújula para toma de datos de orientación de las diferentes discontinuidades.....	22
Figura 6. Rumbo y buzamiento de un estrato rocoso.	23
Figura 7. Cantera vía Duitama- Santa rosa de Viterbo zonas de estudio del macizo rocoso.....	24
Figura 8. Equipos e implementos para realización de recolección de datos	25
Figura 9. Tipos de plegamientos. A.Sinclinal, B.anticlinal con inmersión	28
Figura 10. Cantera San Antonio Norte- Zona de estudio proyecto de grado.....	39
Figura 11. Simbología de los mapas geológicos.....	40
Figura 12. Espaciamiento muy junto	42
Figura 13. Perfiles de rugosidad. La longitud de los perfiles están en el rango entre 1 y 10 metros (ISRM, 1981).....	44
Figura 14. Diaclasa cerrada. Cantera Tocogua	46
Figura 15. Tipos de roca que componen el macizo.	49
Figura 16. Método RQD.....	54
Figura 17. Proyección estereográfica de la esfera y falsilla de Wulf.....	61
Figura 18. Elementos que definen una recta y un plano en geología	61
Figura 19. Proyección estereográfica de un plano inclinado.....	62
Figura 20. a) diagrama de círculos máximos (beta), b) diagrama de polos (pi)	63
Figura 21. a) Diagrama de círculos máximos (beta), b) Diagrama de polos (pi)	64
Figuras 22. Diagrama de rosetas, representación de datos de orientación.	65
Figura 23. Cantera San Antonio Norte	66
Figura 24. Cantera San Antonio Norte-División del macizo en zonas	67
Figura 25. Medición de las capas estratigráficas	68
Figura 26. Inclinación de las capas estratigráficas.....	69
Figura 27. Cantera San Antonio Norte- Zona de estudio proyecto de grado.....	70
Figura 28. Cantera San Antonio Norte recolección de datos	71
Figura 29. Aguas superficiales, perímetro de explotación	72
Figura 30. Aguas superficiales corona del talud zona 1.....	73
Figura 31. Disposición del talud, grietas donde se pueden infiltrar aguas superficiales. Fuente: Curso de explotación de canteras.....	74
Figura 32. Caídas de rocas	75
Figura 33. Basculamiento de columnas de rocas	76
Figura 34. Basculamiento de detritos	77
Figura 35. Deslizamiento rotacional	78
Figura 36. Deslizamiento Traslacional de detritos	78
Figura 37. Deslizamiento Traslacional a los largo de planos de estratificación.....	79
Figura 38. Separación lateral de roca, (Cruden & Varnes, 1996).	79
Figura 39. Separación lateral en el suelo, (Cruden & Varnes, 1996).....	80
Figura 40. Flujo de detritos, (Cruden & Varnes, 1996).....	80
Figura 41. Flujo de lodo y avalancha de detritos, (Cruden & Varnes, 1996).	81
Figura 42. Fenómenos de remoción en masa, caída de bloques en pie del talud (zona 2)	82
Figura 43. Aberturas cantera de San Antonio Norte. Zona 1. Diaclasa 8.	83
Figura 44. Aberturas cantera de San Antonio Norte. Zona 2. Diaclasa 13.	84
Figura 45. Forma y continuidad, Escalonada rugosa. Cantera de San Antonio Norte. Zona 2	85
Figura 46. Diagrama de roseta zona 1	86
Figura 47. Diagrama de roseta zona 2	86
Figura 48. Diagrama de polos zona 1.	87
Figura 49. Diagrama de polos zona 2.	87
Figura 50. Diagrama de densidad zona 1	88
Figura 51. Diagrama de densidad zona 2	88

Figura 52. Variación del espaciamiento medio con el número de mediciones efectuadas	90
Figura 53. Variación del espaciamiento medio y las diferentes familias de diaclasas.....	90
Figura 54. Perfiles de rugosidad. La longitud de los perfiles están en el rango entre 1 y 10 metros (ISRM, 1981).....	92
Figura 55. Favorabilidad de la dirección de las discontinuidades y buzamiento en túneles.....	98
Figura 56. Cantera Tocogua.....	99
Figura 57. Residuos generados por explotación de la cantera	102
Figura 58. Diaclasas cerradas cantera de Tocogua.....	104
Figura 59. Diagrama de roseta	105
Figura 60. Diagrama de polos	105
Figura 61. Diagrama de densidad	105

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. PRESENTACIÓN

La identificación de los elementos estructurales como: fallas, pliegues, diaclasas, etc., del macizo rocoso en las canteras San Antonio Norte y Tocogua del municipio de Duitama-Boyacá, donde se realiza extracción de materiales de construcción es de vital importancia, ya que por medio de esta, se evalúa la incidencia de estos elementos en la estabilidad de la estructura del macizo, como también en los procesos de remoción en masa ocasionados, que pueden poner en peligro el bienestar y seguridad de las personas que trabajan en estas canteras y de las que transitan por la vía.

Este proceso de identificación, caracterización, y clasificación del macizo rocoso permite a su vez estimar el comportamiento del mismo, cuando cada uno de estos elementos se ven afectados, ya sea por la actividad minera o demás factores de intervención humana que se pueden manifestar en fenómenos de remoción en masa.

En el presente trabajo se realiza la descripción de los elementos del macizo rocoso presentes en las canteras objeto de estudio, se presentan y analizan los resultados obtenidos para establecer la calidad del macizo según los métodos de clasificación geomecánica RMR (*Rock Mass Rating*); y finalmente se realiza una serie de recomendaciones dando relevancia a la importancia de los estudios geológicos aplicados en la ingeniería civil.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar la identificación de los elementos del macizo rocoso, para comprender los diferentes factores que intervienen en situaciones de fenómenos de remoción en masa y establecer la importancia de los estudios de geología en el desarrollo de proyectos de construcción de obras civiles.

1.2.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Conocer los principales términos geológicos relacionados con mecánica de rocas para la caracterización de elementos de los macizos rocosos y su importancia en el establecimiento de la estabilidad de los mismos.
- Realizar el reconocimiento preliminar de las canteras de producción de lajas, determinando, elementos geológicos como: planos de estratificación, pliegues, fallas, diaclasas etc.
- Estudiar los diferentes tipos de discontinuidades en los macizos, sus características y su importancia en los procesos de remoción en masa.
- Interpretar datos recopilados en campo y establecer la calidad del macizo según los métodos de clasificación geomecánica RMR para la cantera de San Antonio Norte.
- Profundizar en los conocimientos de geología aplicada al estudio de macizos rocosos para así, llevarlos a la práctica en la ingeniería civil.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La caracterización apropiada de los macizos rocosos, además de ser la base para el diseño de las obras mineras y de construcción, contribuye a la optimización del mismo, ya que proporciona un conocimiento más a fondo para determinar la calidad geotécnica de un macizo rocoso y permite evidenciar la distinción entre un macizo y otro de manera rápida y fácil, dando la oportunidad de implementar medidas de mejoramiento.

El proyecto de grado titulado: “Identificación de elementos en macizos rocosos incidentes en la inestabilidad de taludes (canteras de producción de lajas San Antonio norte y Tocogua-Duitama Boyacá)”, está enmarcado en el proyecto de investigación de la universidad Santo Tomas titulado: “La extracción minera de areniscas de la formación UNE, incidencia en la estabilidad de taludes. Caracterización físico-química, mecánica y de alterabilidad para optimización de extracción y uso en obras viales y en arquitectura”. En primer lugar se pretende identificar y describir los elementos de macizos rocosos, para posteriormente realizar el tratamiento y análisis de los datos recolectados en campo, los cuales se representaran gráficamente con algunas técnicas de proyección estereográfica, y por último se realizara un ejercicio de clasificación geomecánica RMR de macizos rocosos, el cual contribuirá a establecer las medidas de mitigación de fenómenos de remoción en masa, producto no solo de la naturaleza, sino también de la intervención del hombre. Los habitantes de ésta zona, recurren a la explotación del macizo, como forma de sustento, ya que este material es utilizado para diversos fines en la construcción de obras civiles.

1.4. ANTECEDENTES

La importancia del estudio de la caracterización y clasificación geomecánica del macizo rocoso surgió de la necesidad de parametrizar observaciones y datos empíricos, de forma integrada, para evaluar las medidas de sostenimiento en túneles. Estas medidas son un método de ingeniería geológica que permite evaluar el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos, y a partir de estas estimar los parámetros geotécnicos de diseño y el tipo de sostenimiento de un túnel. Solo hasta la década de los 70 las distintas clasificaciones logran internacionalizarse. El primer sistema de clasificaciones fue el propuesto por Terzagui en 1946, convirtiéndose este en el primer aporte a las investigaciones geomecánicas, seguida por otro número de clasificaciones que surgieron como modificaciones a las anteriores, y de las cuales para este trabajo se tendrá en cuenta la clasificación presupuesta por (Bieniawski,1972).

1.4.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Las investigaciones consultadas sobre el tema de caracterización de macizos rocosos que se mencionarán a continuación, fueron consideradas de gran importancia para el trabajo de grado ya que algunos llegan al mismo fin o tienen la necesidad de realizar estudios en el macizo rocoso para diversos fines.

La investigación “Propuesta Metodológica para la Caracterización Geotécnica de los Taludes Rocosos del Camino de Acceso al Cerro San Bernardo, Ciudad de Salta - Argentina” (Marcuzzi y Cerusico, 2009). La zona de estudio se llevó a cabo en la ladera occidental de la Sierra del Mojotoro, donde, como consecuencia de las precipitaciones en el camino de acceso al cerro San Bernardo, se originaron deslizamientos que comprometían la estabilidad del mismo. La situación de deslizamientos que se presenta en este lugar, se convierte en el conjunto de problemáticas que ponen en riesgo la estabilidad del camino y las obras de infraestructura que actualmente existen.

La investigación de esta zona se realizó por la necesidad de estudiar la estabilidad de los macizos rocosos del camino, por la importancia de su uso público, factor que se considera relevante, para la seguridad de los usuarios de este entorno turístico, religioso y deportivo, y a que en sus en sus laderas y piedemontes hay viviendas

construidas. El estudio propuesto apunta específicamente a determinar en base a sus particularidades geológicas, las características geotécnicas de los macizos rocosos presentes en la traza de acuerdo con la metodología de la *International Society for Rock Mechanics* (1981) y desarrollada por Bieniawski en 1976, conocida como *Rock Mass Rating* o RMR, luego de las modificaciones realizadas por el mismo autor en 1979, 1983 y 1989, y aceptada mundialmente para describir las condiciones de un macizo rocoso. Luego una vez conocidas las condiciones geomecánicas del macizo rocoso, empleando el método propuesto por Romana (1985) denominado *Slope Mass Rating* o SMR, se clasificaron los taludes de acuerdo a sus diferentes grados de estabilidad o inestabilidad.

Con la clasificación de los macizos rocosos y taludes por medio de los métodos *Multiple Reaction Monitoring* o MRM y SMR, que determina su comportamiento geomecánico y susceptibilidad al deslizamiento, se determinó una zonificación del camino de acceso al cerro San Bernardo, donde se establecieron sectores de mayor o menor peligrosidad en relación con la estabilidad de los taludes presentes.

La investigación “Caracterización geomecánica de macizos rocosos en obras subterráneas de la región oriental de país”, (Cartaya-Pire, 2001), se realizó en la ciudad de Santiago de Cuba-Cuba, específicamente en las minas de cromo Merceditas, Amores y el cobre, de los túneles hidrotécnicos de los Trasvases Melones – Sabanilla y Caney – Gilbert. El objetivo principal fue conocer cuáles son sus características y comportamiento ulterior, donde se presenta problemas de estabilidad lo que influye directamente al gasto de los recursos, por lo que los macizos rocosos no son diferenciados para el estudio y adopción de medidas, la investigación reside en el insuficiente alcance y contenido de los procedimientos que se aplican actualmente para el estudio de los macizos rocosos, ya que estos no son diferenciados geomecánicamente, también es necesario significar que la zona de estudio donde se realiza la investigación, abarca una extensa región de la zona oriental, por lo que se realiza un macro estudio de las características geomecánicas de los macizo.

Una de las conclusiones del trabajo investigativo fue establecer las importantes características geomecánicas de los macizos rocosos estudiados y se proponen los

modelos geomecánicos más representativos para cada caso; la metodología de la investigación constituye un aporte científico y brinda elementos novedosos y que se pueden aplicar a cualquier tipo de macizo tanto en obras subterráneas como en la superficie. Por otro lado como resultado de la evaluación de la estabilidad de los macizos rocosos según su calidad y estabilidad se obtiene que predominan los macizos de calidad regular, aunque en diferentes sectores y obras se presentan macizos en mal estado, lo que es condicionado además de los problemas estructurales, por el deterioro que ellos han sufrido por efectos del agua, la erosión y efectos ambientales.

1.4.2. ANTECEDENTES NACIONALES

La investigación “Caracterización Geotécnica del macizo rocoso contenido en el sector explotado del sinclinal la Jagua”, (Vásquez, 2010), se llevó acabo en el municipio de la Jagua de Ibirico-Cesar, se basa principalmente en desarrollar un estudio de las propiedades físicas y mecánicas más relevantes del macizo rocoso de la formación Los Cuervos (Miembro superior) que aflora en la mina el proyecto la Jagua.

Esta investigación se realiza a partir de un proceso de profundización de una mina que ha tenido problemas de inestabilidad, en los taludes, en el cual se desarrolla una clasificación geomecánica del depósito, lo cual influirá en el conocimiento y desarrollo de las actividades mineras del futuro, el método que se utilizó para esta investigación, fue el RMR conocido como *Rock Mass Rating*, propuesto por Bieniaswiski en 1976. La labor de esta investigación es revisar la información geológica y geotécnica relacionada con la zona de estudio y la información existente en la mina obtenida de núcleos de formación, como también realizar ensayos y reconocimientos de campo de la matriz y el macizo rocoso respecto a su litología, resistencias y discontinuidades.

La investigación “La caracterización y clasificación geomecánica del macizo rocoso, para determinar la estabilidad óptima de los taludes, en la cantera La Primavera”, ubicado en el municipio de Bosconia, departamento del Cesar, (Brito y Ortiz, 2011). La cantera La Primavera, es una empresa que se dedica a la extracción de caliza, la cual es utilizada posteriormente como un agregado para carreteras y vías de acceso de la región. El sistema de explotación utilizado es a cielo abierto; el método de extracción

son bancos descendentes, los cuales conforman taludes de pendientes y paredes altas. En esta investigación se realizan estudios geológicos y análisis mineralógicos de las rocas, con el fin de valorar los parámetros geomecánicos según la clasificación de macizos rocosos (en este caso el método RMR de Bieniaswski), para determinar la estabilidad óptima de los taludes en la explotación del macizo rocoso de la cantera.

CAPÍTULO 2. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA BLANCO DE ESTUDIO

Duitama se encuentra ubicado en el departamento de Boyacá, situado en el centro-oriente de Colombia, en la región del Alto Chicamocha. Cuenta con una población de aproximadamente 130.392 habitantes. Limita por el norte con el departamento de Santander municipios de Charalá y Encino; por el sur con el municipio de Tibasosa; por el oriente con los municipios de Santa Rosa de Viterbo y Belén, y por el occidente con el municipio de Paipa.

2.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y VÍAS DE ACCESO

El sitio de trabajo se encuentra ubicado fuera del área del casco urbano del municipio de Duitama (Boyacá), donde se encuentran las canteras que son blanco de estudio en este trabajo de grado, como se presentan a continuación en la Figura 1 donde se muestra la localización geográfica y mapa geológico de las canteras San Antonio norte y Tocogua.



Figura 1. Localización geográfica y mapa geológico, canteras San Antonio Norte y Tocogua. Tomado de Becerra Suarez y Patiño (2015).

2.1.1. CANTERA SAN ANTONIO NORTE

Esta cantera se encuentra localizada en la vereda San Antonio Norte específicamente vía Duitama-Santa Rosa de Viterbo (vía Sauna La Frontera), con su frente de extracción delimitada por coordenadas: **N: 1.138.581; E: 1.117.526; Elevación: 2599 m.** (Figura2).



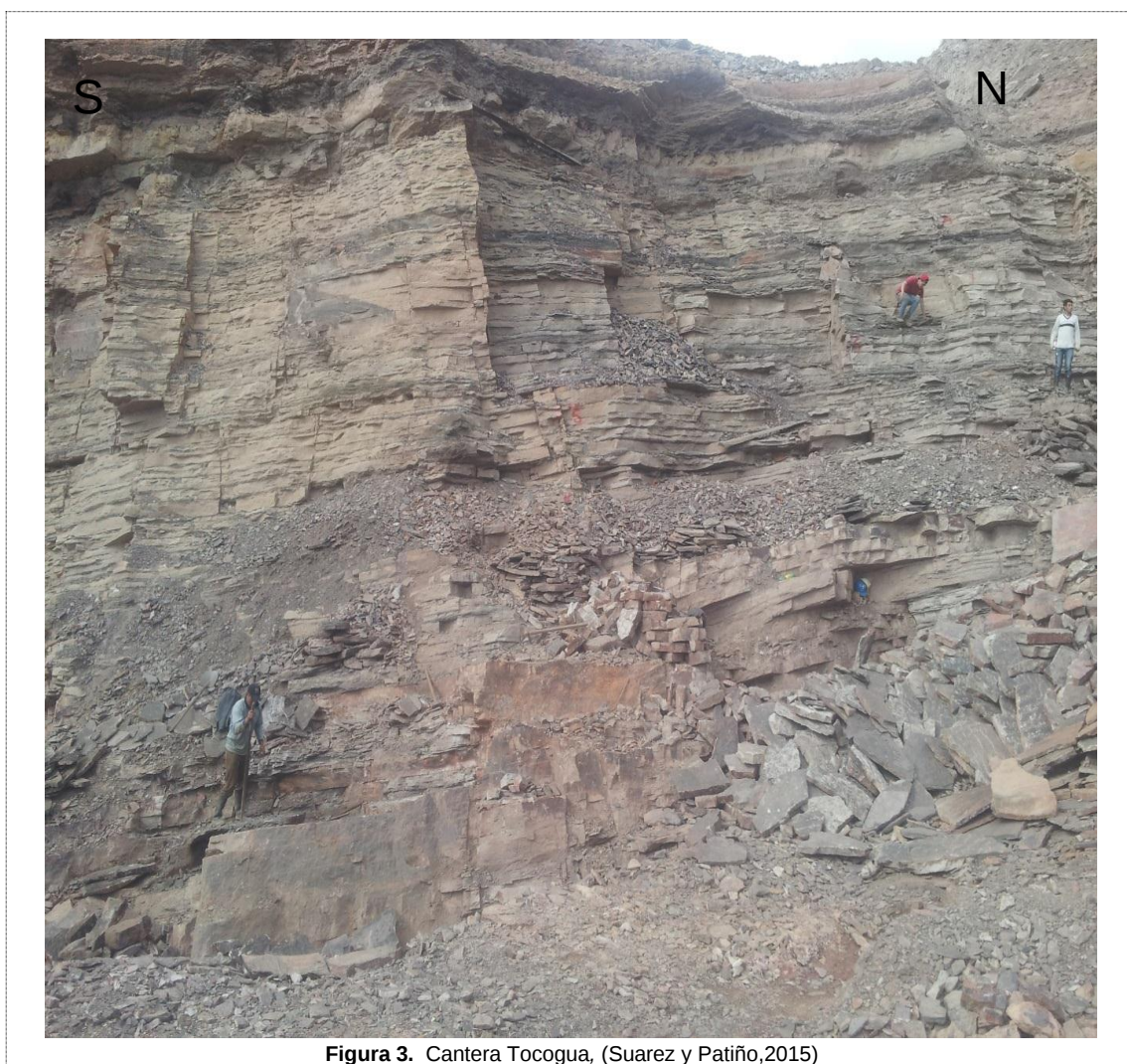
Figura 2. Cantera San Antonio Norte, (Suarez y Patiño, 2015)

Su propietario es el señor Domingo Fajardo y dentro de ella se encuentran trabajando cinco personas. En esta cantera se extraen 180 metros cúbicos de laja rustica al mes, que son vendidas para ser utilizadas como material para ornamentaciones o acabados

ya sea enchapes y pisos en los municipios de Duitama, Sogamoso, Tunja y Bogotá D.C. Los residuos se usan como material de afirmado en caminos veredales y como relleno para la construcción.

2.1.2. CANTERA TOCOGUA

Esta cantera se encuentra ubicada en la vereda Tocogua de la ciudad de Duitama, con coordenadas aproximadas N: 1.138.795; E: 1.120.475; Elevación: 2628 m.



Esta cantera cuenta con todos los permisos mineros y ambientales, su propietario es el señor Javier Vargas y dentro de ella se encuentran trabajando alrededor de 7 a 10 personas. Al mes se extraen 30 metros cúbicos de laja rustica y 60 metros cúbicos de piedra, que son utilizados como agregados para la construcción. (Figura 3).

Esta cantera presenta poca producción del material; aun contando con todos los requisitos y permisos legales requeridos para la explotación minera a campo abierto, no cuenta con manufactura a gran escala.

2.2. GEOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA

Se presenta la información de la plancha 171 de Duitama según lo suministrado por el Servicio Geológico Colombiano (SGC) antes instituto Colombiano de geología y minería Ingeominas.

2.2.1. GEOLOGÍA

Las unidades geológicas de esta plancha (Tabla 1) son rocas sedimentarias con edades que van desde el Paleozoico hasta el Neógeno y al sur oriente se presentan unos cuerpos volcánicos andesíticos Terciarios (Neógeno) al sur de Paipa.

Tabla 1. Unidades estratigráficas, Cartografía geoquímica Mapa Geológico-Plancha 171 Duitama. Ingeominas.

REGION	EDAD		NOMBRE		CODIGO	DESCRIPCION	DEFINIDA POR
1.	Cretácio inferior	Aptiano sup. a Albiano inferior.		Formacion San Gil	Kmsgi	calizas, <i>shales</i> y areniscas cuarzosas, variables	Hubach, 1953-1957. Etayo, 1968. Renzoni,1981
1.		Hauteriviano superior a Aptiano superior	FORMACION PAJA	Formacion Paja	Kimp	<i>Shales</i> negros, esporadicos lentes de caliza.	Renzoni, 1981
1.		Hauteriviano superior a Aptiano superior		Formacion Paja. Mbro. arenoso	Kimpa	Niveles de arenisca cuarzosa prevaleciente sobre niveles de <i>Shales</i>	Wheeler,1929. Etayo,1968
1.		Hauteriviano inferior	Formacion Ritoque		Kiri	Limolitas y Lodolitas grises; calizas	Etayo, 1968
1.		Valanginiano tardio a Hauteriviano temprano	Formacion rosablanca		Kir	calizas con esporadicas intercalaciones de <i>Shales</i>	Wheeler,1929. Etayo,1968
1.		Valanginiano temprano	Formacion Cumbre		Kic	Areniscas cuarzosas grises verdosas, prevalecen a la base; <i>Shales</i> piratosos al techo	Renzoni, 1981
3.		Albiano medio a superior	FORMACION TIBABOSA	Miembro calcareo superior	Kmt1	Calizas y <i>Shale</i> , al techo <i>Shales</i>	
3.				Miembro arenoso intermedio	Kmt2	Areniscas cuarzosas y <i>shales</i> en proporciones variables.	
3.		Hauteriviano inferior		Miembro calcareo inferior	Kit3	<i>Shales</i> ; con algunos niveles de calizas y areniscas	
3.				Miembro Basal	Kit4	Conglomerado, arenisca conglomeratica, arenisca cuarzosa y limolitas moradas y verdes.	
1.		Albiano?	FORMACION LOS MEDIOS	miembro limonita superior	Kims	limolitas y Lodolitas	Renzoni, 1981

Es de interés para este trabajo conocer los principales rasgos estructurales que caracterizan la zona de estudio, y Duitama se caracteriza por encontrarse en la Falla de Boyacá y el anticlinal de Arcabuco, como se muestra en el mapa geológico (Figura 4).

municipios de Duitama, Paipa y Tibasosa, afloran rocas cretácicas denominadas con otra nomenclatura estratigráfica como formaciones Tibasosa y Une. (Renzoni, 1969).

Formación Tibasosa (Kit)

Esta formación fue definida por Renzoni et. al (1969), donde se muestra todas las características de un depósito transgresivo, en el cual ocurren frecuentemente acúñamientos y variaciones rápidas en el tamaño del grano de los sedimentos. Esta formación se halla expuesta en su totalidad al Norte de Belencito. La unidad se halla compuesta por tres miembros el Inferior areno–arcilloso con intercalaciones limosas, el intermedio compuesto por alternancia de limolitas y calizas arenosas, y el miembro superior de arcillolitas fisibles con intercalaciones de capas delgadas de caliza. El espesor total para esta formación es de 250 metros para la columna levantada en la Quebrada Belencito. La sucesión levantada al oriente del Municipio de Busbanzá, corresponde a la parte inferior e intermedia de dicha columna. Son intercalaciones de areniscas conglomeráticas claras, con arcillolitas fisibles, color violeta y gris claro, con un espesor de 90 m en la parte inferior. “Hacia la parte superior afloran bancos de arcillolitas amarillentas y areniscas calcáreas compactas, de grano fino color grisáceo a pardo, con un espesor de 130 metros. El espesor total cartografiado de la formación, es de 220 metros. Yace discordante sobre la Formación Girón y su contacto superior con la Formación Belencito es concordante”. (Reyes I, 1984).

Formación Une (Kiu)

Esta es la formación de interés para este proyecto de investigación, el nombre de esta formación fue establecido por Hubach E. (1957). La formación está constituida de una sucesión monótona de areniscas de grano fino con intercalaciones de lutitas en la parte media. Las areniscas se encuentran en capas con estratificación delgada a gruesa, en potentes bancos, de color gris oscuro aunque también se encuentran capas de colores claros; la topografía característica de esta formación es de grandes escarpes. Hacia la parte superior se presentan intercalaciones de lutitas negras; esporádicamente se encuentra un nivel de carbón semi-antracítico de unos 0.60 m de espesor. La edad de

la formación ha sido considerada por Burgl (1961), como Albiano a Cenomaniano. El ambiente de depositación de la Formación Une es claramente marino.

Por otro lado el principal rasgo estructural de la zona de estudio en el municipio de Duitama es la Falla de Boyacá, que es una estructura ancestral de comienzos del Paleozoico, la cual actuó desde entonces como límite paleo geográfico. Inicialmente se comportó como una estructura de tipo normal la cual estuvo activa durante la depositación de la secuencia sedimentaria durante el Paleozoico al Cretácico. Dicha actividad se encuentra indicada por el cambio fuerte de espesor que presenta la secuencia estratigráfica a lado y lado de ella. De esta forma al oriente de la Falla de Boyacá en el sector del Macizo de Floresta se estableció un relieve de alta montaña, mientras al occidente se generó y desarrollo una cuenca subsidente la cual permitió la acumulación y preservación de una espesa secuencia sedimentaria del Jurásico y Cretácico. Posteriormente durante la orogenia andina la falla habría sido invertida. (Guiza y Espinosa, 2004). La Falla de Boyacá presenta una dirección NE y es de tipo inverso con buzamiento hacia el occidente. Al oriente de la Falla de Boyacá se presenta el dominio caracterizado por el Macizo de Floresta.

También es relevante mencionar las unidades hidrogeológicas para el trabajo que se realizó, ya que se requiere conocer toda la información necesaria de los cuerpos de agua existentes en la región, ya sean acuíferos u otras unidades de importancia para la investigación u otros trabajos que deseen realizar en otras investigaciones de mayor alcance.

Las unidades geológicas que se consideran relevantes en la zona de estudio se toman como unidades hidrogeológicas dependiendo de su permeabilidad. Las rocas con mejor permeabilidad son las no consolidadas como los depósitos cuaternarios. Es importante la permeabilidad del subsuelo de la zona de páramo, ya que como ecosistema estratégico es una zona de recarga fundamental, considerando que el agua que la vegetación de páramo capta, se infiltra con facilidad y puede alimentar los acuíferos subterráneos potenciales del municipio.

En la plancha 171, correspondiente al municipio de Duitama (Boyacá), según el análisis hidrogeológico realizado por el Servicio Geológico Colombiano (S.G.C), antes

INGEOMINAS, hay evidencia de Acuíferos definidos estos como: “Unidad geológica que almacena y transmite el agua con mucha facilidad, por tanto presenta una porosidad y una permeabilidad muy buena; dentro de este grupo se encuentran los sedimentos sueltos arenosos con buena selección.” (Guiza y Espinosa, 2004).

La Formación Une (Kiu) es una unidad rocosa de la cual se extraen las lajas rústicas de las canteras San Antonio Norte y Tocogua, se caracteriza por porosidad secundaria y alta productividad de agua. Esta unidad está constituida por bancos potentes de areniscas cuarcíticas de grano medio, buena compactación, con un espesor mayor o igual a 1211 m. Es un acuífero por fracturamiento de alta productividad, su fuente de recarga es la precipitación y aguas de escorrentía.

CAPÍTULO 3. ETAPAS DEL TRABAJO

3.1. COMPILACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se realizó una revisión bibliográfica, para profundizar sobre el tema en mecánica de rocas y de clasificación geomecánica de macizos rocosos. Se consultaron diferentes autores: Montero (2012), Duque (1998), Alejano y Oyaguren (2004), González de Vallejo (2002) y el mapa: Plancha 171 de Duitama – Ingeominas. En la ejecución de este proyecto se fue aplicando todos los conocimientos adquiridos, tanto al realizar las diferentes comisiones de campo como la elaboración del trabajo.

3.2. TRABAJOS DE CAMPO

Se realizó una primera visita, para llevar a cabo las siguientes actividades:

- Identificación de canteras objeto de estudio

Se investigó cuantas canteras de explotación de lajas había en el municipio, y se escogieron dos para posteriormente realizar el trabajo de investigación.

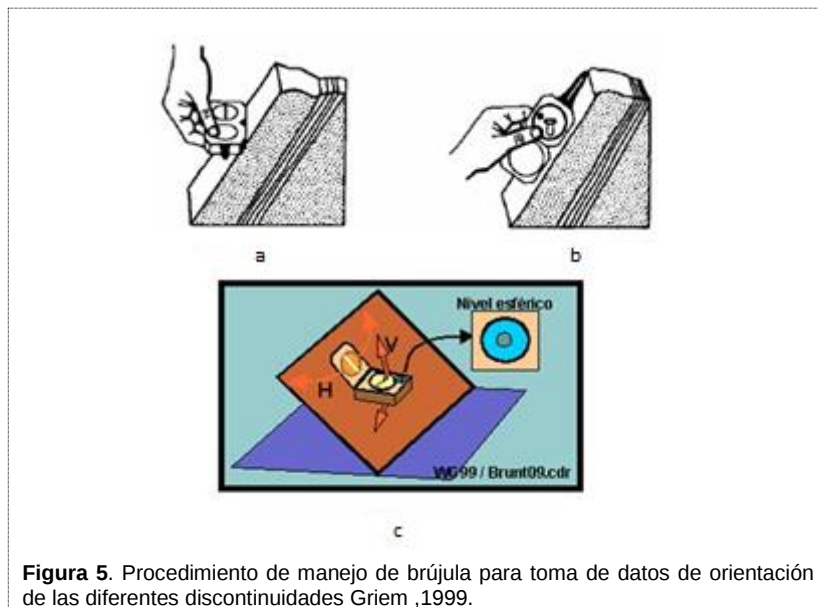
- Reconocimiento visual del macizo rocoso

Se observó el macizo rocoso de las dos canteras, para identificar los elementos estructurales que lo componen.

- Identificación de rocas de cada una de las canteras

- Capacitación de uso de brújula geológica tomando datos de rumbo y buzamiento de diferentes planos en una cantera cualquiera.

Al realizar la capacitación se practicó el manejo de la brújula geológica de la manera como se explica en la Figura 5, donde se muestra el procedimiento que se debe llevar a cabo para un buen manejo de la brújula y tomar los datos de orientación de cada una de las discontinuidades de manera adecuada.



La brújula se pone perpendicularmente sobre la superficie a medir Figura 5a, para tomar el dato de rumbo que es la dirección del macizo con respecto a la horizontal y el buzamiento que se define como la inclinación que va a tener el talud con respecto al eje horizontal, como se muestra en la Figura 5b, donde se toma el dato girando la brújula a 90 grados de la posición inicial, intentando también no despegarla de la superficie. A continuación se pondrá un ejemplo práctico para entender el término de rumbo y buzamiento de una manera clara.

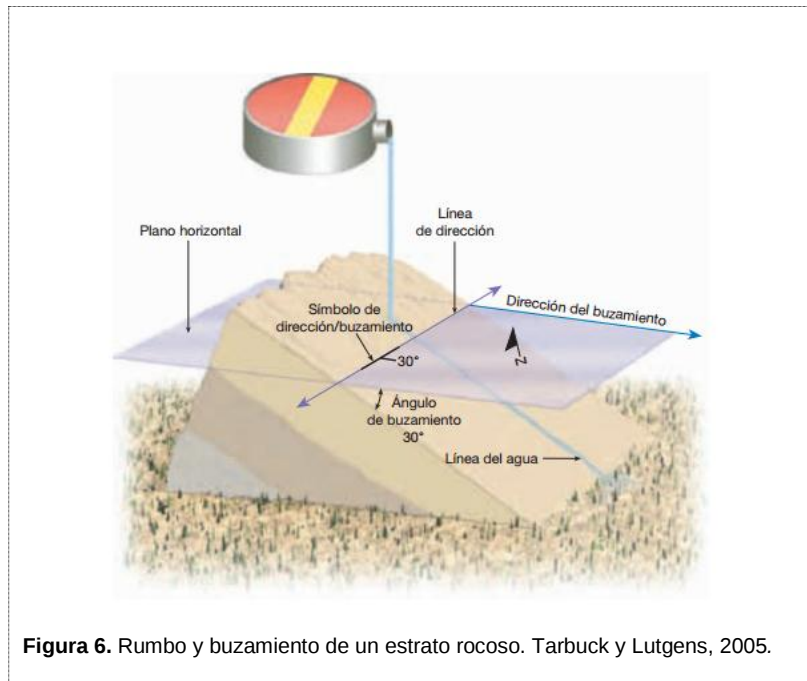


Figura 6. Rumbo y buzamiento de un estrato rocoso. Tarbuck y Lutgens, 2005.

En la Figura 6 el ángulo de buzamiento del estrato es de 30° y para entender y visualizar el buzamiento de manera fácil, es imaginar que el agua descenderá siempre por la superficie rocosa según una línea paralela al buzamiento.

Ya teniendo claro los conceptos anteriormente mencionados se procedió a ponerlos en práctica en la cantera que se muestra en la Figura 7, que está ubicada en la vía que comunica Duitama con Santa Rosa de Viterbo.

Como primer paso se definieron zonas de calidad, identificando tanto los elementos del macizo, (planos de estratificación, pliegues, diaclasas, fallas etc.), como el tipo de roca que lo compone.



Se escogió una parte del macizo y se dividió en tres zonas, la primera zona está compuesta por rocas de un material de grano fino denominadas limolitas, la parte inferior está compuesta por una estructura de areniscas que a simple vista presenta un color rojizo, que pueda ser a causa de varios agentes ya sea químicos, morfológicos, etc. La segunda zona está compuesta por un material mucho más dúctil, de mejores propiedades y grano más grueso. La tercera zona es de una roca más sana donde se evidencia poca presencia de discontinuidades.

Posteriormente se realizaron varias mediciones de rumbo y buzamiento de diferentes planos de diaclasas y estratificación de las capas de roca de cada zona. También se hizo una caracterización de estas discontinuidades, observando su relleno, abertura, espaciamiento, continuidad, forma, etc., para ponerlo en práctica en las canteras objeto de estudio.

En el mes de diciembre de 2013 se realizó una comisión de campo de dos semanas, que constituyó el trabajo de campo más importante del proyecto de grado, ya que se recogió toda la información técnica, desde el punto de vista geológico; se realizaron en

las canteras 1: San Antonio Norte vía Sauna La Frontera y Cantera 2: Tocogua. Se efectuaron las siguientes actividades:

- Reconocimiento visual de estado de los taludes, reconocimiento visual del macizo rocoso en las áreas de estudio.
- Identificación de las discontinuidades en el talud.
- Recolección de la información: se realizó una descripción de las características físicas y mecánicas de estas discontinuidades, observando su relleno, abertura, espaciamiento, continuidad, forma, etc., registrando dichos datos en tablas y formatos específicos, con fotografías respectivamente de cada una de las discontinuidades analizadas con ayudas de equipos e implementos que se muestran en las Figuras 8 , que fueron suministrados por la universidad Santo Tomás tales como, GPS, cinta métrica y cámara fotográfica. La cantidad de datos recolectados entre las 2 canteras estuvieron cerca a los 100 datos, y anexo a este trabajo de grado se presentan las tablas de los datos recolectados.



Figura 8. Equipos e implementos para realización de recolección de datos, Insumos para geología eig

También se realizaron ensayos de carga puntual en los laboratorios de geotecnia de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) de la ciudad de Tunja, para conocer la resistencia de las paredes de las discontinuidades de la roca.

CAPÍTULO 4. MARCO TEÓRICO

Para tratar éste tema, se ha tomado los aspectos generales más importantes del Estudio del Macizo Rocoso, en relación con mecánica de rocas, la estabilización de taludes y factores de remoción de masa.

A continuación se definirán algunos conceptos o términos que se manejan a lo largo de este trabajo.

4.1. CONCEPTOS BÁSICOS DE IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS ROCOSOS DE UN MACIZO

4.1.1. ROCA

La roca se define como un agregado sólido compuesto por distintos minerales que se encuentra en grandes extensiones de la corteza terrestre. (Alejano y Ramírez, 2004) Comúnmente las rocas se encuentran afectadas por distintos caracteres geológicos estructurales y discontinuidades de variado origen geológico, como fallas, diaclasas, estratificación, pliegues etc., y al conjunto de estas discontinuidades se le denomina como estructura del macizo rocoso.

4.1.2. MACIZO ROCOSO

Es la forma en la que se presentan las rocas en el medio natural, ya que un macizo rocoso está definido por la roca y por su estructura, como lo son planos de estratificación, pliegues, fallas etc. Por tanto los macizos rocosos son discontinuos y pueden presentar propiedades heterogéneas y anisótropas. (Alejano y Ramírez, 2004). Es importante dejar en claro respecto a los acrónimos que consideran que el macizo rocoso es un “DIANE” acrónimo de (*Discontinuous, Inhomogeneous, Anisotropic and Non-Elastic* = discontinuo, heterogéneo, anisótropo e inelástico) y no un “CHILE” acrónimo de (*Continuous, homogeneous, isotropic and Linear-Elastic* = continuo, homogéneo, isótropo y linealmente elástico). (Hudson y Harrison, 1995) Así pues la naturaleza y comportamiento los macizos rocosos dependerá por tanto de ambos (Roca + Discontinuidades), influyendo más unas que otras en función de las características del macizo y las propiedades, situación y volumen de las obras que se realicen en ellos.

4.1.3. DIACLASAS

Se define diaclasa a una fractura o fisura en una masa rocosa en la que no se observa un movimiento relativo de sus lados. En general, las diaclasas interceptan superficies primarias, tales como estratificación, exfoliación, esquistosidad, etc. Se desarrollan preferentemente en los miembros competentes de una serie, más que en incompetentes. (Alejano y Ramirez, 2004). Un conjunto de diaclasas paralelas se denomina un sistema de diaclasas mientras que dos o más conjuntos que se cortan producen un sistema de diaclasas. Cuando se encuentran dos disposiciones de diaclasas muy juntas en ángulo recto con una tercera, producidas por el mismo sistema de tensiones, se dice que son conjugadas. Una diaclasa principal (término de hombre de cantera) es una diaclasa persistente o sistema que puede ser horizontal o vertical. Según su modo de formación, las diaclasas se clasifican en:

4.1.3.1. DIACLASAS DE RETRACCION

Éstas son causadas por un sistema de fuerzas tensionales que actúan sobre el cuerpo rocoso, como resultado de un enfriamiento (en una roca ígnea. Estructura columnar) o de una desecación (de una roca sedimentaria). (Tarbuck y Lutgens, 2005)

4.1.3.2. DIACLASAS DE DESCOMPRESIÓN

Un sistema de diaclasas puede desarrollarse más o menos paralelamente a la superficie del terreno, especialmente en intrusiones ígneas plutónicas, tales como el granito. (Tarbuck y Lutgens, 2005).

4.1.4. FALLA

Una falla se define como una discontinuidad que se forma por fractura en las rocas superficiales de la Tierra que puede ser hasta unos 200 km de profundidad cuando las fuerzas tectónicas superan la resistencia de las rocas. La zona de ruptura tiene una superficie generalmente bien definida denominada plano de falla y su formación va

acompañada de un deslizamiento o movimiento del bloque de las rocas tangencial a este plano. (Alejano y Ramírez, 2004).

4.1.5. PLEGAMIENTO O PLIEGUES

Es una deformación que presentan las rocas, generalmente sedimentarias, en la que elementos de carácter horizontal, como los estratos o los planos de esquistosidad (en el caso de rocas metamórficas), quedan curvados formando ondulaciones alargadas y más o menos paralelas entre sí.

Los pliegues se originan por esfuerzos de compresión sobre las rocas que no llegan a romperlas; en cambio, cuando sí lo hacen, se forman las llamadas fallas. (Tarbuck y Lutgens, 2005).

Por lo general se ubican en los bordes de las placas tectónicas y obedecen a dos tipos de fuerzas: laterales, originados por la propia interacción de las placas (convergencia) y verticales, como resultado del levantamiento debido al fenómeno de subducción a lo largo de una zona de subducción más o menos amplia y alargada, en la que se levantan las cordilleras o relieves de plegamiento. Los dos tipos de pliegues más comunes se denominan anticlinales y sinclinales.

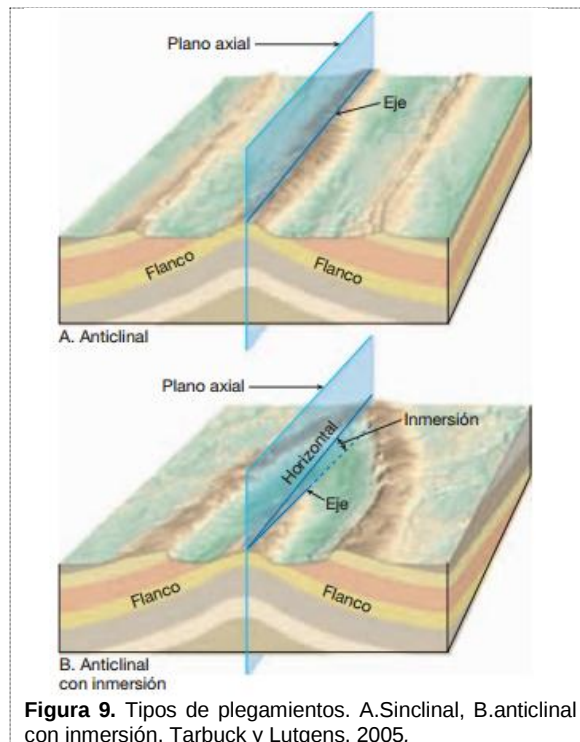


Figura 9. Tipos de plegamientos. A.Sinclinal, B.anticlinal con inmersión. Tarbuck y Lutgens, 2005.

Un **anticlinal** se forma casi siempre por plegamiento convexo, o arqueamiento, de las capas de roca. (Figura 9.A). Los anticlinales afloran, a veces de manera espectacular, en los puntos donde las carreteras atraviesan estratos deformados. Asociados a menudo con los anticlinales, se encuentran los pliegues cóncavos hacia arriba, o surcos, denominados **sinclinales** como se puede observar en la Figura 9.B. correspondiente a un anticlinal con inmersión. (Tarbuck y Lutgens, 2005)

4.2. CARACTERIZACION DE MACIZOS ROCOSOS

La caracterización de macizos rocosos es una labor que requiere una detallada observación de los afloramientos del macizo, que permite describir y caracterizar todos los elementos y propiedades geológicas y geotécnicas que comprenden el macizo en estudio. La descripción y observación del macizo rocoso es una de las etapas preliminares de investigación la cual se realiza en campo. Para efectuar la descripción del macizo rocoso se debe tener en cuenta los siguientes aspectos (González de Vallejo, 2002):

- Todos los factores deben examinarse sistemáticamente y en secuencia lógica.
- No debe omitirse ninguna información básica sobre el afloramiento.
- Las descripciones deben comunicar una imagen mental precisa y permitir la información más relevante.
- El número de datos debe ser estadísticamente representativo.

La caracterización de cada zona del afloramiento se realizó de forma objetiva e individual, considerando el estudio de la matriz rocosa, las discontinuidades y el conjunto del macizo, a los cuales se les hizo una descripción de sus propiedades como los factores externos que condicionan su comportamiento.

La sistemática recomendada se resume en las siguientes etapas:

- Descripción de las características generales del afloramiento.
- División en zonas y descripción general de cada zona.

- Descripción detallada de cada zona
 - ❖ Matriz rocosa
 - ❖ Discontinuidades
- Descripción de los parámetros del macizo rocoso.
- Caracterización global y clasificación geomecánica del macizo rocoso

La Tabla 2 presenta el formato para la descripción del macizo rocoso:

Tabla 2. Formato para descripción del macizo Rcoso. González de Vallejo, (2002).

Trabajo:			
Fase de estudio :		Elemento investigado:	
Localización y acceso:		Autor:	Fecha:
Observaciones:			
FOTO		ESQUEMA	
DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA GENERAL :			
DESCRIPCIÓN BÁSICA DE CADA ZONA:			
Zona I			
Zona II			
Zona III			

4.1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL AFLORAMIENTO

Este tipo de descripción debe incluir la identificación de las condiciones y características generales del afloramiento y la de cada uno de sus componentes como:

- Roca
- Suelo
- Discontinuidades
- Zonas con agua

4.1.2. DIVISIÓN EN ZONAS

Para realizar la división del macizo en zonas se recomienda establecer el número de estas dependiendo de los siguientes aspectos:

- Del grado de heterogeneidad de los materiales y la extensión de las mismas
- Las estructuras que forman el macizo,
- La extensión del afloramiento y el grado detalle
- Finalidad de la investigación
- Se deben describir las características generales de cada zona.

4.1.3. DESCRIPCIÓN DE CADA ZONA

Se efectúa por separado en cada zona de estudio y se analiza de la forma más detallada para así que la descripción sea más entendible realizándola de forma clara empleando la terminología adecuada y estandarizada, de manera que distintos observadores lleguen a la misma descripción, evitando que puedan aparecer diferencias en la interpretación de las observaciones o medidas realizadas en la misma zona. (González de Vallejo, 2002). A lo largo de esta zona se describen estos aspectos:

- Matriz rocosa: Identificación meteorización, resistencia
- Discontinuidades: Orientación, características: espaciado, continuidad, rugosidad, resistencia de las paredes, abertura, relleno.
- Presencia de aguas

Las descripciones se efectúan de forma cualitativa, para cuantificar las propiedades y características del macizo empleando tablas, escalas e índices, etc., y la cuantificación de los parámetros es útil para establecer las clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos.

4.1.4. DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO

Para continuar con la descripción del macizo se recolecta los datos por cada estación estableciendo los parámetros relativos al número de familia de discontinuidades, orientación y las características (González de Vallejo, 2002); esto se hace para determinar la importancia relativa del grado de fractura en el comportamiento y estabilidad del macizo, considerando también el grado de meteorización y las propiedades hidrogeológicas.

4.1.5. CARACTERIZACIÓN GLOBAL DEL MACIZO ROCOSO

Es una de las fases finales del proceso descriptivo y nos permite determinar la clasificación geomecánica del macizo la cual proporciona información sobre la calidad y resistencia del macizo, así como datos cuantitativos para su aplicación a diferentes fines constructivos (túneles, taludes etc.)

(Duque, 2003) considera la caracterización del macizo rocoso es una tarea netamente de observación, mediciones y ensayos para obtener parámetros cuantitativos útiles y necesarios para el diseño.

Este proceso se realiza a lo largo de todas las etapas del desarrollo de un proyecto de ingeniería, desde el diseño hasta su construcción y operación. Según la fase de diseño se requiere establecer un nivel mínimo de caracterización. El primero es con base en observaciones geológicas, el segundo nivel exige prospecciones geofísicas y el nivel final perforaciones exploratorias, medidas y ensayos geotécnicos.

Los parámetros geotécnicos fundamentales son la resistencia al corte, la deformabilidad, la permeabilidad y el estado original de esfuerzos, tanto para macizos

en rocas duras como en rocas blandas. En las segundas la durabilidad de las rocas y su potencial de expansión y fluencia deben ser propiedades de primer orden.

4.3. DESCRIPCIÓN Y ZONIFICACIÓN DEL AFLORAMIENTO

Otros aspectos importantes que debemos de tener en cuenta para realizar la descripción y zonificación del afloramiento de un macizo rocoso, cuando resulta ser una tarea complicada donde el afloramiento presenta poca extensión o en dicho caso el macizo a caracterizar sea muy amplio, Ferrer y Vallejo, 1999 recomiendan seguir los siguientes pasos:

4.3.1. IDENTIFICACIÓN DEL AFLORAMIENTO

Se describe y se estudia la localización, la situación geográfica, accesos, extensión, características geométricas etc. Debe indicarse si es afloramiento natural o corresponde a una excavación y las condiciones en que se encuentra. Durante la actividad de campo que se realizó, se identificó todos los parámetros anteriormente mencionados y se mostraron en la ejecución de este trabajo de grado.

4.3.2. FOTOGRAFÍAS Y ESQUEMAS

Se toman fotos del macizo rocoso y si se quiera tener en cuenta algo importante del mismo se realizan dibujos o esquemas.

4.3.3. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA GENERAL

- ❖ Formación y edad geológica.
- ❖ Litologías.
- ❖ Estructuras observables a gran escala.
- ❖ Rasgos estructurales generales: macizo, estratificado, fallado, fracturado, masivo, etc.
- ❖ Zonas alteradas y meteorizadas y espesor de las mismas.
- ❖ Presencia de agua, sugerencias, etc.

4.4. DIVISIÓN EN ZONAS Y DESCRIPCIÓN GENERAL DE CADA ZONA

La zonificación se realizó en base a criterios litológicos y estructurales considerando los sectores más o menos homogéneos del afloramiento. Se hace una breve descripción general de cada zona sin entrar en detalles, referentes a la matriz rocosa o a las discontinuidades incluyendo datos sobre la litología, estado de meteorización, fracturación y presencia de agua. Estas descripciones cualitativas deben apartar una idea del material a estudiar, pero sin valorar cuantitativamente las propiedades del macizo y de sus componentes.

4.4.1. IDENTIFICACIÓN DE ZONAS SINGULARES

Las zonas singulares son zonas, elementos o estructuras no sistemáticas, es decir que no se repiten en el macizo, y afecta de gran manera al comportamiento geomecánico, y precisan un tratamiento individual, incluyendo: su problemática específica y su influencia en el comportamiento del macizo. (González de Vallejo, 2002). A Continuación se mencionara aspectos que prevalecen en la identificación.

4.4.2. CARACTERIZACIÓN DE LA MATRIZ ROCOSA

Los aspectos que nos permiten realizar una adecuada descripción de campo son:

- Identificación
- Meteorización o alteración
- Resistencia a la compresión simple

4.4.2.1. IDENTIFICACIÓN

Cuando se realiza una identificación visual del macizo se establecen a partir de las características y propiedades mineralógicas de las rocas como textura, color, dureza las cuales permiten determinar su yacimiento y relaciones temporales y espaciales con otras rocas. Otras observaciones primordiales para la identificación son:

- **LA COMPOSICIÓN MINERALÓGICA:** permite clasificar litológicamente la roca. Los minerales que forman las rocas se pueden identificar tomando alguna muestra y observando o analizando con una lupa, si las dimensiones del material lo permiten, pero si se desea una identificación más detallada de los minerales requiere un estudio petrográfico mediante lámina delgada, que se realizara siempre que existan dudas en la identificación de los mismos. (González de Vallejo, 2002).
- **TAMAÑO DE GRANO:** Hace referencia a las dimensiones medias de los minerales o fragmentos de roca que componen la matriz rocosa. La estimación del tamaño de grano se realiza normalmente visual con una regla o con la ayuda comparadores de tamaño. En rocas de grano fino es útil con la ayuda de una lupa de mano. El tamaño de las partículas minerales pueden ser de dos formas o también como se muestra en la Tabla 3.
 - Homogéneo (rocas equigranulares)
 - Rocas heterogranulares con presencia de variaciones importantes

Tabla 3. Clasificación del tamaño de grano de las rocas, González de Vallejo (2002)

DESCRIPCIÓN	TAMAÑO DE GRANO	EQUIVALENCIA CON LOS TIPOS DE SUELO
Grano grueso	< 2 mm	Gravas
Grano medio	0,06-2 mm	Arenas
Grano fino	< 0,06 mm	Limos y arcillas

- **COLOR:** El color de una roca depende de los minerales que la componen. Algunos minerales tienen un color distintivo, pero frecuentemente contienen sustancias o impurezas que lo modifican. El color se puede describir de forma

semejante al de los suelos, dando con un color principal seguido de uno secundario e indicando por último, la intensidad que presenta (por ejemplo granito gris verdoso). Algunos aspectos importantes que debemos tener son:

- ❖ Cuando la roca no ha sufrido procesos de alteración y presenta un color original y característico, se define como roca sana.
- ❖ Las variaciones de coloración de la roca en el afloramiento indican que el material rocoso ha sufrido procesos de meteorización.

4.4.2.2. METEORIZACIÓN

El concepto de meteorización es la desintegración y descomposición de las rocas, como el proceso destructivo mediante los materiales terrosos y rocosos cambian su color, textura, firmeza, composición o forma, este proceso se lleva a cabo cuando está expuesta a la intemperie o al en contacto con agentes atmosféricos. (González de Vallejo, 2002).

La meteorización se produce cuando la roca es fragmentada mecánicamente (desintegrada) o alterada químicamente (descompuesta), o cuando suceden simultáneamente. La meteorización mecánica se lleva a cabo por fuerzas físicas que rompen la roca en trozos cada vez más pequeños sin modificar la composición mineral de la roca. La meteorización química implica una transformación química de la roca en uno o más compuestos nuevos. (Tarbuck y Lutgens, 2005).

En la Tabla 4 se muestra la clasificación del grado de meteorización según su descripción.

Tabla 4. Clasificación del grado de meteorización, González de Vallejo (2002).

TÉRMINO	DESCRIPCIÓN
FRESCA	No se observan signos de meteorización en la matriz rocosa
DESCOLORADA	Se observan cambios en el color original el grado de cambio. Si se observa que el cambio de color se restringe a uno o algunos minerales de la matriz rocosa. Es conveniente indicar se debe mencionar
DESINTEGRADA	La roca se ha alterado al estado del suelo, manteniéndose la fábrica original. La roca es friable, pero los granos minerales no están descompuestos
DESCOMPUESTA	La roca se ha alterado al estado del suelo, alguno o todos los minerales están descompuestos

4.4.2.3. RESISTENCIA

La resistencia se define como capacidad que tienen para resistir esfuerzos de compresión, esfuerzos cortantes y de tensión. La resistencia a tensión de las rocas se desprecia por lo que generalmente se utiliza la roca en construcciones donde se presentan esfuerzos de compresión y cortantes. La resistencia también puede ser muy variable. (González de Vallejo, 2002).

La resistencia de la matriz rocosa se puede apreciar en el afloramiento mediante los índices durante la salida de campo la cual se proporciona por los ensayos de campo dando un ejemplo específico; el ensayo de carga puntual PLT o el martillo de Schmidt.

- **Índices de campo:** Permiten una estimación del rango de estimación de la roca.
- **Ensayo de carga puntual:** Este ensayo de rotura entre puntas, PLT, permite obtener un índice, los correlacionables con la resistencia a compresión simple.

- **Martillo de schmidt o esclerometro:** mide la resistencia al rebote de una superficie rocosa, que se correlaciona con la resistencia a compresión simple.

4.5. DESCRIPCIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES

La discontinuidad se puede definir como cualquier corte (fisura, grieta, fractura en el macizo rocoso con resistencia a la tracción nula o muy baja). Las discontinuidades están presentes en la roca y afectan la resistencia, permeabilidad y durabilidad de la masa. Las diaclasas pueden ser abiertas o cerradas y estar cementadas o no. También pueden ser paralelas a los planos de estratificación (rocas sedimentarias) o de clivaje (rocas metamórficas). Por regla general un macizo tiene tres familias de fracturas o diaclasas asociadas a esfuerzos y cuando hay más de tres es porque existe superposición de esfuerzos. (Duque, 2003).

Las discontinuidades condicionan de forma concluyente las propiedades y el comportamiento resistente, deformacional e hidráulico de los macizos rocosos.

La resistencia al corte de las discontinuidades es el aspecto primordial en la determinación de resistencia de los macizos rocosos, y para su estimación es necesario precisar las características y propiedades de los planos de discontinuidad (González de Vallejo, 2002). En campo se realizó la descripción y medida de los siguientes parámetros para cada familia de discontinuidades en la cantera de San Antonio Norte y Tocogua Figura 10.



Figura 10. Cantera San Antonio Norte- Zona de estudio proyecto de grado

- Orientación
- Espaciado
- Continuidad o persistencia
- Rugosidad
- Resistencia de las paredes
- Abertura
- Relleno
- Filtraciones

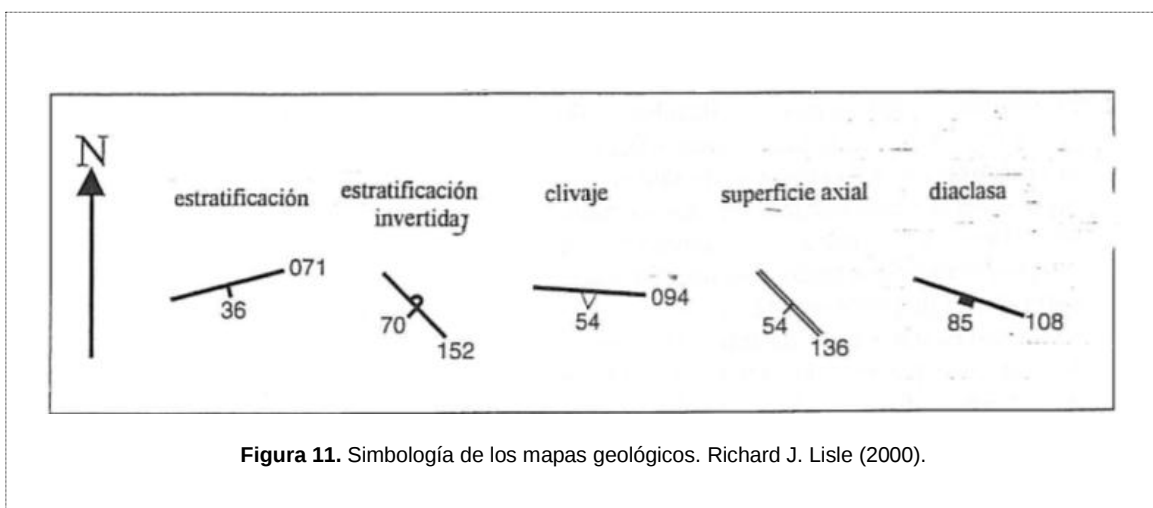
4.5.1. ORIENTACIÓN

La orientación se define como la posición espacial de una discontinuidad y se describe mediante el rumbo que es la dirección del macizo con respecto a la horizontal y por el

buzamiento que se define como la inclinación que va a tener el talud con respecto al eje horizontal de la misma. Esta característica controla la posibilidad de que se presente condiciones favorables o desfavorables de estabilidad, según la manera como influya la redistribución de esfuerzos en los planos de discontinuidad. Por lo general los macizos rocosos presentan familias de discontinuidad o sistemas de discontinuidad. El primer término se refiere a un conjunto o grupo de diaclasas paralelas, el segundo tiene que ver con agrupaciones típicas de diaclasas, cada una de las cuales por lo general presenta la misma historia de esfuerzos. (Montero, 2012).

Las discontinuidades sistemáticas se presentan en familias que su orientación sea de características homogéneas. El macizo rocoso según su orientación relativa y el espaciado se definen a partir de la forma de los bloques que conforman el macizo.

La representación de dichas orientaciones de las discontinuidades se puede hacer mediante la proyección estereográfica, diagramas de rosetas, bloque-diagrama y se plasman con símbolos en mapas geológicos como se muestra en la Figura 11, donde se da algunos ejemplos de diferentes representaciones de datos estructurales de los macizos .



4.5.2. ESPACIADO

Este término se refiere a la separación media entre discontinuidades adyacentes y controla el tamaño de bloques individuales de material rocoso. Cuando el espaciamiento o espaciado es muy denso tiende a presentarse condiciones de baja

cohesión de masa, mientras que si es amplio la condición de entrabamiento de bloques es por lo general favorable. (Montero, 2012).

Entonces este parámetro define el papel que este tendrá en el comportamiento mecánico del macizo rocoso y su importancia con respecto a la influencia de las discontinuidades. Debemos tener en cuenta como datos importantes los siguientes:

- En macizos rocosos con espaciados grandes de varios metros, en los procesos de deformación y rotura prevalecerán las propiedades de la matriz rocosa o de los planos de discontinuidad según la escala de trabajo considerada.
- En ingeniería con respecto a las discontinuidades si los espaciados son menores, de varios decímetros a 1 o 2 metros el comportamiento del macizo lo determinaran los planos de debilidad.
- Si el espaciado es muy pequeño el macizo estará muy fracturado y presentara un comportamiento isótropo, controlado por las propiedades del conjunto de bloques más o menos uniformes.
- El espaciado se define como como la distancia entre dos planos dos planos de discontinuidad de una misma familia, medida en la dirección perpendicular a dichos planos.
- La medida del espaciado se realiza con una cinta métrica en una longitud suficientemente representativa de la frecuencia de discontinuidades al menos de 3 metros. Dicha cinta debe esta perpendicularmente a los planos, registrando la distancia entre discontinuidades adyacentes.
- Cuando se tiene superficies expuestas de los afloramientos rocoso su medición se realiza es en los espaciados aparentes y luego se debe realizar un cálculo para obtener así una medida real.

$$e = d * \text{sena} \alpha$$

Dónde:

e: espacio real, **d**: distancia media medida con la cinta y **α** : ángulo entre la línea de medición y la dirección de la familia.

El espaciamiento se define como la distancia perpendicular entre dos discontinuidades de una misma familia. (Duque, 2003). En la Figura 12 se puede apreciar el espaciamiento muy junto según la Tabla 5, donde se describe los parámetros de espaciado.



Figura 12. Espaciamiento muy junto. González de Vallejo (2002).

Tabla 5. Descripción del espaciado. González de Vallejo (2002), Ingeniera geológica

DESCRIPCIÓN	ESPACIADO
Extremadamente junto	< 20 mm
Muy junto	0- 60 mm
Junto	60- 200 mm
Moderadamente junto	200-600 mm
Separado	600-2.000 mm
Muy separado	2.000-6.000 mm
Extremadamente separado	< 6.000 mm

4.5.3. CONTINUIDAD

Montero, 2012 explica que la continuidad o persistencia es muy difícil medir algunas veces, ya sea por la magnitud del macizo y el alcance que el medidor pueda tener a las discontinuidades. Este concepto hace referencia a la extensión o tamaño de las

discontinuidades, medida por la longitud según la dirección del plano y según su buzamiento.

Para la medida de continuidad se recomienda medir la longitud de la discontinuidad, hasta su interrupción en el caso que sea visible, tanto a lo largo del buzamiento como a lo largo de la dirección de capa.

La persistencia para diferentes familias de discontinuidad puede considerarse como: persistentes, subpersistentes, y no persistente, y se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- La medida de la continuidad se realiza con una cinta métrica. Si el afloramiento lo permite la observación tridimensional de los planos de discontinuidad, deberán medirse las longitudes a lo largo de la dirección y del buzamiento.
- Es importante destacar las familias más continuas, ya que por lo general serán estas las que coinciden los planos de ruptura del macizo Rocos.

En la Tabla 6 se describe el factor de continuidad según su longitud.

Tabla 6. Descripción de la continuidad. González de Vallejo (2002).

CONTINUIDAD	LONGITUD
Muy baja continuidad	< 1m
Baja continuidad	1-3 m
Continuidad media	3-10 m
Alta continuidad	10-20 m
Muy alta continuidad	Mayor a 20m

4.5.4. RUGOSIDAD

La rugosidad se define como la descripción del conjunto de particularidades geométricas naturales o artificiales que caracterizan una superficie a nivel microscópico.

Uno de los conceptos que se usan en topografía para describir la irregularidad de las superficies es el de rugosidad. (González de Vallejo, 2002)

La descripción y medida de la rugosidad en las discontinuidades estructurales de los macizos (Figura 13), tiene gran influencia sobre la resistencia al corte a lo largo de ellas, ya que este factor aumenta la resistencia al corte y decrece con el aumento de la abertura, por lo general, con el espesor del relleno. (Montero, 2012).

El término rugosidad se emplea en sentido amplio para hacer referencia a la ondulación de las superficies de discontinuidad, las irregularidades o rugosidades a pequeña escala de los planos definidas en ocasiones como de 1 y 2 orden respectivamente.

A escala decimétrica para y métrica para ondulación de las superficies: planas, onduladas, o escalonadas, y a escala milimétrica y centimétrica para rugosidad o irregularidad: superficies pulidas lisas o rugosas.

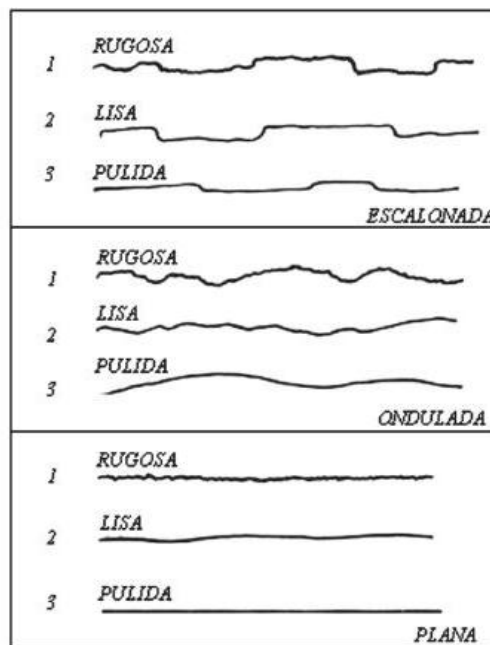


Figura 13. Perfiles de rugosidad. La longitud de los perfiles están en el rango entre 1 y 10 metros (ISRM, 1981). Apuntes Geología Estructural, W. Griem (1999)

4.5.5. RESISTENCIA DE LAS PAREDES DE LA DISCONTINUIDAD

La resistencia de las paredes de la discontinuidad se define como la resistencia a la compresión incofinada, pues es una buena medida de la alteración de las paredes de la discontinuidad. La resistencia de la pared de una discontinuidad influye en su resistencia al corte y en su deformabilidad. Este factor depende del tipo de matriz rocosa, del grado de alteración y la existencia o no de relleno. (Duque, 2003).

Los procesos de alteración afectan en mayor grado a los planos de discontinuidad de la matriz rocosa y este factor de resistencia puede estimarse de manera rápida y fácil en campo con el martillo de Schmidt.

4.5.6. ABERTURA

La abertura es la distancia perpendicular que separa las paredes de la discontinuidad. Las diaclasas pueden estar completamente cerradas o presentar diferentes grados de abertura y en los espacios abiertos generalmente se aloja material extraño que afecta de manera variable la resistencia al corte a lo largo de una discontinuidad.

La abertura influye mucho en la resistencia al corte de la discontinuidad que en discontinuidades muy cerradas es muy importante ya que modifica las tensiones efectivas que actúan sobre las paredes. (Montero, 2012).

Su medida se realiza directamente con una regla graduada en milímetros ya sea para aberturas de pequeñas longitudes (cerrada) Figura 14, o ya sea con una cinta métrica para medir las que son un poco más grandes de longitud (anchas o cavernosas), como se puede observar en la Tabla 7, donde se describe la abertura según su longitud.

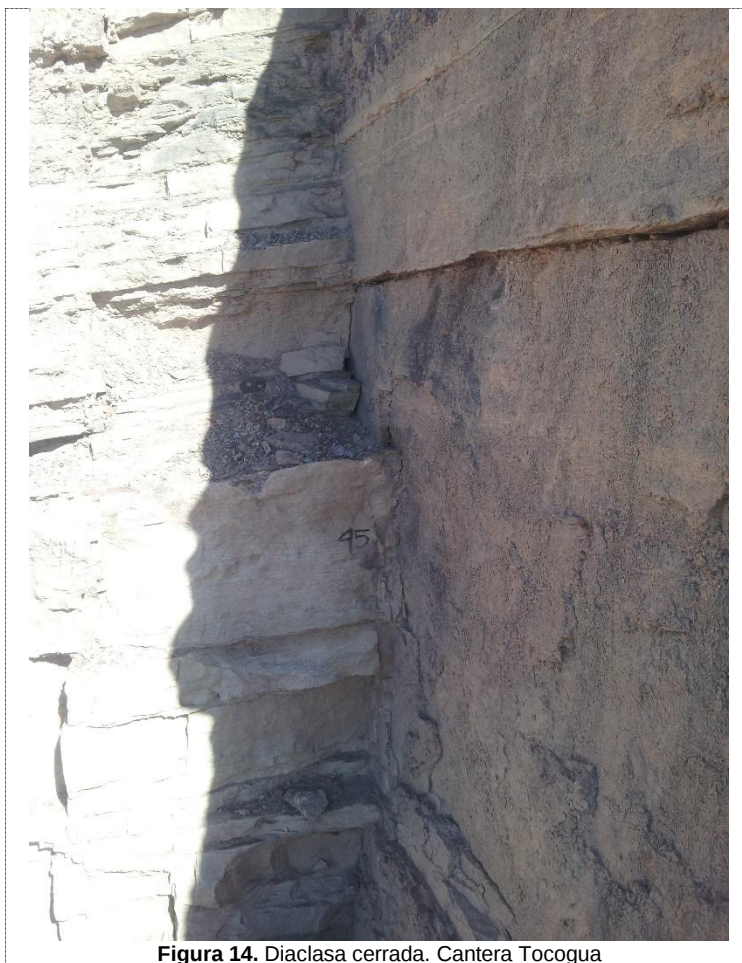


Figura 14. Diaclasa cerrada. Cantera Tocogua

Tabla 7. Descripción de la abertura. González de Vallejo (2002).

ABERTURA	DESCRIPCION
<0,1mm	Muy cerrada
0,1-0,25 mm	Cerrada
0,25-0,5 mm	Parcialmente abierta
0,5-2,25 mm	Abierta
2.5-10 mm	Moderadamente ancha
>10mm	Ancha
1-10 cm	Muy ancha
10-100 cm	Extremadamente ancha
>1m	Cavernosa

4.5.7. RELLENO

Las discontinuidades a veces pueden aparecer rellenas de un material de naturaleza distinta a la roca de las paredes y es de gran influencia sobre la resistencia de corte que depende en parte a la resistencia del relleno mismo y en parte a la naturaleza de la discontinuidad (Montero, 2012).

Existe gran variedad de materiales de relleno con propiedades físicas y mecánicas muy variables. La presencia de relleno gobierna el comportamiento de la discontinuidad, por lo que deben ser identificados todos los aspectos referentes a sus propiedades y estado de la siguiente manera:

- Si se trata de materiales blandos o alterados, estos pueden sufrir variaciones importantes en sus propiedades resistentes a lo largo del tiempo ya que puede cambiar su contenido de humedad, o también si tiene lugar algún movimiento a lo largo de sus juntas.
- Las características principales del relleno que se deben describir en el macizo son su: naturaleza, espesor, resistencia al corte y permeabilidad.
- El espesor se puede medir con una regla graduada en mm
- La descripción del relleno se debe realizar identificando del tipo de material, mineralogía y tamaño de grano.
- Debe indicarse el grado de humedad, y estimarse cualitativamente la permeabilidad del material de relleno.

En la Tabla 8 se explica la descripción del relleno según los pasos mencionados anteriormente.

Tabla 8. Descripción del relleno. González de Vallejo (2002).

CLASE	DISCONTINUIDADES SIN RELLENO	DISCONTINUIDADES CON RELLENO
1	Junta muy plana y cerrada. Aparece seca y no parece posible que circule el agua	Relleno muy consolidado y seco .No es posible el flujo de agua
2	Junta seca sinevidencia de flujo de agua	Relleno húmedo pero sin agua libre
3	Junta seca pero evidencia de haber circulado el agua	Relleno mojado pero con goteo ocasional
4	Junta humedad pero sin agua libre	Relleno que muestra señales de lavado, flujo de agua continuo (estimar caudal en 1/min).
5	Junta con rezume, ocasionalmente goteo pero sin flujo continuo	Relleno localmente lavado, flujo considerable según canales preferentes (estimar caudal y presión)
6	Junta con flujo continuo de agua (estimar caudal en 1 /min y la presión)	Rellenos completamente lavados, presiones de agua elevadas.

4.5.8. FILTRACIONES

El agua en el interior de un macizo rocoso es de gran influencia en el mismo, y procede generalmente del flujo que circula por las discontinuidades (permeabilidad secundaria), aunque ciertas rocas permeables, las filtraciones a través de la matriz rocosa (permeabilidad primaria) pueden ser también importantes. Las observaciones respecto a las discontinuidades, tanto si se presentan rellenas como si aparecen limpias.

Se define flujo, como agua presente en la discontinuidad que se encuentra libre o en movimiento y debe evaluarse si el agua brota o no con presión, y que puede estar interviniendo en la estabilidad del macizo rocoso. (Duque, 2003).

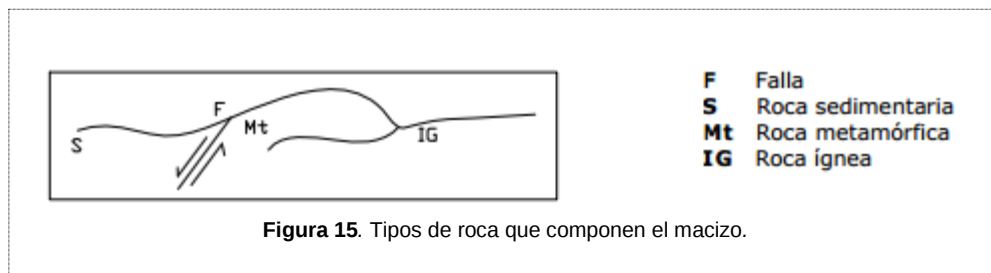
4.6. CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

El estudio de un macizo rocoso es de vital importancia, para cualquier tipo de intervención ingenieril que se desee llevar acabo sobre estos, así mismo la necesidad de los estudios que requieren estas obras terminan dando origen a métodos de clasificación de los macizos rocosos, los cuales se realizan para establecer o estimar su calidad y los parámetros de resistencia.

Hay diferentes aspectos que se deben considerar en la caracterización de un macizo rocoso, como se indica a continuación:

4.6.1. TIPO DE ROCA QUE COMPONE EL MACIZO

Un macizo rocoso puede estar constituido de distintas variedad de rocas, ya sean rocas ígneas, sedimentarias, metamórficas y son macizos rocosos de constitución simple o compleja, de constitución homogénea o compuesto, (Bieniawski, 1976). Como se puede observar en la Figura 16.



Los diferentes tipos de rocas presentan determinadas resistencias. Así, los granitos son rocas resistentes, más aún cuanto más fino y bien proporcionado sea el contenido de sus minerales constituyentes. Por otro lado las rocas metamórficas también son resistentes, aunque presentan caracteres estructurales que a veces las hacen anisótropas (foliación, la esquistosidad, etc.), y finalmente, las rocas sedimentarias son menos resistentes, dada su estructura y la debilidad ocasional de sus cementantes (cuarzo, calizas, etc.). (Alejano y Ramírez, 2004).

4.6.2. ESTRUCTURA DE LA MASA ROCOSA

La resistencia de un macizo rocoso puede depender fuertemente de la estructura primaria del macizo que está referida a la que es propia de la génesis de las rocas. Esta puede conferirle propiedades de isotropía, en el caso de ser una masa homogénea, o de anisotropía, y ambas deben tenerse en cuenta, tanto en la etapa de construcción, diseño y cálculo de las estructuras. (Montero, 2012)

Tabla 9. Tipos de discontinuidades de la masa rocosa. Alejano y Ramírez, 2004.

TIPOS DE DISCONTINUIDADES DE LA MASA ROCOSA		
SEGÚN SU TIPO	ESTRUCTURALES Constituyen diseños de debilidad	Estratificación, foliación, clivaje
	FISICAS Separación efectiva de partes	Diaclasas, fallas, fracturas
SEGÚN SU TAMAÑO	MENORES Frecuentes, son susceptibles de tratamiento estadístico	Diaclasas
	MAYORES Escasas, tratamiento individual	Fallas

La unión y el vínculo molecular entre los cristales que componen las rocas ígneas, por ejemplo, se traducen en estructuras resistentes. Por su parte, la disposición de las partículas en capas (estratos) y la vinculación indirecta entre los granos de las rocas sedimentarias, a través de cementantes de diferente calidad, se traducen en estructuras con planos de debilidad. (Montero, 2012).

La estructura primaria se refiere a que es propia de la génesis de las rocas. Hay estructuras genéticas típicas para las rocas ígneas (masiva), sedimentarias (estratificada) y metamórficas (esquistosa, foliada, bandeada). Las estructuras secundarias son aquellas que son consecuencia de la acción de las tensiones desarrolladas en las rocas a propósito de los esfuerzos tectónicos. Estas estructuras pueden solaparse con las estructuras primarias, coincidiendo o no con ellas. Las estructuras secundarias son la respuesta en distintas escalas de las tensiones en la masa rocosa. Las estructuras secundarias se manifiestan en discontinuidades y, por lo tanto, en rasgos de debilidad de las rocas. Según sus diferentes escalas, puede tratarse de fallas y diaclasas. Este tipo de estructuras incide severamente en las condiciones geomecánicas de los macizos rocosos por conformar planos de debilidad. Como tales, éstos pueden tener menor o mayor significado geotécnico, según sea su posición espacial y su rumbo y buzamiento. (Alejano y Ramírez, 2004).

4.6.3. ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA ROCA

La intemperización, actúa la mayoría de las veces en forma combinada con un debilitamiento estructural previo del macizo, el cual puede haber sido producido por el fallamiento, la fractura o el diaclasamiento. La actuación de los agentes físicos y químicos a través de los cuales se vehiculiza la alteración, puede resultar decisiva en cuanto a la resistencia mecánica o, mejor aún a las propiedades geotécnicas de un macizo rocoso. La alteración físico – química que los factores ambientales puedan producir sobre los macizos rocosos los llevan desde un punto de partida de muy resistentes a simplemente deleznable, y sólo en el término de milenios. Si bien son fenómenos progresivos muy lentos, de muy larga duración, hay evidencias claras de su ocurrencia, aun cuando sean incipientes. No hace falta que la alteración comprenda a todos los componentes del macizo, de hecho incide básicamente sobre los elementos constitutivos más débiles o vulnerables. Con sólo afectar a algunos de esos componentes puede producir el debilitamiento del conjunto, ya que resiente la relación vincular entre las partes, que es sobre la cual se funda finalmente la resistencia del conjunto.

Tabla 10. Estado de conservación de la masa rocosa. Alejano y Ramírez, 2004.

ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA MASA ROCOSA		
FENÓMENO	AFECTACIÓN	ROCA RESULTANTE
METEORIZACIÓN - Física Relajación, expansión/contracción... - Química hidrolisis, oxidación, carbonatación...	GRADO DE METEORIZACION	ROCA FRESCA LIGERAMENTE METEORIZADA MODERADAMENTE METEORIZADA ALTAMENTE METEORIZADA EXTREMADAMENTE METEORIZADA SUELO RESIDUAL

4.7. MÉTODOS DE CLASIFICACIÓN DE LOS MACIZOS ROCOSOS

La necesidad de construir obras civiles como túneles llevó a los ingenieros a buscar una forma práctica de evaluar la calidad de la roca e intervenir desde el punto de vista ingenieril. Diferentes criterios, todos ellos provenientes de expertos de indiscutible

trayectoria, dieron como resultante una serie de métodos Tabla 11 de evaluación y valoración:

Tabla 11. Métodos de clasificación de macizos rocosos. Alejano y Ramírez, 2004

MÉTODOS DE CLASIFICACIÓN DE MACIZOS	
MÉTODOS CUALITATIVOS	TERZAGHI (1946) LAUFFER (1958)
MÉTODOS CUALI/CUANTITATIVOS	DEER "RQD" (1941) BIENIAWSKY (1973) BARTON, LIEM Y LUNDE "Q" (1974) JACOBS ASSOC. "RSR" (1984) BIENIAWSKY "RMR" (1984)

La necesidad de unificar criterios llevó a la comparación de los métodos más conocidos y a establecer entre ellos equivalencias, lo cual permitió en cierta manera uniformizar la concepción de la calidad de los macizos rocosos o al menos poder efectuar calibraciones más adecuadas. Una de las equivalencias planteadas es la efectuada entre el método de índole descriptivo de Terzaghi (1946) y el método cualitativo de Lauffer (1958). Tabla 12.

Tabla 12. Equivalencias entre métodos de clasificación de macizos rocosos. Alejano y Ramírez, 2004.

EQUIVALENCIAS ENTRE MÉTODOS DE CLASIFICACIÓN DE MACIZOS ROCOSOS	
CLASIFICACIÓN DE TERZAGHI (1946) DESCRIPTIVA	CLASIFICACIÓN DE LAUFFER (1958) CUALITATIVA
ROCA INTACTA ROCA ESTRATIFICADA ROCA MODERADAMENTE FRACTURADA ROCA EN BLOQUES IMPERFECTOS VINCULADOS ROCA TRITURADA, QUÍMICAMENTE INTACTA	CLASE A: ROCA ESTABLE CLASE B: ROCA INESTABLE A LARGO PLAZO CLASE C: ROCA INESTABLE A CORTO PLAZO CLASE D: ROCA TRITURADA CLASE E: ROCA MUY TRITURADA CLASE F: ROCA COMPRESIBLE CLASE G: ROCA MUY COMPRESIBLE

Los métodos de clasificación de macizos más utilizados son:

4.7.1. CLASIFICACIÓN DE DEERE O DEL RQD (1967)

La clasificación de Deere o del RQD (RQD = *Rock Quality Designation*) se basa en la cuantificación del grado de fractura de la roca.

Permite la obtención de un **índice**, que es un valor cuantitativo que representa la calidad del macizo rocoso, teniendo en cuenta las características del testigo recuperado en una perforación. Así, realizando una perforación con maquinaria específicamente empleadas en estas operaciones, puede evaluarse la calidad del macizo rocoso subyacente sobre la base del análisis del material que se obtiene de esa perforación. En función de la homogeneidad o heterogeneidad observadas, se realizan perforaciones complementarias para clarificar la situación en zonas que podrían ser consideradas como críticas. Las muestras se van colocando en cajones especiales en cuyos bordes se colocan las progresivas de profundidades. (Alejano y Ramírez, 2004). De una perforación pueden extraerse trozos enteros de roca (donde la roca no está fracturada) hasta que se encuentra una discontinuidad en la masa rocosa (el testigo se interrumpe). Este parámetro se obtiene a partir del porcentaje de trozos de testigo mayores de 10 cm como se muestra en la Figura 16.

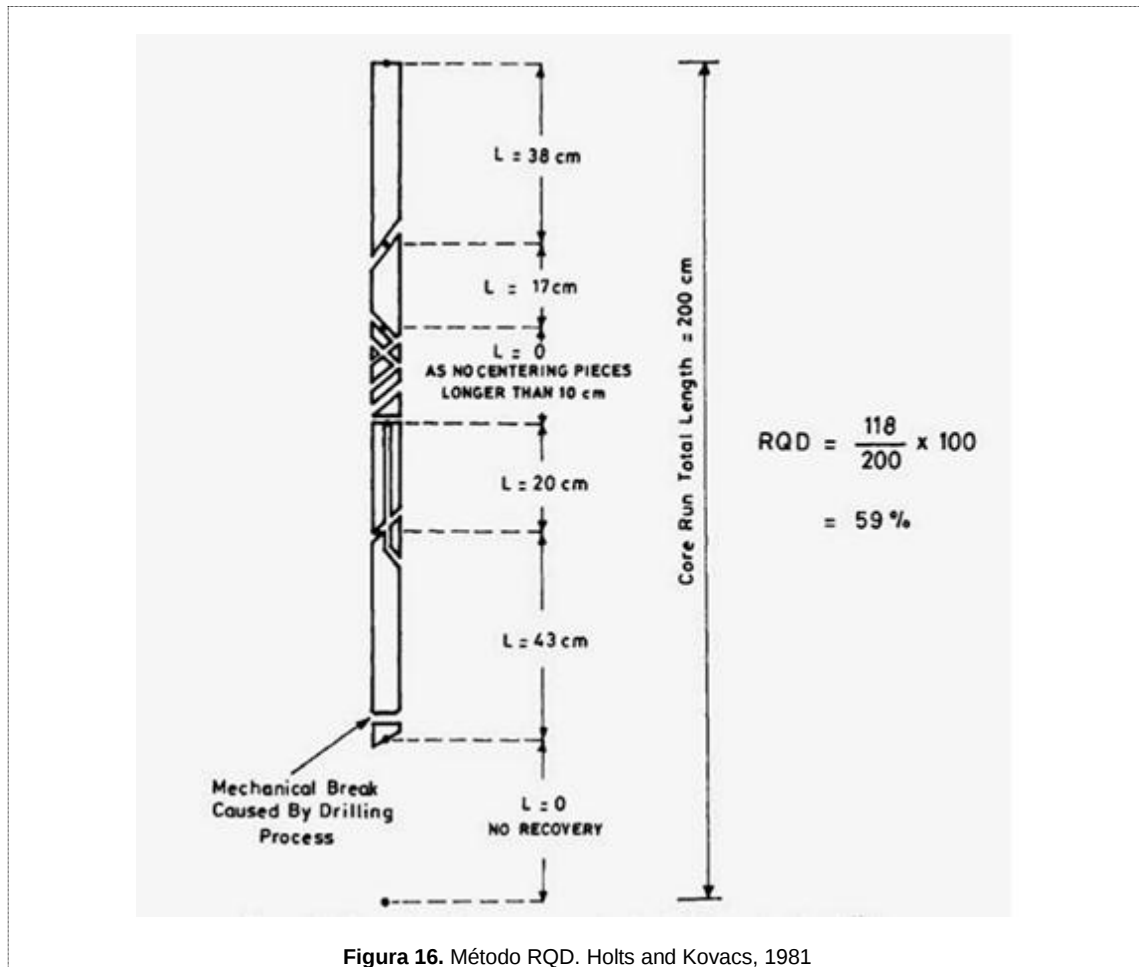


Figura 16. Método RQD. Holts and Kovacs, 1981

La formula a aplicar es :

$$RQD = \frac{\text{longitud recuperda en piezas} \geq 10 \text{ cm} \times 100}{\text{Longitud del sondeo}}$$

Si no puede medirse RQD, puede estimarse de las medidas de discontinuidades en afloramientos: a) A partir del parámetro J_v que es el número de fisuras por metro cúbico (J_v = Joint Volumétric number), $RQD = 115 - 3,3 J_v$ (para $J_v > 4,5$), o bien, $RQD = 100$ (para $J_v \leq 4,5$). Comprende el cálculo del RQD en función del número de fisuras por metro cúbico al realizar el levantamiento litológico estructural de las paredes de la mina, este se usa para voladura. (Tarbuck y Lutgens, 2005).

b) A partir de la frecuencia de discontinuidades λ : $RQD = 100 e^{-0.1 \lambda} (0,1 \lambda + 1)$. Aunque RQD es un índice muy útil, no es suficiente para describir las características de

fracturación de los macizos rocosos, al no considerar la orientación, separación, y relleno. (Tarbuck y Lutgens, 2005).

4.7.2. CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKY (1973)

Este método consiste en darle un peso a cada uno de una serie de parámetros que se han integrado a una fórmula en la cual participan:

1. El RQD.
2. El grado de alteración de la roca.
3. La resistencia de la roca sana (compresión simple, en kg/cm^2).
4. La separación promedio entre diaclasas (espaciamiento en el juego más desfavorable).
5. La apertura de las diaclasas
6. La continuidad o extensión de las diaclasas (persistencia).
7. El flujo del agua que pudiere observarse en las discontinuidades relevadas.
8. La orientación de las diaclasas (rumbo y buzamiento).

El procedimiento el cual intervienen los parámetros anteriormente mencionados, se debe llevar acabo de la siguiente manera como se explica a continuación en la clasificación de Bieniawsky (1989).

4.7.3. CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKY (1989)

“Este método engloba algunos parámetros en términos genéricos: RMR = *ROCK MASS RATING* La clasificación geomecánica RMR fue presentada por Bieniawski en 1973, siendo modificada sucesivamente por el autor en 1976, 1979, 1984 y 1989”. (Alejano y Ramirez, 2004).

La clasificación incluye un RMR básico, independiente de la estructura de la roca, y de un factor de ajuste. El RMR básico se obtiene estimando el rango de valores de varios parámetros:

- El RQD.
- Ensayo de compresión simple.

- Espaciamiento de las diaclasas (juego más desfavorable).
- Condiciones de las diaclasas (4 + 5 de Bieniawsky 1973).
- Condiciones del agua subterránea.
- Orientación de las diaclasas (favorabilidad de rumbo y buzamiento).

El método como se explica en el capítulo de clasificación geomecánica de macizos rocosos (Alejano y Ramírez, 2004), se aplica asignando la valoración correspondiente para cada parámetro. El factor de ajuste, definido cualitativamente, depende de la orientación de las discontinuidades y tiene valores distintos según se aplique a túneles, cimentaciones o taludes. El factor de ajuste es negativo y es el índice final RMR, que puede variar entre 0 y 100, y que clasifica los macizos rocosos en cinco clases según ese puntaje que dio como resultado. A continuación se presenta cada una de las tablas dirigidas a la evaluación de cada parámetro pertinente para clasificación de macizos rocosos según Bieniawski (1989).

En la Tabla 13 se presenta el puntaje que se le asigna según el valor RQD, que seguidamente de realizar el sondeo de extracción del testigo se determinan el valor del RQD en porcentaje (%), con la fórmula anteriormente mencionada, y según el porcentaje obtenido se le da un puntaje, para posteriormente ir sumándolos con los otros puntajes de los diferentes parámetros a evaluar.

Tabla 13. Puntaje según del valor del R.Q.D. (A).Revista geológica de américa central, 26:91-96 (2002).

R.Q.D. (%)	PUNTAJE
90 – 100	20
75 – 90	17
50 – 75	13
25 - 50	8
< 25	3

Después de haber obtenido la resistencia a la compresión simple en Mpa con ayuda del martillo de Schdmit, se le asigna un puntaje según la Tabla 14.

Tabla 14. Puntaje según resistencia a la compresión simple (B).Revista geológica de américa central, 26:91-96 (2002).

INDICE DEL ENSAYO DE CARGA PUNTUAL (MPA)	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE (RCS) MPA	PUNTAJE
> 10	> 250	15
4 - 10	100 - 250	12
2 - 4	50 - 100	7
1 - 2	25 - 50	4
--	10 - 25	2
--	3 - 10	1
--	< 3	0

Después de haber medido el espaciamiento en metros de cada una de las diaclasas analizadas en el trabajo campo, se determina el juego más desfavorable que sería el espaciamiento más junto y se le asigna un valor según la Tabla 15.

Tabla 15. Puntaje según espaciamiento de discontinuidades del grupo más importante (C).Revista geológica de américa central, 26:91-96 (2002).

ESPACIAMIENTO (m)	PUNTAJE
> 2	20
0.6 - 2.0	15
0.2 - 0.6	10
0.06 - 0.2	8
< 0.06	5

En la Tabla 16 se observa el puntaje que se le da al parámetro de rugosidad, según la disposición en que esté la discontinuidad.

Tabla 16. Puntaje según las condiciones de las discontinuidades (D). Revista geológica de américa central, 26:91-96 (2002).

DESCRIPCION	PUNTAJE
SUPERFICIES MUY RUGOSAS, DE POCA EXTENSION, PAREDES DE ROCA RESISTENTE	15
SUPERFICIES POCO RUGOSAS, APERTURA MENOR A 1 mm, PAREDES DE ROCA RESISTENTE	12
IDEM ANTERIOR, PERO CON PAREDES DE ROCA BLANDA	7
SUPERFICIES SUAVES O RELLENO DE FALLA DE 1 A 5 mm DE ESPESOR O APERTURA DE A 1 A 5 mm, LAS DISCONTINUIDADES SE EXTIENDEN POR VARIOS METROS	4
DISCONTINUIDADES ABIERTAS, CON RELLENO DE FALLA DE MAS DE 5 mm DE ESPESOR O APERTURA DE MAS DE 5 mm, LAS DISCONTINUIDADES SE EXTIENDEN POR VARIOS METROS	0

Según lo analizado en campo sobre las filtraciones que se identifican en el macizo rocoso se le da un puntaje de acuerdo a lo está en la Tabla 17.

Tabla 17. Puntaje según las condiciones del agua subterránea (E). Revista geológica de américa central, 26:91-96 (2002).

FILTRACION POR CADA 10 m DE LONGITUD DE TUNEL (L/min)	PRESION DEL AGUA EN LA DISCONTINUIDAD DIVIDIDO LA TENSION PRINCIPAL MAYOR	CONDICIONES GENERALES	PUNTAJE
NADA	0	COMPLEMENTO SECO	15
< 10	0.0 - 0.1	APENAS HUMEDO	12
10 - 25	0.1 - 0.2	HUMEDO	7
25 - 125	0.2 - 0.5	GOTEO	4
> 125	> 0.5	FLUJO CONTINUO	0

Después de haber obtenido la orientación de acuerdo a los datos de rumbo y buzamiento de cada una de las diaclasas evaluadas en campo, se determinan las familias existentes predominantes del macizo y se mira su influencia para lo que se desea construir ya sea para túneles o fundaciones, y según favorabilidad se le asigna un puntaje como se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18. Corrección por la orientación de las discontinuidades (F). Revista geológica de américa central, 26:91-96 (2002).

EVALUACION DE LA INFLUENCIA DE LA ORIENTACION PARA LA OBRA	PUNTAJE PARA TUNELES	PUNTAJES PARA FUNDACIONES
MUY FAVORABLE	0	0
FAVORABLE	-2	-2
MEDIO	-5	-7
DESFAVORABLE	-10	-15
MUY DESFAVORABLE	-12	-25

Por ultimo después de haber obtenido los puntajes de cada parámetro mencionados anteriormente, se realiza la sumatoria de todos los puntajes y con el resultado obtenido se determina la calidad del macizo según la Tabla 19.

Tabla 19. Categoría de la clasificación Geomecanica. Revista geológica de américa central, 26:91-96 (2002).

CLASIFICACION GEOMACANICA FINAL (BIENIASWKY)		
R.M.R. SUMAS DE LOS PUNTAJES DE LAS TABLAS	CALIFICACION DEL MACIZO ROCOSO	CLASE
81 - 100	MUY BUENO	I
61 - 80	BUENO	II
41 - 60	MEDIO	III
21 - 40	MALO	IV
0 - 20	MUY MALO	V

4.8. MÉTODOS DE REPRESENTACIÓN GRAFICA DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

4.8.1. PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA

La proyección estereográfica proporciona una herramienta fundamental en el campo de la geología e ingeniería. Su principal interés reside en el hecho de que con ella podemos representar orientaciones (dirección) e inclinación (buzamiento) preferentes de elementos que en la naturaleza no se presentan con desarrollos geométricos perfectos. Además este tipo de representación permite medir los ángulos de forma directa. (Lisle y Lesión, 2000).

Entre sus aplicaciones más importantes se encuentra el reconocimiento de familias de diaclasas en un macizo rocoso, la determinación de la dirección y el buzamiento de un estrato, etc., ya que la valoración de las orientaciones de diaclasas o fallas presentes en el macizo, podría formar una parte esencial de cualquier análisis de estabilidad que se desee llevar acabo a cierto macizo rocoso. Con este trabajo se pretende mostrar la utilidad de la proyección estereográfica, explicando las modalidades existentes y algunas de sus aplicaciones prácticas en la ingeniería civil.

La proyección estereográfica es un tipo de proyección azimutal muy usado en geología estructural para establecer la relación angular existente entre las estructuras

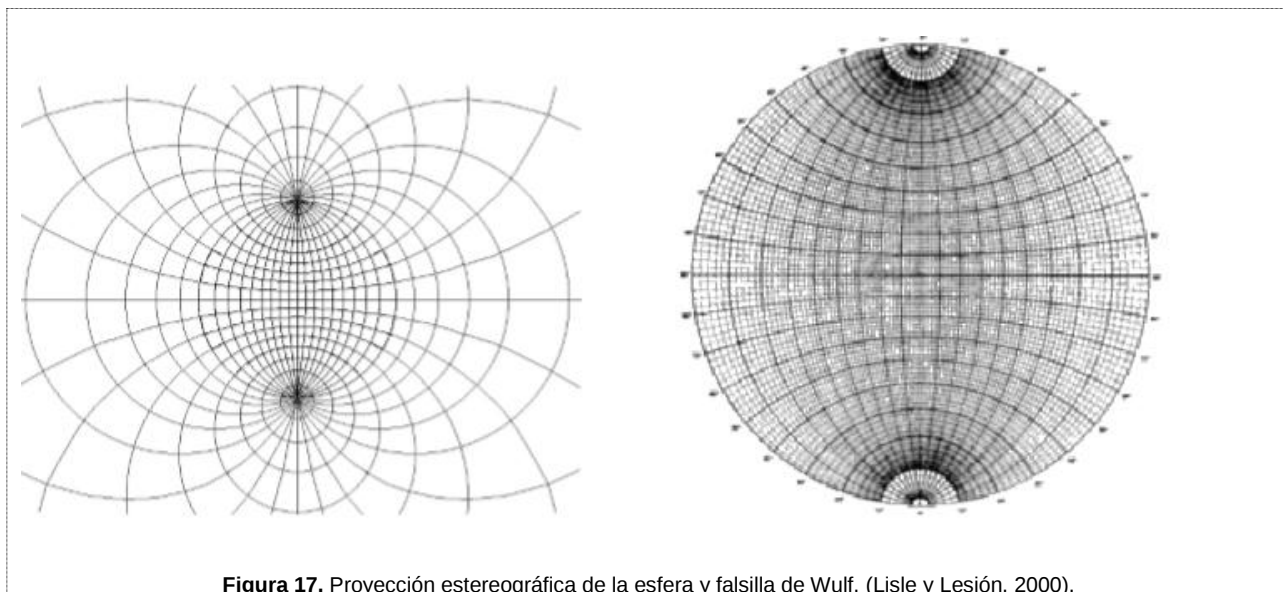
geológicas. Todas las proyecciones permiten la representación de objetos tridimensionales en una superficie de dos dimensiones.

Una proyección se dice acimutal cuando proyectamos la esfera sobre un plano, que puede ser tangente a ella o que pase por el ecuador (proyección ecuatorial). Dependiendo de la posición del centro de proyección las proyecciones acimutales pueden ser: gnomónicas, estereográficas, equiareales y ortográficas. Cada una de estas proyecciones tiene unas propiedades que le hacen más aptas para resolver diferentes problemas, en la Tabla 20 se explica cada una de los distintos tipos de las proyecciones azimutales sus ventajas, desventajas, usos etc.

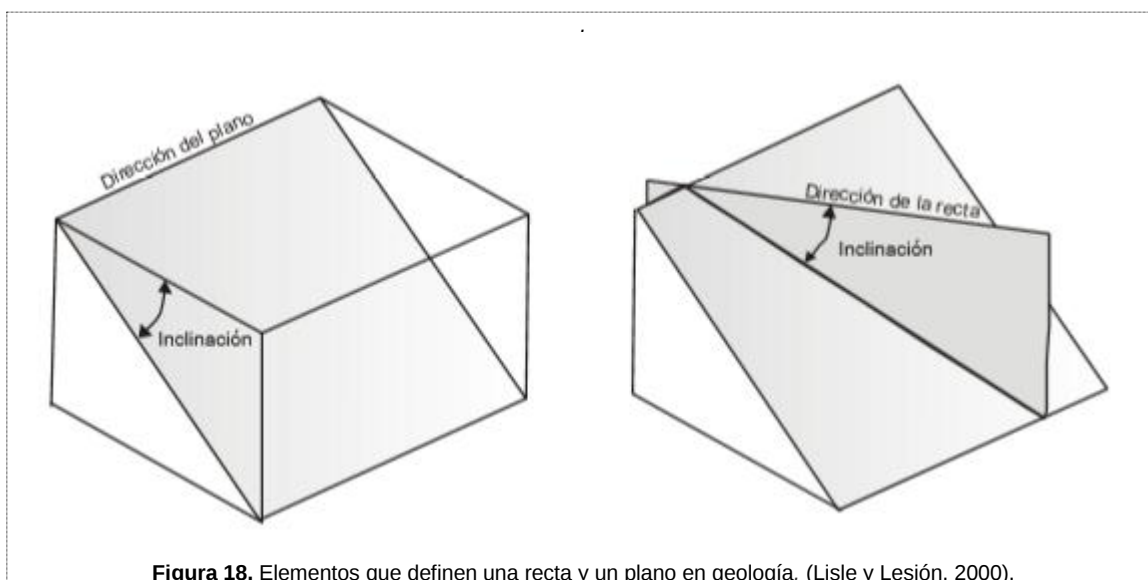
Tabla 20. Propiedades de las proyecciones azimutales más utilizadas en la ingeniería geológica. Técnicas de proyección estereográficas para geólogos e ingenieros civiles, Richard J. Lisle (2000).

PROYECCIÓN	COMO SE PROYECTA	VENTAJAS	DESVENTAJAS	USOS
ORTOGRÁFICA	Desde la esfera perpendicular al plano	Todos los círculos máximos se proyectan como elipses o líneas rectas	Gran distorsión próxima a los bordes	Más comúnmente en geología estructural para dibujar bloques diagrama
GNOMÓNICA	Desde el centro de la esfera	Los círculos máximos se representan siempre como líneas rectas	Distorsión radial muy acentuada	Mineralogía
ESTEREOGRÁFICA	Desde el punto opuesto al punto de tangencia	Todos los círculos de la esfera se proyectan como círculos en el plano	Distorsión radial	Más extensamente empleada en mineralogía y geología estructural
EQUIAREAL	Dibuja un arco desde un punto de la esfera hasta el plano	Se conserva el área, distorsión moderada	Las curvas son complejas	En geología estructural para el análisis estadístico de datos espaciales

En la proyección estereográfica ecuatorial el plano de proyección pasa por el ecuador y el centro de proyección esta sobre la superficie de la esfera en una recta perpendicular a él. Este tipo de proyección define una inversión en el espacio que transforma los puntos de la esfera en puntos del plano. Además presenta la ventaja de que la proyección de los círculos de la esfera se produce como círculos, lo que hace muy sencillo la construcción de la proyección (Figura 17). La proyección estereográfica es conforme, es decir, conserva la verdadera magnitud de los ángulos en la proyección, de ahí que también se denomine proyección equiangular. (Lisle y Lesión, 2000).



La orientación de un elemento que se quiera representar ya sea el de un macizo rocoso queda definida mediante los datos de rumbo y buzamiento Figura 18.



4.8.1. TIPOS DE REPRESENTACIONES ESTEREOGRÁFICAS

Existen diversas formas de representación de los elementos planos y lineales en la proyección estereográfica. Todos ellos se llevan a cabo mediante el empleo de la falsilla

de Wulff que se obtiene a partir de la proyección de los meridianos y paralelos de la esfera (Figura 19).

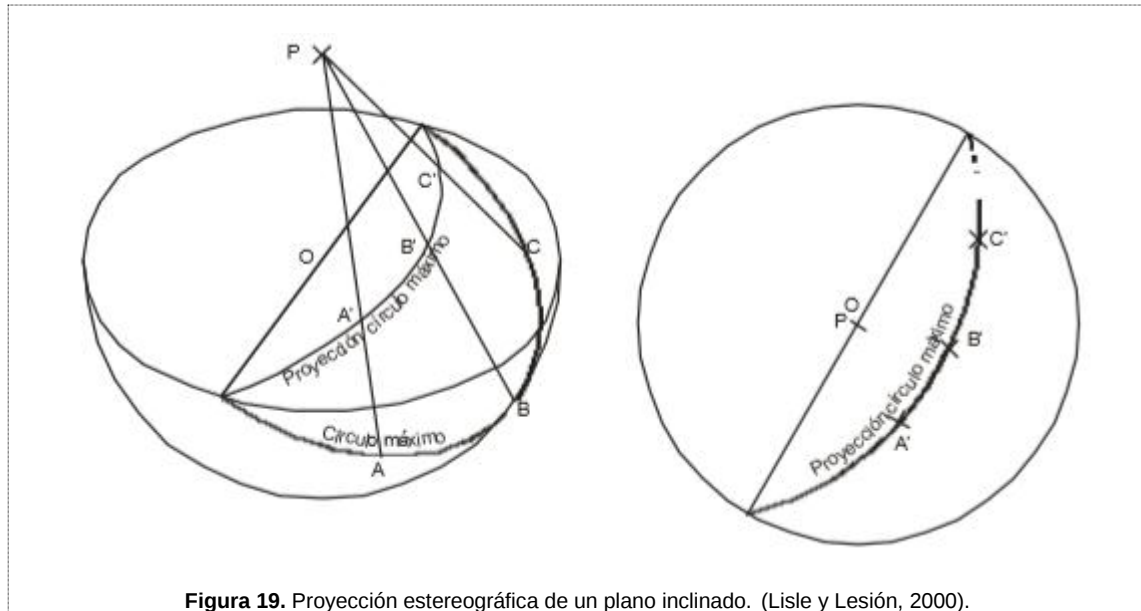
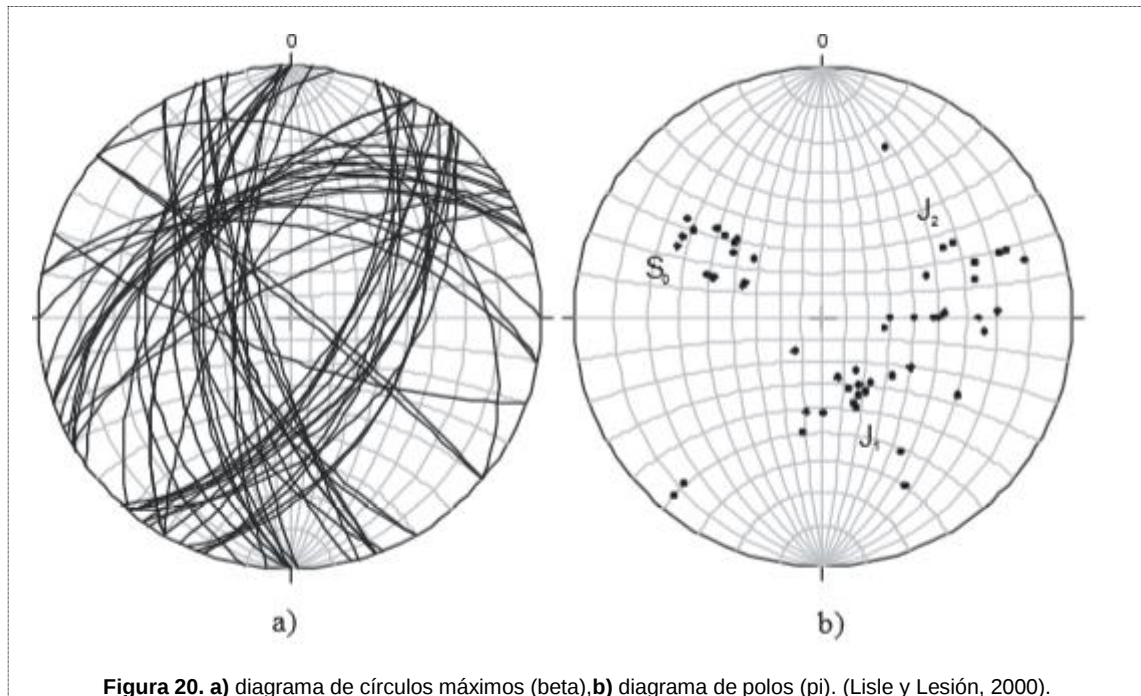


Figura 19. Proyección estereográfica de un plano inclinado. (Lisle y Lesión, 2000).

4.8.1.1. DIAGRAMA DE CÍRCULOS MÁXIMOS O DIAGRAMA BETA

Diagrama de círculos máximos o diagrama beta únicamente se utiliza para la representación de elementos planos. Se obtiene por proyección sobre el plano ecuatorial, del círculo máximo de la superficie plana considerada. Este círculo máximo representa la intersección del plano con la esfera (Figura 20). En la figura se muestra el diagrama de círculos máximos correspondiente al estudio de un macizo rocoso cualquiera



Cuando las medidas a representar en el diagrama son muy numerosas, la representación mediante círculos máximos puede dificultar la lectura de los resultados en la falsilla, por lo que se suele recurrir a los diagramas de polos o diagramas pi.

4.8.1.2. DIAGRAMA DE POLOS O DIAGRAMA PI

En este tipo de diagramas se representan únicamente los polos de los planos o rectas, es decir la intersección de la recta con la esfera en el caso de elementos lineales o la intersección de la normal al plano con la esfera si se trata de elementos planos. En la Figura 20.b se muestra la representación pi de los datos correspondientes al mismo macizo rocoso de la Figura 20.a.

4.8.1.3. DIAGRAMA DE DENSIDAD DE POLOS

La proyección estereográfica de un determinado elemento de la naturaleza, nunca es tan exacta como la de líneas y planos teóricos, ya que presentan irregularidades puntuales, falta de ajuste con la geometría ideal, en muchos casos, y posibles errores de precisión. Esto hace que se produzcan dispersiones que, dependiendo de su

magnitud, pueden o no facilitar la interpretación de un polo o un círculo máximo. De ser así y producirse una gran dispersión de datos, será preciso recurrir a un análisis estadístico de una muestra grande de datos con el fin de determinar la dirección y buzamiento predominantes (Figura 21). Este análisis estadístico no se puede realizar mediante la proyección estereográfica ya que se producirá una gran concentración de puntos en la parte central del diagrama (Figura 21.b). Para realizar este análisis se recurre a la proyección equiareal, empleando la falsilla de Schmidt, que nos permite el recuento directo de los polos, calcular su valor estadístico por unidad de superficie y determinar las direcciones y buzamiento predominantes (Figura 21.a). (Lisle y Lesión, 2000).

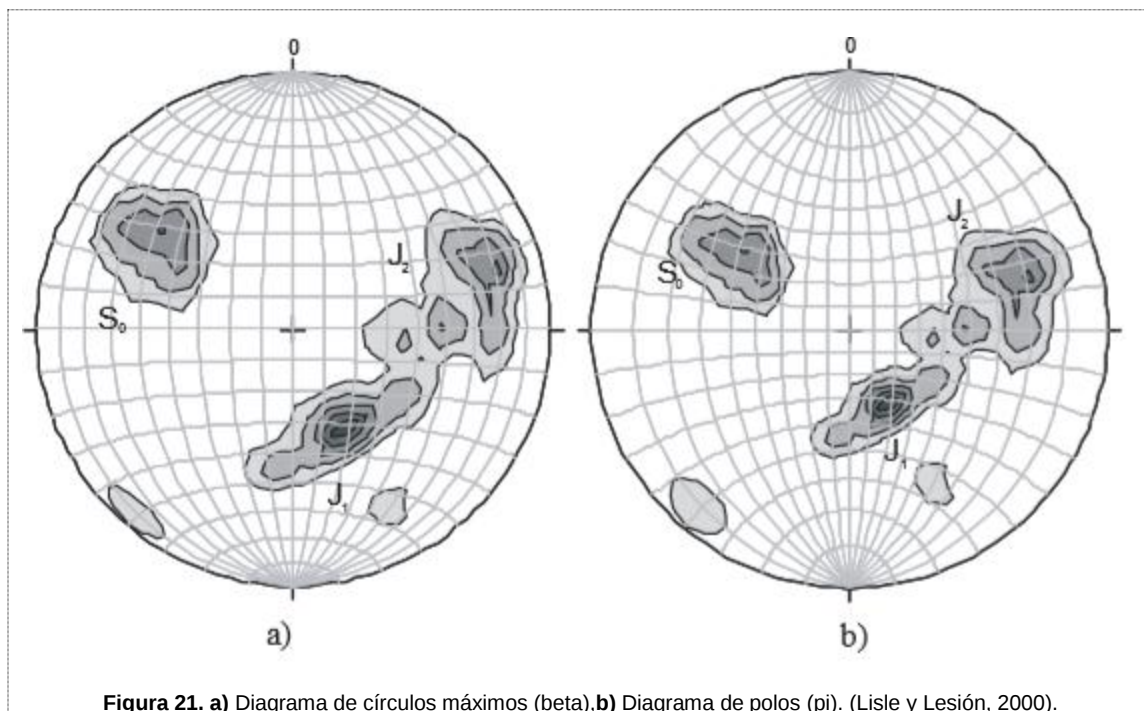
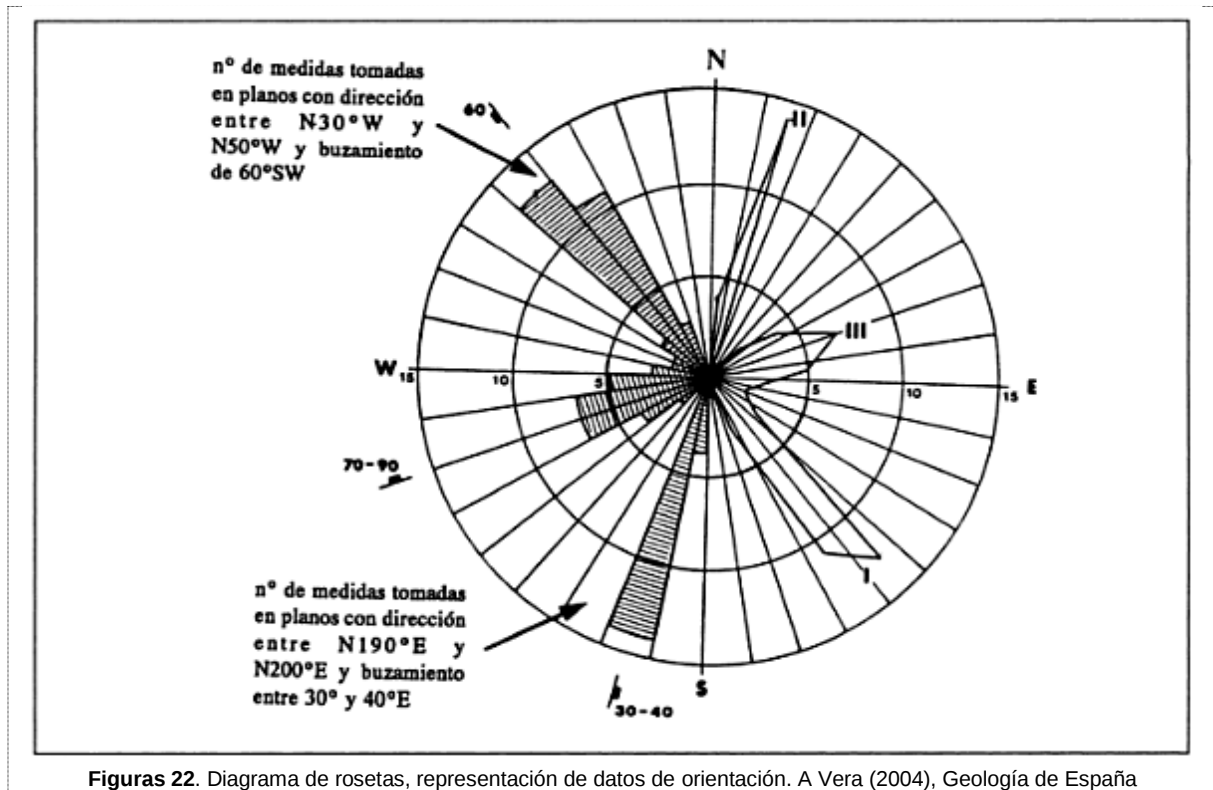


Figura 21. a) Diagrama de círculos máximos (beta), **b)** Diagrama de polos (pi). (Lisle y Lesión, 2000).

4.8.2. DIAGRAMA DE ROSETAS

Es un diagrama sencillo para representar las direcciones de los rumbos generales de las discontinuidades y de los planos tectónicos. Este diagrama se describe principalmente porque es de forma redonda, es decir que los rangos de rumbo se ubican al margen del círculo desde arriba hacia abajo. (Figura 22). En este tipo de diagrama no hay información sobre el manto o la dirección de inclinación. En conclusión se puede describir este diagrama como un histograma de forma redonda.

Significa los rangos de rumbo se ubican al margen del círculo desde arriba (Norte o 0°) hacia abajo (Sur o 180°) en sentido de reloj. La cantidad de los datos respecto de un rango se encuentra en el eje desde el centro (como 0%) hacia al margen (como 100%). (Griem, 1999).



CAPÍTULO 5. CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

5.1. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS EN CAMPO E IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN LAS CANTERAS “SAN ANTONIO NORTE Y TOCOGUA”

5.1.1. CANTERA SAN ANTONIO NORTE

La primera zona analizada en este trabajo fue la cantera de San Antonio Norte. Está ubicada en la vía que comunica la ciudad de Duitama con el municipio de Santa Rosa de Viterbo y hace parte de la formación sedimentaria Une. La actividad minera desarrollada por esta cantera ha afectado la estabilidad del macizo rocoso.



Figura 23. Cantera San Antonio Norte

Para caracterizar el macizo rocoso se hizo una descripción de los siguientes parámetros: tipo de roca o suelos, presencia de agua, singularidades etc. Para realizar este trabajo se dividió el terreno en 2 zonas, la zona 1 en la parte inferior y la zona 2 en la parte superior (Figura 24)

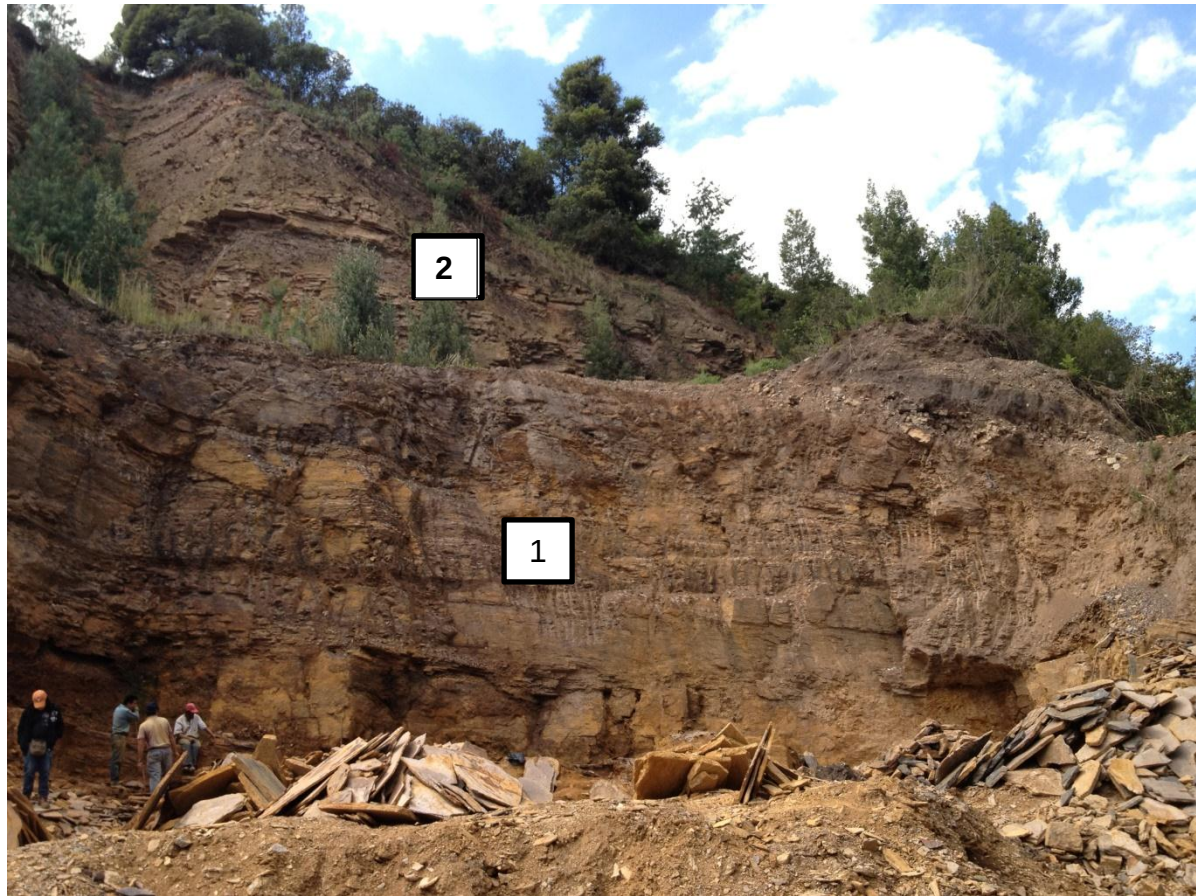


Figura 24. Cantera San Antonio Norte-División del macizo en zonas

La zona 1 está formado por rocas sedimentarias dispuestas en capas delgadas, de 10cm a 12cm de espesor (Figura 25) de forma subhorizontal, estas capas delgadas son aprovechadas como lajas rusticas y la extracción de este material se realiza en el pie del talud.



Figura 25. Medición de las capas estratigráficas. (Suarez y Patiño, 2015).

La zona 2 está conformada por el mismo tipo de material presente en la zona 1. El material de esta zona no es aprovechado, debido a que se presenta gran cantidad de diaclasas esto dificulta la obtención de lajas rusticas. Esta cantera no muestra zonas de falla.

El pliegue que se observa en la parte izquierda de la Figura 26, es un efecto visual de una saliente de la cara del talud y los ángulos en que se tomó la foto que da la impresión de que se identifica una deformación en la estructura del macizo ya que solo las capas de estratificación se encuentran inclinadas como se muestra en la Figura (26).



Figura 26. Inclinación de las capas estratigráficas

Para hacer un estudio más detallado y siguiendo los parámetros para caracterización de macizos rocosos de la zona 1 se procedió a dividirla en tres segmentos Figura 27. La caracterización litológica de la zona 1 están basadas en el estudio presentado por Suarez y Patiño (2015), y a continuación se hace una breve explicación de cada uno de estos segmentos.

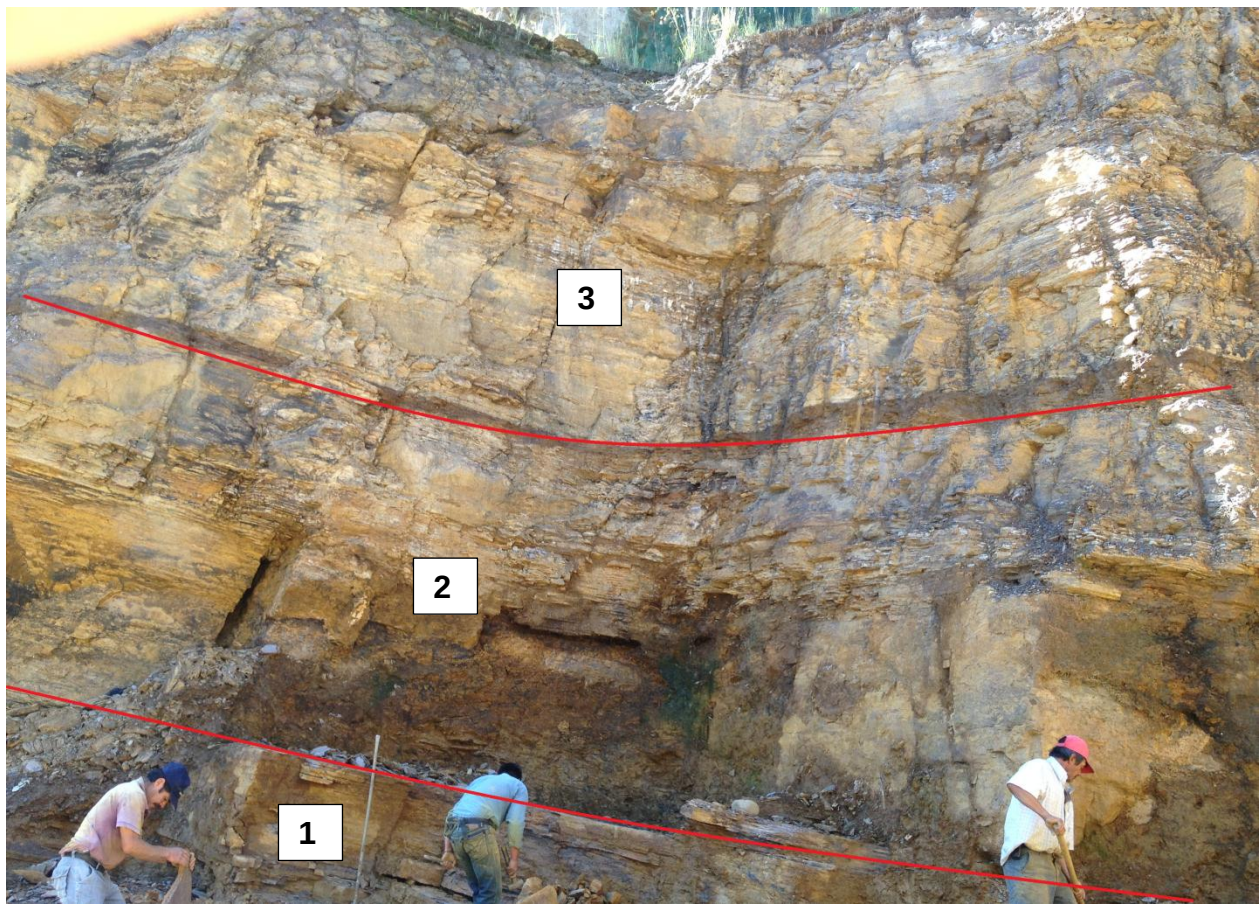


Figura 27. Cantera San Antonio Norte- Zona de estudio proyecto de grado

El segmento 1 es la parte baja de la cara del talud y por el momento es la parte de la zona 1 que es explotada por los trabajadores de la cantera, ya que presenta la roca de mejores características para ser usada como lajas rusticas y tiene una longitud de 2.16 m, donde se encuentra un paquete de areniscas de grano fino a medio con morfología subangular a subredondeada, estratificada en capas de 4 a 12 cm de espesor con geometría tabular, ondulada, paralela, continua, y una orientación de N10E/10NW. Está compuesta de cuarzo como mineral predominante y presencia de fragmentos líticos y mica como minerales subordinados.

El segmento 2 en la actualidad no ha sido explotado y está conformado por capas medias a gruesas de arenitas de cuarzo con granos subredondeados a subangulares con bajo contenido de matriz arcillosa y esporádicos fragmentos de mica. Su geometría

está dispuesta en capas tabulares con espesores variables entre 16 y 59 cm, cortado por diaclasas subverticales.

Por último el segmento 3, la roca que se encuentra es una arenisca de grano fino, con morfología angular y moderadamente seleccionada. Está compuesta de cuarzo como mineral predominante y presencia de fragmentos líticos como mineral subordinado, no posee matriz. Se puede observar laminación incipiente ondulada, no paralela y discontinua. La roca está dispuesta en capas tabulares y onduladas, con espesores entre 4 y 10 cm, y presenta planos de separación.

Para la identificación de las características de cada tipo o familia de discontinuidades se tomaron los datos de orientación, espaciado, abertura, continuidad, relleno, forma, resistencia a la compresión de las paredes, con los diferentes equipos suministrados por la universidad (brújula geológica, GPS, Decámetro, etc.). Figura (28).



También se identificaron los fenómenos de remoción en masa y otras singularidades que pueden estar interviniendo en la estabilidad del macizo.



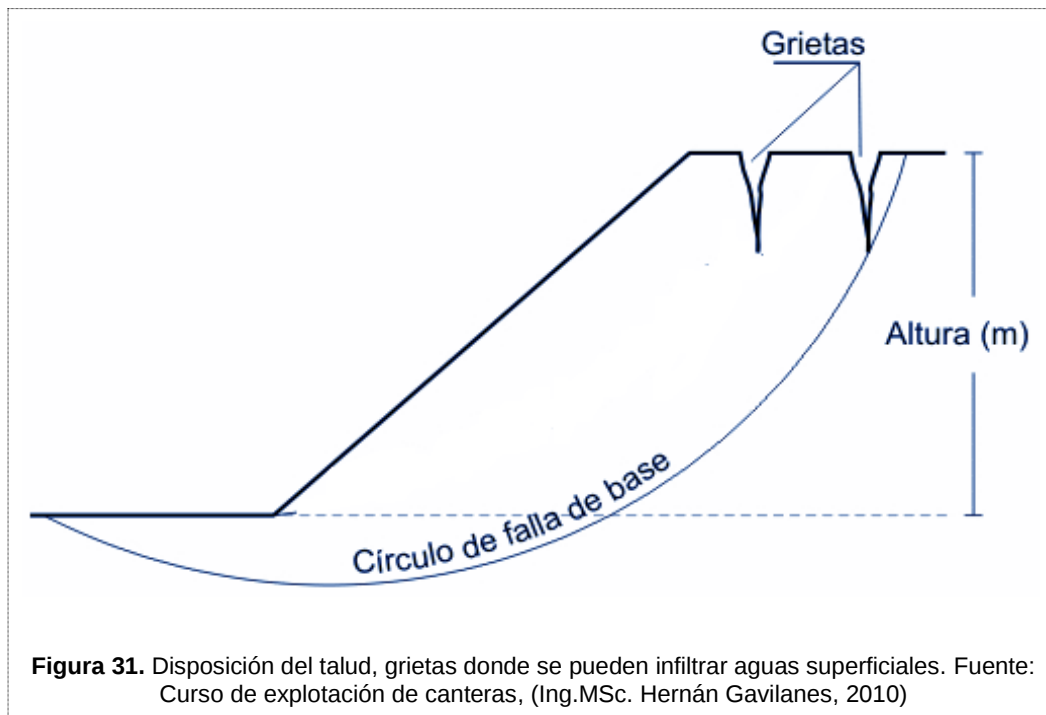
Figura 29. Aguas superficiales, perímetro de explotación

El agua es un factor que influye en la estabilidad de taludes que pueden provenir de aguas pluviales que precipitan directamente en la explotación de la cantera, aguas de escorrentías superficial como se muestra en la Figura (29), que específicamente están al frente de la cara del talud de la zona 1 y se encuentran en gran parte del perímetro de la explotación.



Figura 30. Aguas superficiales corona del talud zona 1

Como también pueden encontrarse aguas subterráneas que se filtran. Como se muestra en la Figura (30) se evidencia la presencia de empozamiento de aguas superficiales en la corona del Talud de la zona 1, que se puede filtrar y estar afectando a este mismo, ya que estas infiltraciones pueden estar adentrándose en las discontinuidades del talud Figura (31), estas se acumulan al punto de que si esa agua no es drenada puede ejercer una fuerza hidrostática de empuje, generando el volcamiento del talud y puede poner en peligro las personas que trabajan a diario en esta cantera.



Otro factor importante que se debe tener en cuenta son los fenómenos de remoción en masa que estos representan una de las amenazas que producen un mayor riesgo para la integridad de las personas. En la industria minera los riesgos inherentes a los deslizamientos masivos de los macizos rocosos y las caídas de bloques de roca son muy altos. En la cantera se realizó un recorrido identificando si había rasgos de algún tipo de deslizamiento, y para este trabajo fue necesario citar a (Cruden y Carnes, 1996), para entender los tipos de movimiento que se pueden presentar en cualquier fenómeno de remoción en masa.

La clasificación de los deslizamientos depende tanto del tipo de movimiento como la naturaleza del material. Como se explica en la Tabla (), que es la clasificación más comúnmente utilizada, ya que otras clasificaciones tienen en cuenta la geometría, el movimiento y otras características para definir subcategorías discretas.

Tabla 21. Clasificación de los deslizamientos.

Tipo de movimiento		Tipo de material	
		Roca	Suelo
			De grano grueso De grano fino
Caídas		Caídas de rocas	Caídas de detritos Caídas de suelos
Basculamientos		Basculamiento de rocas	Basculamiento de detritos Basculamiento de suelos
Deslizamientos	Rotacionales	Deslizamiento rotacional de rocas	Deslizamiento rotacional de detritos Deslizamiento rotacional de suelos
	Translacionales	Deslizamiento translacional de rocas	Deslizamiento translacional de detritos Deslizamiento translacional de suelos
Separaciones laterales		Separación lateral en roca	Separación lateral en detritos Separación lateral en suelos
Flujos		Flujo de rocas	Flujo de detritos Flujo de suelos
Complejos		Combinación de dos o más tipos	

Para entender mejor lo anteriormente mencionado, se explicara cada uno de los tipos de movimientos que se pueden presentar, sus características y de que dependen.

Caídas: Todas las caídas se inician con un desprendimiento de suelo o roca de una ladera muy empinada, a lo largo de una superficie. El material desciende en caída libre, saltando o rodando, el movimiento es de muy rápido a extremadamente rápido. (Cruden y Varnes, 1996). Y se muestra en la Figura (32).

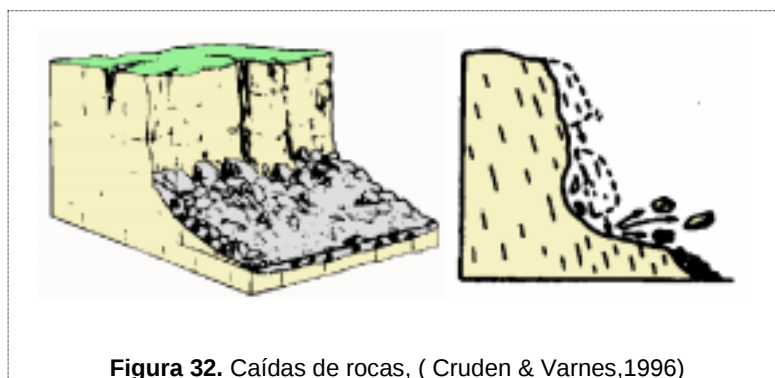


Figura 32. Caídas de rocas, (Cruden & Varnes,1996)

Solo cuando la masa desplazada es socavada, las caídas son precedidas por pequeños deslizamientos o movimientos de basculamiento que separan el material de la masa no perturbada. El Socavamiento ocurre típicamente en suelos cohesivos o rocas al pie de

escarpes que sufren el ataque de las olas o debido a la erosión de márgenes de ríos. (Cruden & Varnes, 1996).

Basculamientos: Un basculamiento es la rotación hacia adelante (afuera) de una masa de suelo o roca, alrededor de un punto o eje bajo el centro de gravedad de la masa desplazada (Cruden & Varnes, 1996).



Figura 33. Basculamiento de columnas de rocas, (Cruden & Varnes,1996)

El basculamiento algunas veces es causado por el empuje del material localizado ladera arriba y otras veces por el agua presente en las grietas del macizo (Cruden & Varnes, 1996). Los basculamientos producen caídas o deslizamientos del material desplazado, dependiendo de la geometría del material en movimiento, la geometría de la superficie de separación y la orientación y extensión de las discontinuidades cinemáticamente activas (Cruden & Varnes, 1996). Los basculamientos varían de extremadamente lentos a extremadamente rápidos, algunas veces acelerando con el avance del movimiento.

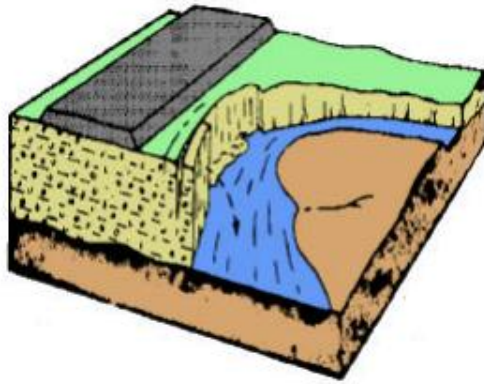


Figura 34. Basculamiento de detritos, (Cruden & Varnes,1996)

Deslizamientos: Un deslizamiento es un movimiento ladera abajo de una masa de suelos o rocas, que ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de ruptura o zonas relativamente delgadas de intensa deformación cortante (Cruden & Varnes, 1996). Inicialmente, el movimiento no ocurre simultáneamente a lo largo de lo que, eventualmente, será la superficie de ruptura; el volumen de material desplazado se incrementa a partir de un área de falla local. Muchas veces, los primeros signos de movimiento son grietas en la superficie original del terreno, a lo largo de lo que más tarde será el escarpe principal del deslizamiento.

El material desplazado puede deslizarse más allá de la punta de la superficie de ruptura, cubriendo la superficie original del terreno, la cual, a su vez, se convierte en superficie de separación (Cruden & Varnes, 1996).

Deslizamientos rotacionales: Estos deslizamientos se mueven a lo largo de superficies de ruptura curvas y cóncavas Figura (35), con poca deformación interna del material. La cabeza del material desplazado se mueve verticalmente hacia abajo, mientras que la parte superior del material desplazado se bascula hacia el escarpe (Cruden & Varnes, 1996).

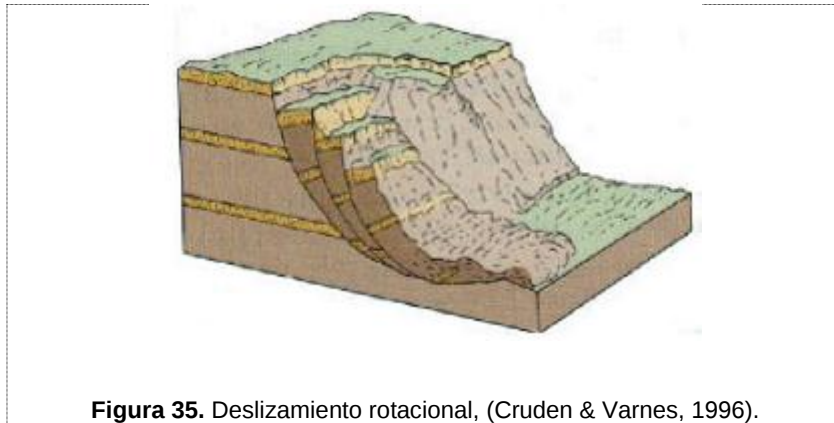


Figura 35. Deslizamiento rotacional, (Cruden & Varnes, 1996).

El escarpe principal es prácticamente vertical y carente de soporte, por lo que se pueden esperar movimientos posteriores que causen retrogresión del deslizamiento a la altura de la corona (Cruden & Varnes, 1996).

Deslizamientos traslacionales. La masa se desplaza a lo largo de una superficie de ruptura plana o suavemente ondulada y superponiéndose a la superficie original del terreno (Cruden & Varnes, 1996). Figura 36.



Figura 36. Deslizamiento Traslacional de detritos, (Cruden & Varnes, 1996).

La superficie de ruptura usualmente se orienta a lo largo de discontinuidades como fallas, juntas, planos de estratificación o el contacto entre roca y suelos residuales o transportados (Cruden & Varnes, 1996). Figura 37.

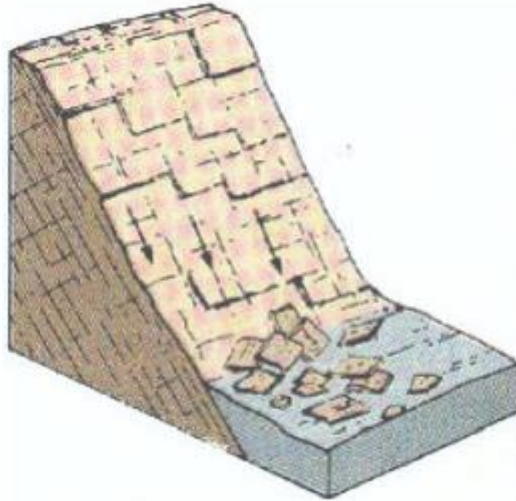


Figura 37. Deslizamiento Traslacional a los largo de planos de estratificación, (Cruden & Varnes, 1996).

En los deslizamientos traslacionales la masa desplazada puede también fluir, convirtiéndose en un flujo de detritos ladera abajo (Cruden & Varnes, 1996).

Separaciones laterales. La separación lateral se define como una extensión de una masa cohesiva de suelo o roca, combinada con la subsidencia del material fracturado en un material subyacente más blando (Cruden & Varnes, 1996).Figura 38.

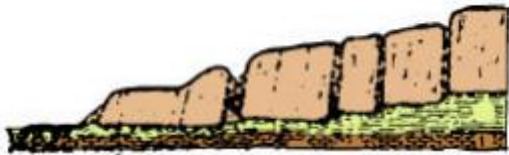
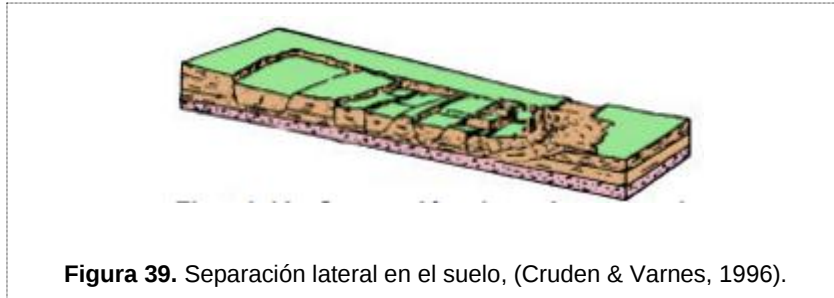


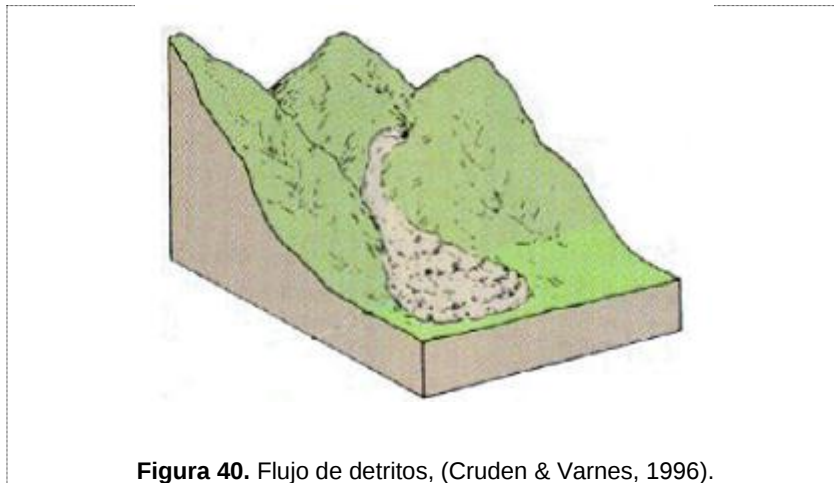
Figura 38. Separación lateral de roca, (Cruden & Varnes, 1996).

La superficie de ruptura no es una superficie de corte intenso y el proceso es el producto de la licuefacción o flujo (extrusión) del material más blando (Cruden & Varnes, 1996). Se muestra en la Figura 39. Claramente estos movimientos son complejos, pero debido a que son muy comunes en ciertos materiales y situaciones

geológicas, es mejor reconocerlos como un tipo separado de movimiento (Cruden & Varnes, 1996).



Flujos: Un flujo se define como un movimiento espacialmente continuo, en el que las superficies de corte son de corta duración, de espaciamiento corto y usualmente no se preservan; la distribución de velocidades en la masa que se desplaza se compara con la de un fluido viscoso (Cruden & Varnes, 1996).



El límite inferior de la masa desplazada puede ser una superficie, a lo largo de la cual se desarrolla un movimiento diferencial apreciable o una zona gruesa de corte distribuido. Es decir, existe una gradación desde deslizamientos a flujos, dependiendo del contenido de humedad, la movilidad y la evolución del movimiento, (Figura 40). Los deslizamientos de detritos pueden convertirse en flujos de detritos extremadamente rápidos o avalanchas de detritos, en la medida en que el material desplazado pierde

cohesión, aumenta de contenido de humedad o encuentra pendientes más fuertes (Cruden & Varnes, 1996). Figura 41.

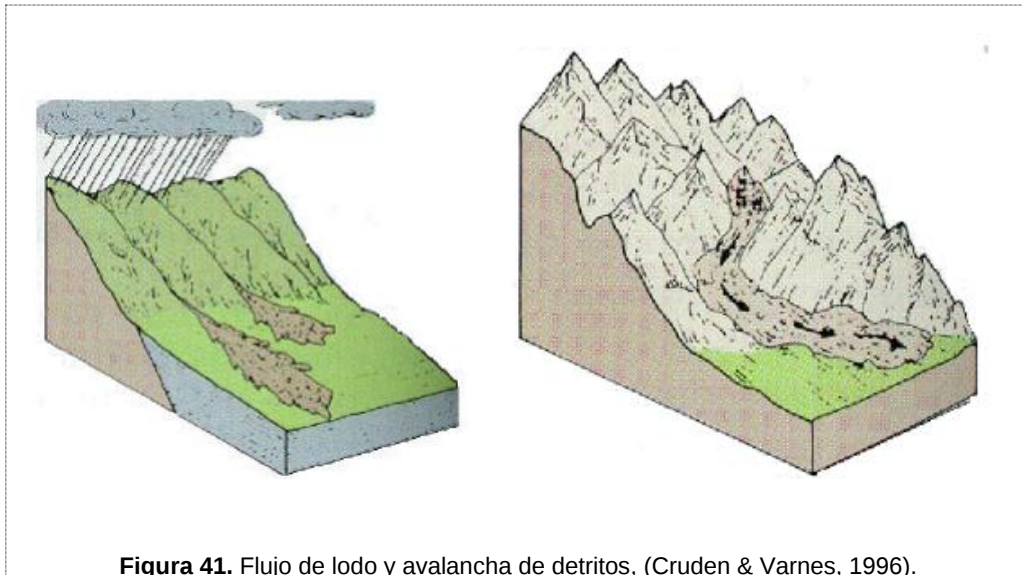


Figura 41. Flujo de lodo y avalancha de detritos, (Cruden & Varnes, 1996).

De acuerdo a los diferentes tipos de movimientos que se pueden presentar en los fenómenos de remoción en masa y comparándolos con lo analizado en la cantera de San Antonio Norte, se presenta el tipo de **caída**, en este caso caídas de bloques de roca como se muestra en la Figura 42, en la zona de acumulación del pie del talud de la zona 2, se encontró la evidencia de bloques de rocas en varias zonas, ocasionado por desprendimientos bloques del macizo rocoso.



Figura 42. Fenómenos de remoción en masa, caída de bloques en pie del talud (zona 2)

Ahora después de haber explicado los fenómenos de remoción en masa de la cantera, se describen los parámetros del macizo que pueden determinar su estabilidad, estos factores se relacionan con la orientación y posición espacial de las discontinuidades y otras características de las mismas tales como su resistencia, abertura, continuidad, el tipo de relleno alojado en las mismas, las condiciones de flujo de agua subterránea, etc., diferentes parámetros según las clasificaciones del ISRM (1981).

En la zona 1 se identificaron 23 diaclasas que cortan verticalmente las capas delgadas estratificadas de lajas. Estas diaclasas tienen aberturas entre 1 a 32 cm de longitud, algunas con relleno arenoso y arcilloso seco o húmedo, y otras sin relleno ya que algunas están cerradas Figura 43.

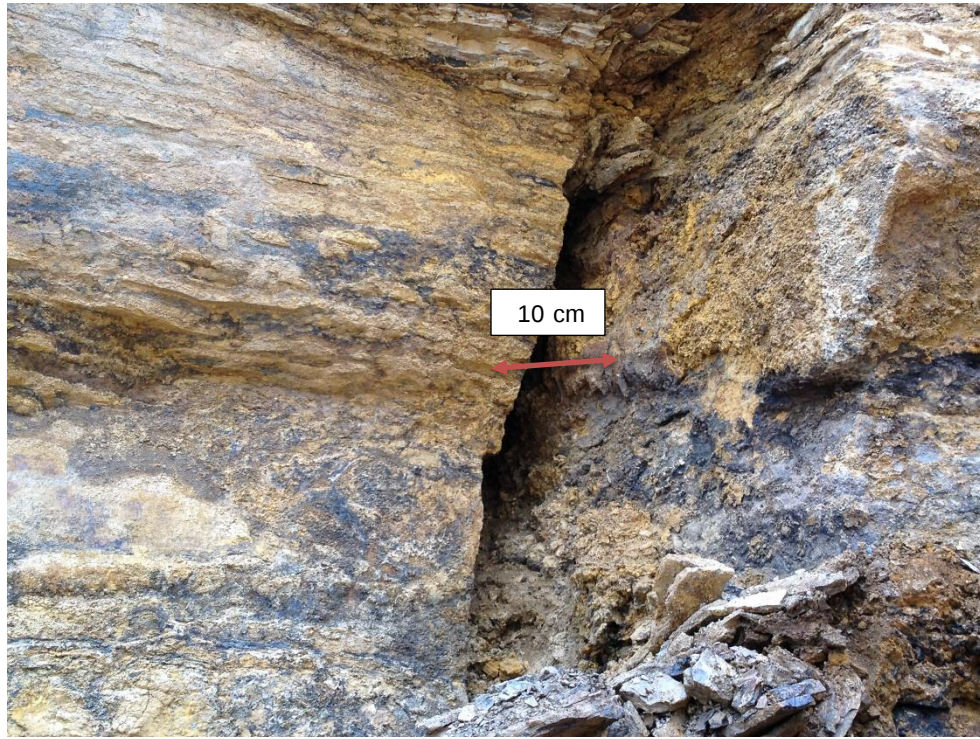


Figura 43. Aberturas cantera de San Antonio Norte. Zona 1. Diaclasa 8.

En la zona 2 se encontraron aberturas mucho más grandes, de 1 a 60 cm, con relleno de grava y arena seca. Figura 44.



Figura 44. Aberturas cantera de San Antonio Norte. Zona 2.
Diaclasa 13.

También se midieron los espaciamientos que había entre cada una de las diaclasas para determinar el tamaño del bloque o según sea la importancia que se le esté dando a dicho parámetro, ya sea para un estudio más a fondo de conocer el rendimiento que puede tener el proceso de explotación de la cantera o de más fines que intervenga este parámetro, en este caso se tomara para establecer un promedio entre los espaciamientos medidos según el número de mediciones realizadas y tenerlo en cuenta en el capítulo de clasificación del macizo rocoso.

Otro parámetro importante que se identificó, fue la forma que presentan las discontinuidades, que algunas eran de forma escalonada ya sea rugosas, lisas, ondulada etc., según la clasificación del ISRM y tenían una gran continuidad entre 5 a 15 m de longitud medibles podría ser más largas, ya que se dificultaba medir toda la longitud con los implementos suministrados por la universidad. Figura 45.



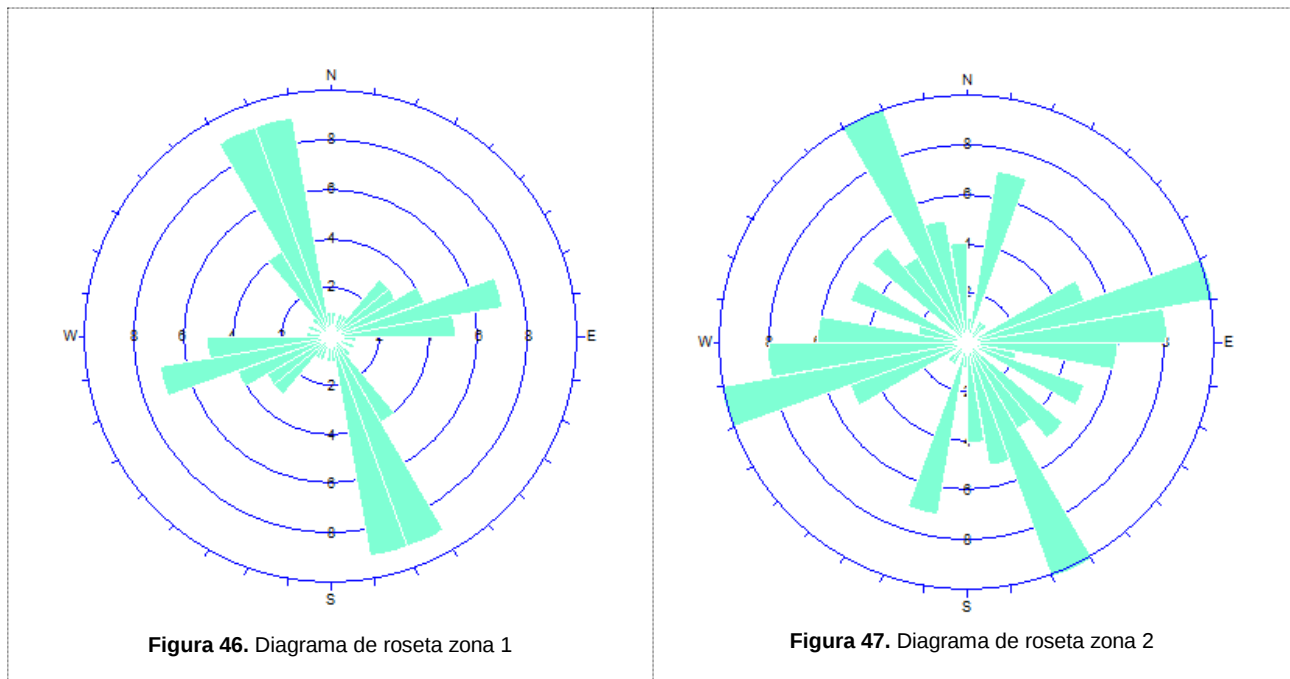
Figura 45. Forma y continuidad, Escalonada rugosa. Cantera de San Antonio Norte. Zona 2

Los parámetros de cada discontinuidad mencionados anteriormente se registraron en formatos especiales añadiendo los datos de azimuth y buzamiento respectivamente de cada una de las diaclasas, y se presenta en los anexos de este trabajo de grado.

5.2. PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA

El comportamiento mecánico del macizo rocoso su modelo de deformación y sus mecanismos de rotura están condicionados por el número de familias de discontinuidades. La orientación de las diferentes familias con respecto a una obra puede determinar la estabilidad de la misma. La intensidad o grado de fracturamiento y el tamaño de los bloques de matriz viene dado por el número de familias de discontinuidades y por el espaciado de cada familia. Cada una de las familias queda caracterizada por su orientación y características de los planos.

Por ello con la información ya organizada de los datos obtenidos en la recolección que se realizó anteriormente en los comisionados de campo, con los datos de azimuth y buzamiento se puede obtener el número de familias de diaclasas, y su orientación. La orientación de cada una de las familias se evaluara mediante la proyección estereográfica o la construcción de diagramas de rosetas, diagrama de polos, y concentración (diagrama de densidad), como se muestra en las Figuras 46,47.



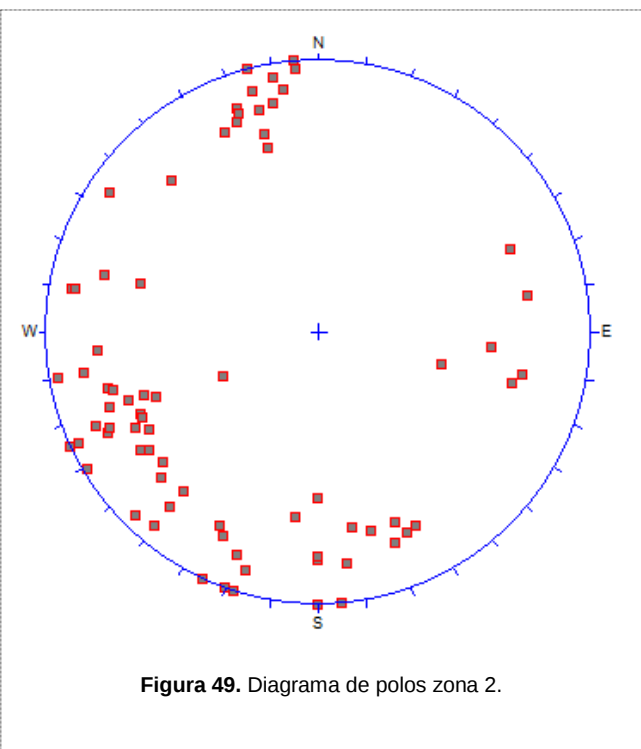
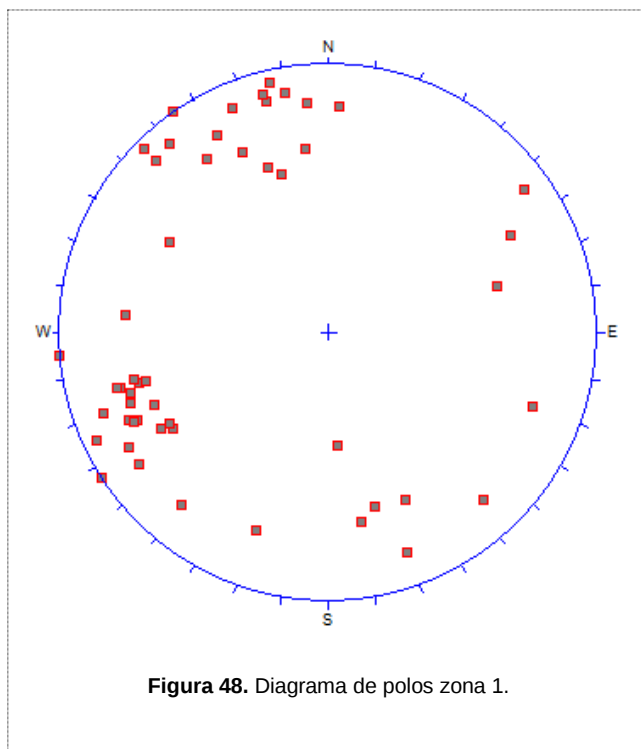
De acuerdo a la información recolectada se obtuvo la representación de los diagramas de rosetas, mediante el software de apoyo **Dips** de la casa **Rocscience**, que

permitieron observar y representar la orientación de las familias de diaclasas presentes de manera cuantitativa.

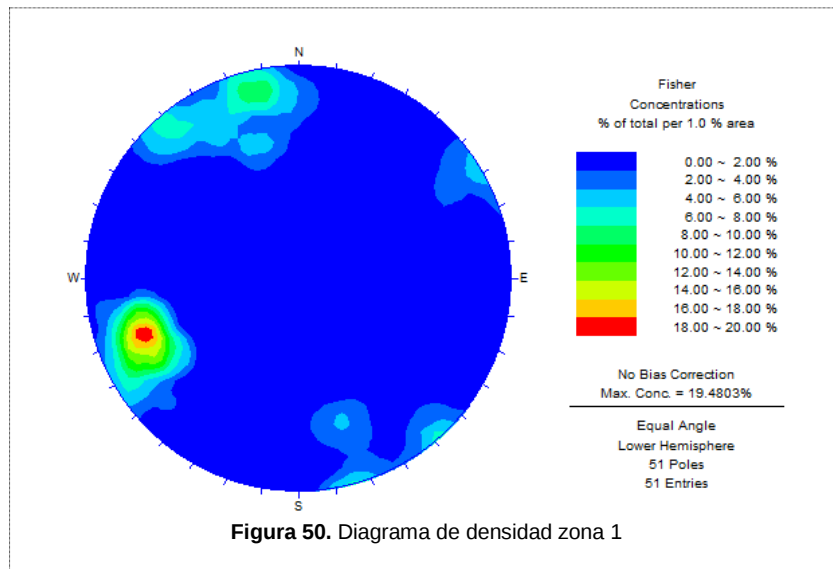
En la cantera San Antonio Norte se identificaron 3 familias de diaclasas de dirección **N20W** y **N30W**, que son las predominantes en el macizo rocoso según diagrama de rosetas; la otra familia de diaclasas presenta una dirección **N80E**, con menor predominancia en la zona 1 de la cantera.

En la zona 2 se presentan familias de diaclasas de dirección **N30W** y **N80E** al igual que la zona 1; también se observan familias de diaclasas con direcciones **E-W** y **N20E**. Se observa que las diaclasas que presentan mayor continuidad en las dos zonas del macizo son las de dirección **N30W** y **N80E**. La zona 2 donde el afloramiento es mucho más grande, permite medir mayor cantidad de diaclasas y determinar otras direcciones que no se observan en la zona 1.

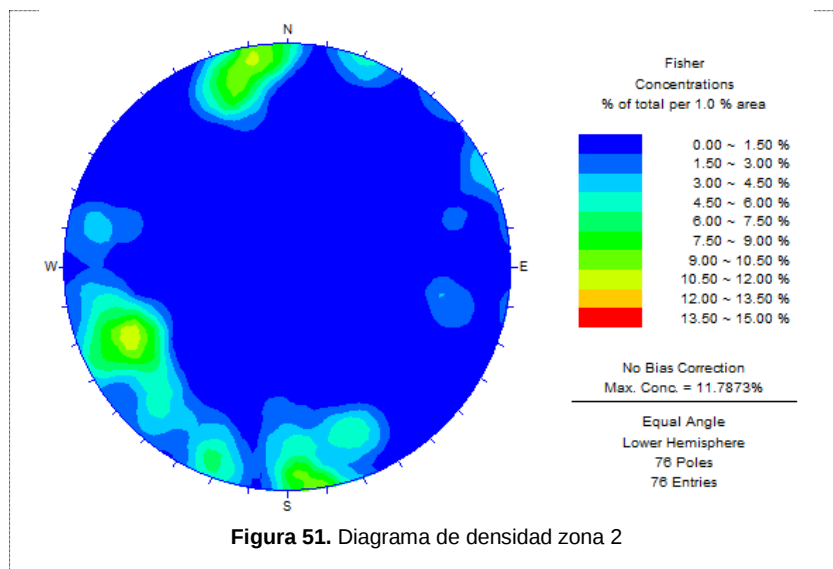
De igual manera se realizaron los diagramas de polos Pi, y en el análisis de las Figuras 48 y 49, permite ver que la mayor concentración de medidas de polos de las distintas familias de diaclasas, están lo suficientemente cerca del círculo máximo, con esto se puede concluir que son familias de diaclasas con buzamiento casi verticales.



Y por último se realizaron los diagramas de densidad de polos, corroborando lo anterior que las familias de diaclasas son de manteo o buzamiento casi vertical, como se puede ver en la Figura 50, donde el diagrama presenta colores según la frecuencia de los polos en porcentaje (%), donde rojo es la concentración de polos que más predomina y así entre más claro sea el color hasta llegar al azul, son dispersiones de polos de menor frecuencia.



En la Figura 51 según los colores del diagrama, se observa que no hay grandes concentraciones de polos como en la zona 1, pero de igual manera son concentraciones representativas cerca al círculo máximo del diagrama.



5.3. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR

5.3.1. CANTERA SAN ANTONIO NORTE

En este capítulo según la clasificación geomecánica RMR, se establecerá la calidad del macizo si es de calidad buena, media, etc., de acuerdo a la Tabla 22, al igual que se establecerá a que clase pertenece.

Tabla 22. Categoría de la clasificación Geomecánica. Fuente: Revista geológica de américa central, 26:91-96 (2002).

CLASIFICACION GEOMECANICA FINAL (Bieniawski)		
R.M.R. Suma de los puntajes de las tablas	Calificación del Macizo Rocoso	Clase
81 - 100	Muy bueno	I
61 - 80	Bueno	II
41 - 60	Medio	III
21 - 40	Malo	IV
0 - 20	Muy malo	V

Primero se deben tener en cuenta diferentes parámetros como:

El espaciado: Que el espaciado entre los planos de discontinuidades condiciona el tamaño de los bloques de la matriz rocosa y por tanto define el papel que este tendrá en el comportamiento mecánico del macizo rocoso. (González de Vallejo, 2002).

Este parámetro es importante hacerle un análisis más detallado ya que se desea saber un espaciamiento medio.

La separación entre diaclasas se midió perpendicularmente a los planos de diaclasas y calculó la separación media en cada cantera, utilizando para ello la fórmula $E = \sum e_i / n$, donde e representa un espaciamiento y n es el número de espaciamientos medidos. El valor obtenido para la separación media para la zona 1 es $E = 37.36 / 23 = 1.62$, y para la zona 2 $E = 82.19 / 30 = 2.74$. Los valores obtenidos no parecen ser afectados por el número de mediciones Figura (52). La separación media es en realidad una separación máxima ya que los datos se obtuvieron en las canteras donde, en

teoría, la fractura es más pequeña y el espacio entre diaclasas alcanza los valores más altos.

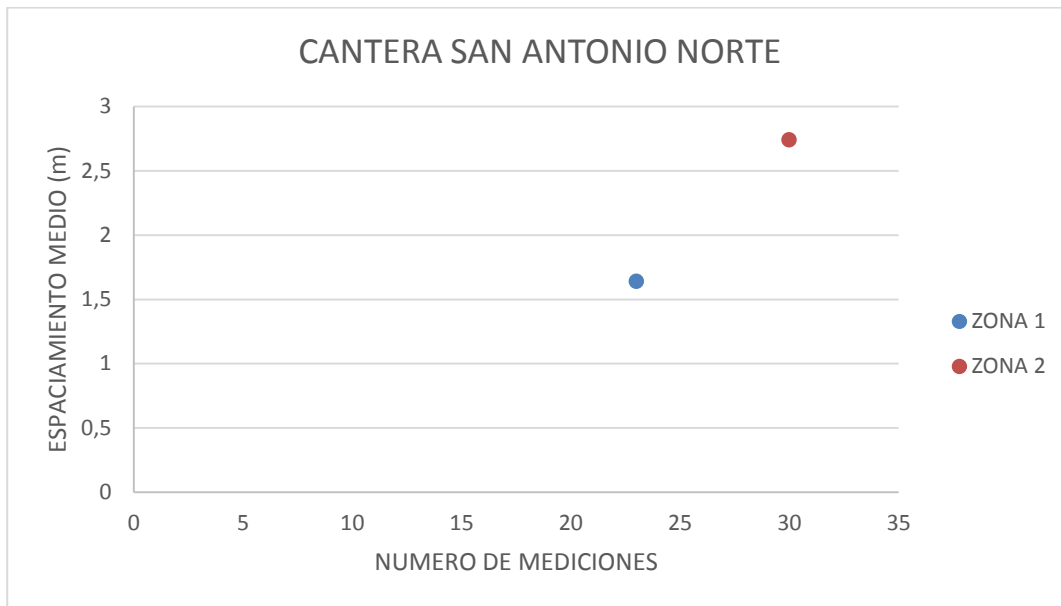


Figura 52. Variación del espaciamiento medio con el número de mediciones efectuadas

Se calcula también la distancia promedio para cada una de las familias diaclasas Figura 53 y los resultados obtenidos fueron los siguientes:

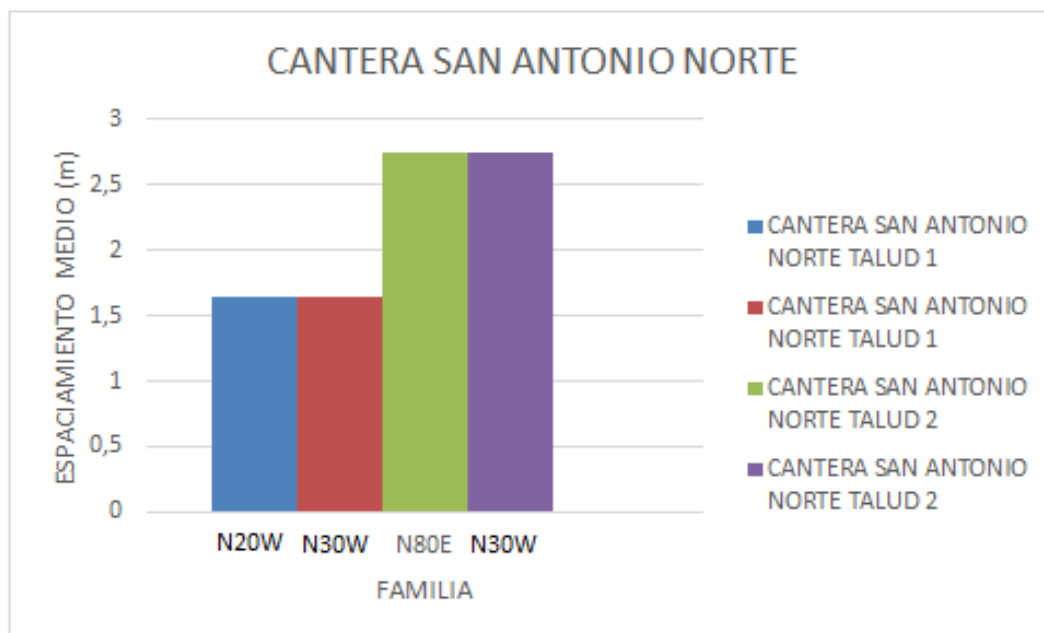


Figura 53. Variación del espaciamiento medio y las diferentes familias de diaclasas.

La fractura es más intensa en la zona 1 de dirección N30W Y N20W, que la zona 2 de dirección N80E, y tienden a ubicarse más lejos de este corredor de fracturación, esto

quiere decir que la medición sistemática de la separación de diaclasas va a guiar la exploración de modo que sea lo más lejos posible de los corredores de fracturación de la zona 1.

De acuerdo a lo anterior y según la clasificación del ISRM (1981) Tabla 23, se clasifica los espaciamientos de la zona 1 como un espaciamiento separado y para la zona 2 como un espaciamiento muy separado.

Tabla 23. Descripción del espaciado. Fuente: Gonzáles de Vallejo (2002), Ingeniera geológica

DESCRIPCION	ESPACIADO
Extremadamente junto	< 20 mm
Muy junto	0- 60 mm
Junto	60- 200 mm
Moderadamente junto	200-600 mm
Separado	600-2.000 mm
Muy separado	2.000-6.000 mm
Extremadamente separado	> 6.000 mm

Rugosidad: La descripción y medida de rugosidad tiene como finalidad la evaluación a la resistencia al corte de los planos. La rugosidad aumenta la resistencia al corte, que decrece con el aumento de la abertura y por lo general con el espesor del relleno. (González de Vallejo, 2002).

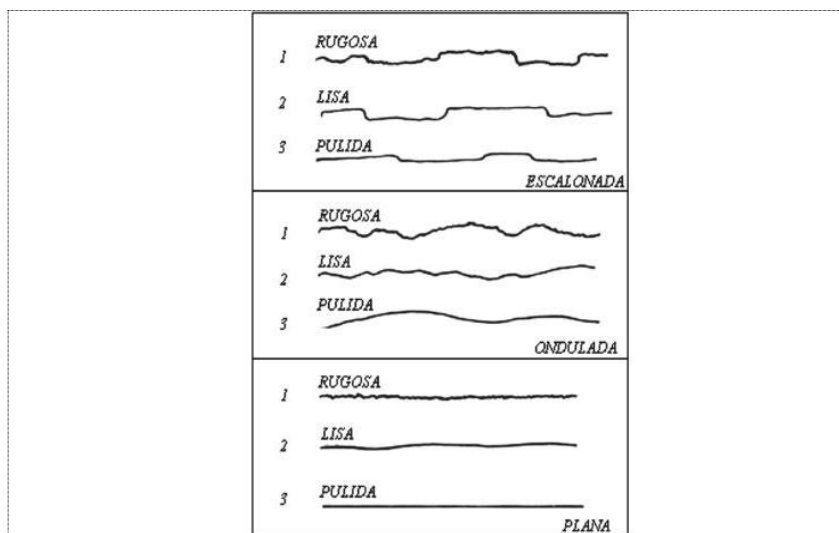


Figura 54. Perfiles de rugosidad. La longitud de los perfiles están en el rango entre 1 y 10 metros (ISRM, 1981). Fuente: Apuntes Geología Estructural, W. Griem (1999-2005).

Según la clasificación del ISRM (1981) para macizos rocosos, y lo identificado en campo se determinó que el macizo se clasifica como escalonado rugoso

Abertura: la influencia de la abertura en la resistencia al corte de la discontinuidad es importante en discontinuidades muy cerradas. (González de Vallejo, 2002). Esta clasificación se desarrolla según ISRM 1981 para macizos rocosos como se observa en la Tabla (24).

Tabla 24. Descripción de la abertura. Fuente: González de Vallejo (2002), Ingeniera geológica

ABERTURA	DESCRIPCION
<0,1mm	Muy cerrada
0,1-0,25 mm	Cerrada
0,25-0,5 mm	Parcialmente abierta
0,5-2,25 mm	Abierta
2.5-10 mm	Moderadamente ancha
>10mm	Ancha
1-10 cm	Muy ancha
10-100 cm	Extremadamente ancha
>1m	Cavernosa

Con lo cual en este caso se clasifica tanto para la zona 1 como la zona 2, como una abertura extremadamente ancha ya que están entre el rango de 10 a 100 cm de longitud.

Ensayo de compresión simple: La resistencia de las paredes de la discontinuidad se define como la resistencia a la compresión incofinada, pues es una buena medida de la alteración de las paredes de la discontinuidad. La resistencia aumenta con la presencia de dientes de roca en la discontinuidad. (Duque, 2003).

Para la información requerida sobre la resistencia a la compresión simple de las paredes de la discontinuidades del macizo rocoso fue necesario tomar como base la investigación “Avances en caracterización físico-mecánica de las lajas rústicas utilizadas en construcciones patrimoniales de los departamentos de Boyacá y Cundinamarca – Colombia” (Becerra, 2015).

Los resultados preliminares del ensayo de carga puntual, realizado para determinación de la resistencia a la compresión simple fueron tomados sobre 10 especímenes de cada uno de los segmentos identificados en campo, donde las muestras 1 y 2 corresponden al segmento 1 de la cantera San Antonio Norte, las muestras 3 y 4 al segmento 2 y la muestra 5 al segmento 3 o superior. (Tabla 25).

Tabla 25. Resistencias a carga puntual de las muestras correspondientes a cada uno de los segmentos de la cantera San Antonio Norte. (Becerra, 2015).

MUESTRA	PESO (g)	LARGO MAYOR (cm)			LARGO MENOR (cm)			ALTURA (cm)			ALTURA DE APLICACIÓN (cm)	CARGA PUNTUAL (KN)	CARGA POR UNIDAD DE AREA(Mpa)
1	475,9	13,3	12,54	12,6	6,61	7,09	5,55	3,17	2,88	2,92	2,7	3,8	2,48
2	367,2	9,81	10,5	10,3	6,48	5,84	6,56	3,13	3,19	3,16	3	5	3
3	581	13,4	13,95	13,3	6,62	6,23	5,92	3,66	3,5	3,41	3,3	8	4,41
4	580	13,1	13,8	13,4	6,6	6,09	5,9	3,67	3,3	3,41	3	8	4,41
5	531	16,8	15,64	16,7	6,79	7,09	5,83	2,42	2,2	2,53	2,5	9	6,17

Para obtener un solo valor en general de resistencia a la compresión simple, se saca un promedio entre los valores de la resistencia de todos los segmentos y el resultado el cual será tenido en cuenta es de 4.1 Mpa. Entonces según la clasificación de ISRM (1981) Tabla (26) de acuerdo a la resistencia a la compresión simple se considera un macizo con una roca matriz de clase R_1 muy blanda.

Tabla 26. Clasificación de la resistencia de la roca matriz (ISRM ,1981).

Clase	Descripción (ISRM)	Resistencia a la compresión simple (MPa)
R ₀	Extremadamente blanda	< 1
R ₁	Muy blanda	1 – 5
R ₂	Blanda	5 – 25
R ₃	Moderadamente dura	25 – 50
R ₄	Dura	50 – 100
R ₅	Muy dura	100 – 250
R ₆	Extremadamente dura	> 250

Índice RQD: La clasificación del RQD se funda en la cuantificación del grado de fractura de la roca. Permite la obtención de un **índice**, que es un valor cuantitativo que representa la calidad del macizo rocoso. (Bieniawski, 2004).

Se obtiene mediante sondeos o perforaciones que se realizan para extraer testigos del macizo rocoso. Todos estos trozos enteros de testigo o estas partes de roca fracturada se miden y se contabilizan para entonces aplicarlos a una fórmula de cálculo. La condición para ser contabilizadas es que éstas tengan una longitud mayor que 10 cm.

Para este trabajo fue necesario citar el proyecto de grado que realizaron los alumnos Jonathan Patiño y Marco Antonio (2015), los cuales realizaron la descripción de las características litológicas en la cantera San Antonio norte, donde se identifican tres 3 segmentos de techo a base de la siguiente manera:

Capa explotada o aprovechable (2.16 m): que es la capa la cual es explotada en la cantera que consiste en paquete de areniscas de grano fino a medio, estratificada en capas de 4 a 12 cm de espesor

Capa Suprayacente: El paquete explotado esta suprayacido por capas medias a gruesas de arenitas de cuarzo Su geometría está dispuesta en capas tabulares con espesores variables entre 16 y 59 cm.

Capa infrayacente: La roca infrayacente es una arenisca de grano fino, la roca está dispuesta en capas tabulares y onduladas, con espesores entre 4 y 10 cm.

Con lo anterior se puede establecer que la longitud de sondeo o perforación es de 2.16 m

Y los trozos de testigos varían entre 4 a 12cm de longitud, entonces el valor del índice RQD es:

$$RQD = \frac{\text{Longitud recuperadas en piezas} \geq 0.1m \times 100}{\text{Longitud del sondeo}} = \frac{1.5 \times 100}{2.16}$$

$$RQD = 69.44 \%$$

Según la clasificación ISRM (1981), según los datos obtenidos en las perforaciones se clasifica el macizo como un macizo de calidad **Aceptable**, como se observa en la Tabla (27).

Tabla 27. Clasificación de la calidad de la roca matriz según RQD. (ISRM ,1981)

Clase	Calidad	RQD (%)
I	Muy mala	< 25
II	Mala	25 – 50
III	Aceptable	50 – 75
IV	Buena	75 – 90
V	Muy buena	90 – 100

Con lo anterior ya teniendo la clasificación de cada uno de los diferentes parámetros de acuerdo a la clasificación ISRM (1981), se le dará un puntaje según el método de clasificación geomecánica RMR de Bieniaswiski (1984), de la siguiente manera:

De acuerdo al puntaje que se le asigna al RQD como se observa en la Tabla (28), el puntaje de esta cantera es de 13 para un RQD del 70%.

Tabla 28. Puntaje según del valor del R.Q.D. (A). Fuente: Revista geológica de américa central, 26:91-96 (2002).

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

El puntaje que se le da según la resistencia a la compresión simple, es de 12 según la Tabla (29), para una resistencia de 4,1 Mpa.

Tabla 29. Puntaje según resistencia a la compresión simple (B). Fuente: Revista geológica de américa central, 26:91-96 (2002).

Índice del Ensayo de Carga Puntual (MPa)	Resistencia a la Compresión Simple (RCS) (MPa)	Puntaje
>10	> 250	15
4 - 10	100 - 250	12
2 - 4	50 - 100	7
1 - 2	25 - 50	4
--	10 - 25	2
--	3 - 10	1
--	< 3	0

El puntaje según el espaciamiento de discontinuidades del grupo más importante para el Talud 1 como para el Talud 2 es de 20 para espaciamientos mayores a 2 metros como según la Tabla (30).

Tabla 30. Puntaje según espaciamiento de discontinuidades del grupo más importante (C). Fuente: Revista geológica de américa central, 26:91-96 (2002).

Espaciamiento (m)	Puntaje
>2	20
0,6 - 2,0	15
0,2 - 0,6	10
0,06 - 0,2	8
< 0,06	5

En la cantera de San Antonio norte en la zona 1 como la zona 2, según lo identificado en campo la descripción de las condiciones de las discontinuidades según la Tabla (31), se describe como discontinuidades abiertas, con relleno de falla de más de 5 mm de espesor o apertura de más de 5 mm, las discontinuidades se extienden por varios metros, el cual se le dará un valor de 0.

Tabla 31. Puntaje según las condiciones de las discontinuidades (D). Fuente: Revista geológica de américa central, 26:91-96 (2002).

Descripción	Puntaje
Superficies muy rugosas, de poca extensión, paredes de roca resistente	15
Superficies poco rugosas, apertura menor a 1 mm, paredes de roca resistente	12
Idem anterior, pero con paredes de roca blanda	7
Superficies suaves ó relleno de falla de 1 a 5 mm de espesor ó apertura de 1 a 5 mm, las discontinuidades se extienden por varios metros	4
Discontinuidades abiertas, con relleno de falla de más de 5 mm de espesor ó apertura de más de 5 mm, las discontinuidades se extienden por varios metros	0

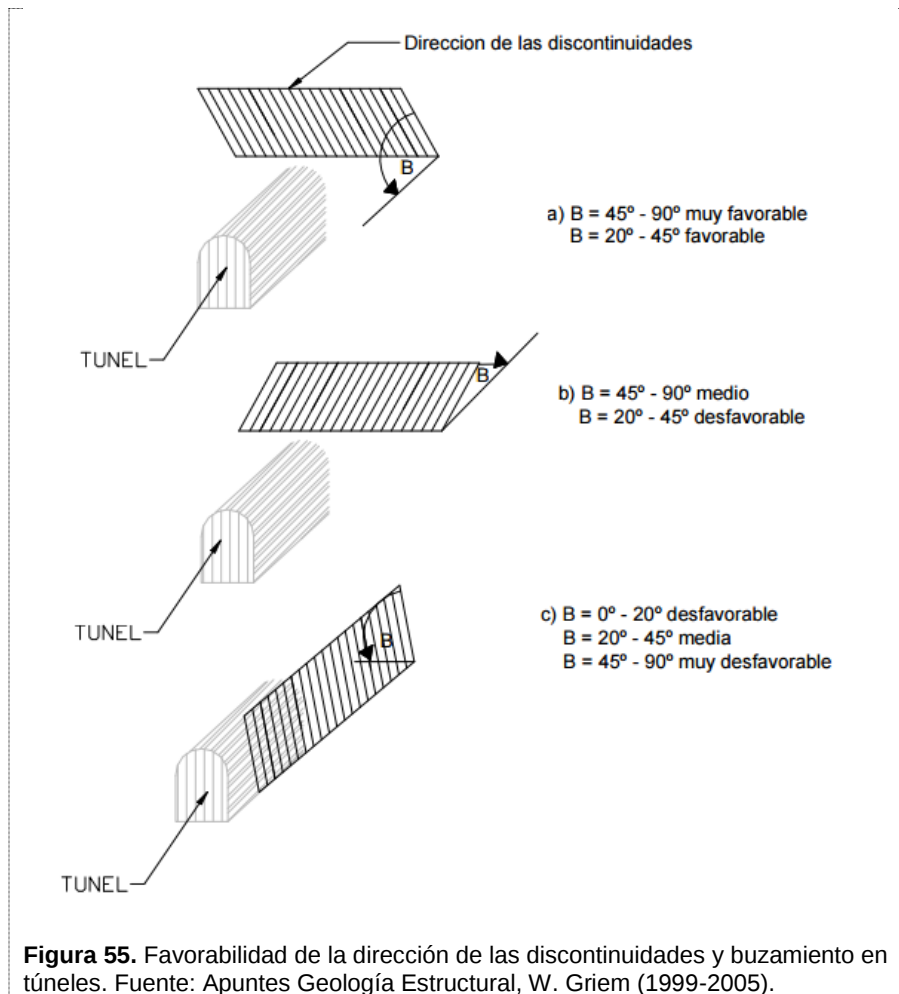
Para las condiciones de aguas subterráneas como se realizaron las comisiones de campos en tiempos secos de mucho sol, no se evidencio algún tipo de filtración interna entre las discontinuidades analizadas, entonces en este caso se tomara como una condición completamente seco y se le dará un puntaje de 15 según la Tabla (32).

Tabla 32. Puntaje según las condiciones del agua subterránea (E). Fuente: Revista geológica de américa central, 26:91-96 (2002).

Filtración por cada 10m de longitud de túnel (L/min)	Presión del agua en la discontinuidad dividido la tensión Principal Mayor	Condiciones Generales	Puntaje
Nada	0	Completamente seco	15
< 10	0,0 – 0,1	Apenas húmedo	12
10 - 25	0,1 – 0,2	Húmedo	7
25 – 125	0,2 – 0,5	Goteo	4
> 125	> 0,5	Flujo continuo	0

Por último se realizara una corrección en los valores según la orientación de las discontinuidades, para esto se desea saber que tan influyente es la orientación para cualquier fin que se desee llevar acabo en la cantera de San Antonio Norte,

En este caso se pondrá un ejemplo como si se quisiera trazar un túnel en esta cantera y se proseguirá sumar todos los valores incluyendo el valor de corrección para obtener un puntaje RMR y saber por último que clase pertenece el macizo rocoso. La orientación y el buzamiento para el túnel es de influencia medio, ya que el túnel se trazara en la dirección perpendicular a la que se encuentran las diaclasas y el buzamiento varía 45°- 90° Figura 55.b



Entre el cual se le restara a la sumatoria total 5 puntos. Tabla 33.

Tabla 33. Corrección por la orientación de las discontinuidades (F). Fuente: Revista geológica de américa central, 26:91-96 (2002).

Evaluación de la influencia de la orientación para la obra	Puntaje para Túneles	Puntaje para Fundaciones
Muy favorable	0	0
Favorable	-2	-2
Medio	-5	-7
Desfavorable	-10	-15
Muy desfavorable	-12	-25

Puntaje RMR=13+12+20+0+15-5=55

Clasificación geomecánica final: Grupo III, se considera un macizo de calidad medio.

5.3.2. CANTERA TOCOGUA

La cantera Tocogua Figura (56), se encuentra ubicada en la vereda Tocogua de la ciudad de Duitama, cerca al área urbana y en inmediaciones del llamado Pueblito Boyacense. En esta cantera se identificaron 8 segmentos de base a techo (Suarez y Patiño, 2015), como se explica a continuación, y también se encuentra en la misma formación sedimentaria de la cantera de San Antonio Norte.



Figura 56. Cantera Tocogua.

Segmento 1: Tiene una longitud de 1.50m, está compuesto por areniscas de grano fino a medio, moderadamente a bien seleccionada, con morfología subangular a subredondeada. El espesor de las capas varía entre 15 y 40 cm y poseen una geometría tabular, con estratificación interna ondulada, paralela y continua, y una orientación de N43E/20NW. Su composición mineralógica es de cuarzo como mineral

predominante, también se observa la presencia de fragmentos líticos y feldespatos en menor porcentaje. Por último se observa un poco de micas y laminación de materia orgánica aparentemente con geometría ondulada, no paralela y discontinua, a la vez que pequeñas intercalaciones de 1 mm de material de grano muy fino, que facilita la separación de las capas.

Segmento 2: Tiene una longitud de 1.74m, se compone de areniscas de grano fino moderadamente seleccionado, con morfología subredondeada. Sus capas varían entre 15 a 73 cm de espesor y su geometría en comparación al anterior segmento cambia de ser tabular y paralela a convertirse en no paralela y cuneiforme, con una orientación N79E/15NW. Está compuesta de cuarzo como mineral predominante y presencia de fragmentos líticos, feldespatos y mica como minerales subordinados. Por último se observa laminación de materia orgánica con geometría ondulada, no paralela y discontinua.

Segmento 3: Este segmento tiene una longitud de 1.26 m, está compuesto por areniscas de grano fino, moderadamente a bien seleccionados, con morfología subredondeada. Sus capas varían entre 12 y 21 cm de espesor y su geometría es tabular, discontinua, no paralela y en algunas capas cuneiforme, con una orientación de N65E/16NW. Está compuesta de cuarzo como mineral predominante y presencia de fragmentos líticos, feldespatos y mica como minerales subordinados. Se observa en algunos casos presencia de laminación de materia orgánica con geometría ondulada, no paralela y discontinua. Por último se encuentran medianas intercalaciones aparentemente de limolita, las cuales facilitan la división o separación de las capas para su extracción.

Segmento 4: Este tiene una longitud de 1.50m, se encuentra conformado por un Paquete de arenisca de grano fino, bien seleccionado, con morfología angular a subredondeada. Este segmento se encontraba cubierto de residuos, por lo tanto no se pudo determinar la geometría de las capas ni sus espesores. Por otro lado se observa aparente laminación de materia orgánica con geometría ondulada, no paralela y

discontinua. Por ultimo en su composición mineralógica predomina el cuarzo y un poco la presencia de fragmentos líticos. Se observan micas y matriz visible.

Segmento 5: Tiene una longitud de 1.50 m, está compuesta por arenisca de grano fino, bien seleccionado, con morfología subangular a subredondeada. Sus capas varían entre 0.5 y 21 cm de espesor y poseen una geometría tabular, paralela y continua, con orientación de N59E/23NW. También se puede observar que este paquete presenta aparente laminación de materia orgánica con una geometría ondulada, no paralela y discontinua. Por otro lado en su composición mineralógica existe la presencia abundante de cuarzo, y un poco de fragmentos líticos. Por último se observa esporádicamente mica, e intercalaciones aparentemente de limolita, las cuales facilitan la separación de capas. Se evidencia matriz visible.

Segmento 6: Tiene una longitud de 1.50m, está constituido de arenisca de grano fino, bien seleccionado, con morfología subredondeada. El espesor de las capas varía entre 0.5 a 20 cm, con geometría tabular paralela y continua, y una orientación de N79E/15NW. A comparación de anterior segmento, este no presenta laminación evidente. En su composición mineralógica sigue predominando el cuarzo, y existiendo la presencia de fragmentos líticos y feldespatos en menor proporción. Por último se observa esporádicamente mica, y la existencia de intercalaciones de aparente limolita que facilita la separación o extracción de capas.

Segmento 7: Este paquete de arenisca de grano fino tiene una longitud de 1.50m, moderadamente seleccionado, con morfología subangular a subredondeados. Sus capas poseen un espesor que varía entre 0.5 a 20.5 cm, con geometría tabular paralela y continua, y una orientación de N52E/12NW. Está compuesta de cuarzo como mineral predominante y presencia de fragmentos líticos, feldespatos y mica como minerales subordinados. Por otro lado presenta indicios de laminación con geometría ondulada, paralela y continua.

Segmento 8: Por último el este segmento tiene una longitud de 1.50m, y se compone de arenisca de grano fino, moderadamente seleccionado, con morfología subangular a

subredondeados. Sus capas tienen un espesor que varía entre 0.5 y 20.5 cm, con geometría tabular, paralela y continua, y una orientación de N72E/8NW. En su composición mineralógica predominan los mismos minerales del segmento anterior y se evidencia indicios de laminación con geometría ondulada, paralela y continua. Por ultimo sigue existiendo la presencia de intercalaciones de limolita facilitando la separación de capas.

El macizo rocoso de esta cantera es homogéneo, no se pueden diferenciar zonas como ocurre en San Antonio Norte, pero su buena exposición permite la recolección de más datos estructurales.

Conociendo las características litológicas de la formación Une en cada segmento identificado en la cantera de Tocogua, se procedio a realizar la descripción del entorno para analizar actividad, causas, etc., de fenómenos de remoción en masa, filtraciones o empozamientos de agua, de la misma forma que se hizo con la cantera de San Antonio Norte.



Figura 57. Residuos generados por explotación de la cantera

Recorriendo la cantera por diferentes sitios a simple vista se considera que tiene una buena estabilidad por la disposición en que se encuentran las diaclasas estratificadas subhorizontalmente, que al estar de esta manera no presentan susceptibilidad a los

procesos de remoción en masa, y de igual manera no se identificó algún tipo de remoción en masa; se observan acumulaciones de residuos de rocas, generados por la misma explotación que se ejecuta en la zona Figura 57; estos residuos son retirados por volquetas, aunque buena parte de ellos se acumulan en el lugar de extracción generando algún tipo de contaminación.

Por otro lado como se realizaron las comisiones de campo en una buena época de sol no se identificaron empozamientos de agua superficial tanto en el macizo como en el perímetro de explotación.

En la cantera Tocogua, al igual que en San Antonio Norte, se ejecutó la descripción detallada de cada zona del macizo tomando varios puntos o estaciones de medida para que los datos sean más representativos, identificando los tipos de discontinuidades que se presentan en el macizo, como lo son: fallas, diaclasas, estratificación, etc.

Se describen a continuación los parámetros de los macizos que pueden determinar su estabilidad, estos factores se relacionan con la orientación y posición espacial de las discontinuidades y otras características de las mismas tales como su resistencia, abertura, continuidad, el tipo de relleno alojado en las mismas, las condiciones de flujo de agua subterránea, etc., todos los parámetros según las clasificaciones del ISRM (1981).

Se identificaron 49 diaclasas que cortan verticalmente las capas delgadas estratificadas de lajas. Estas diaclasas a diferencia de la cantera de San Antonio Norte son de abertura cerrada, al ser cerradas no contienen material de relleno. Figura 58.



Figura 58. Diaclasas cerradas cantera de Tocogua

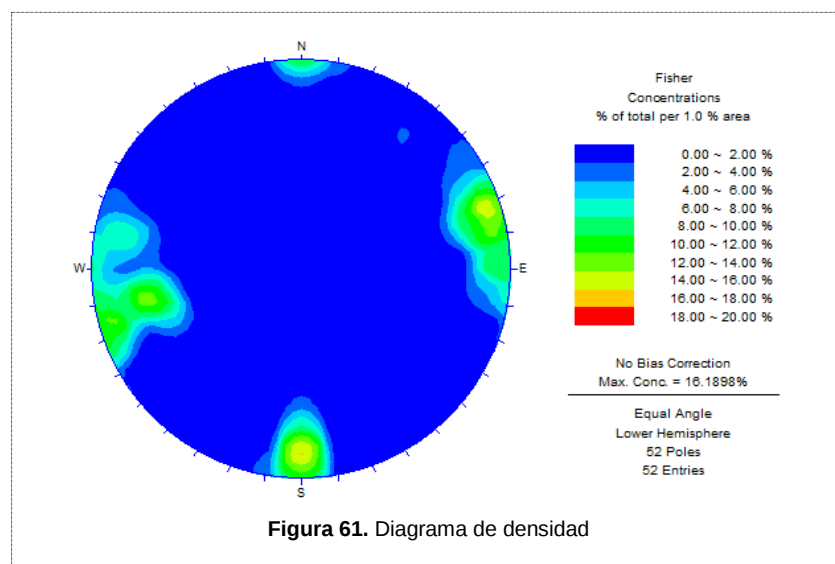
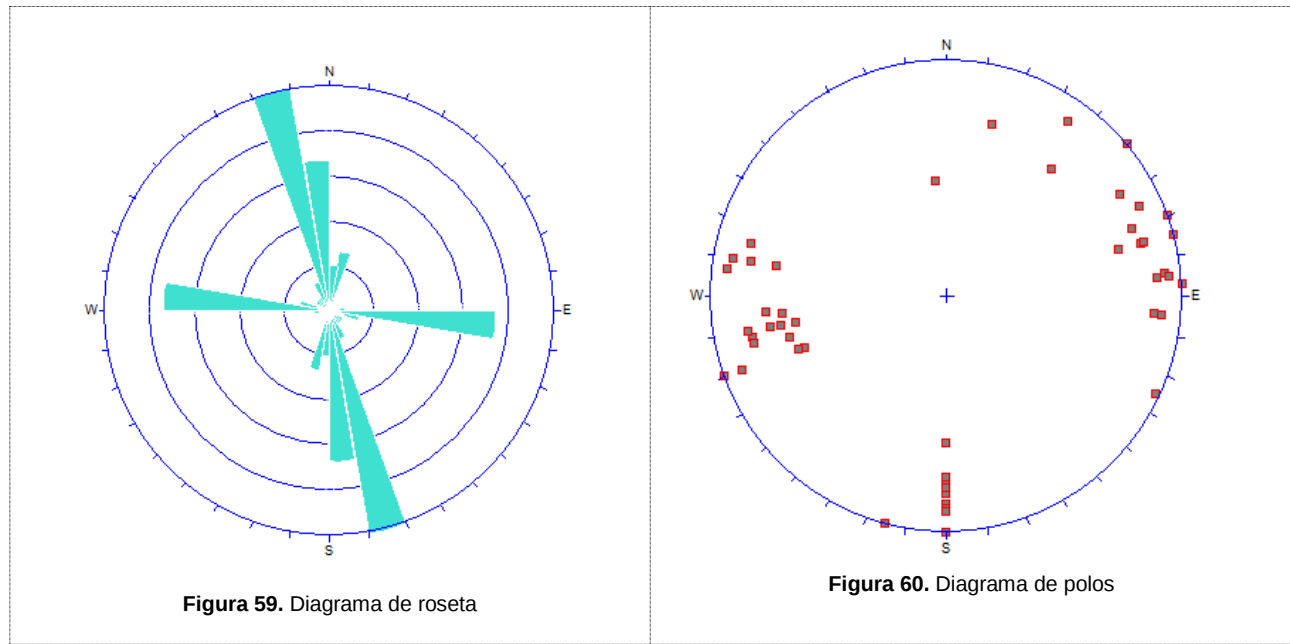
También se midieron los espaciamientos que había entre cada una de las diaclasas, en este caso se encontraron espaciamientos más juntos de poca longitud, a diferencia de la cantera de San Antonio Norte que eran espaciamientos de longitudes más grandes.

Otro parámetro importante que se identificó, fue la forma que presentan las discontinuidades, que gran parte de ellas eran de forma escalonada lisas, según la clasificación del ISRM y tienen una gran continuidad entre 5 a 15 m de longitud medibles podría ser más largas, ya que se dificultaba medir toda la longitud con los implementos suministrados por la universidad.

Los parámetros de cada discontinuidad mencionados anteriormente se registraron en formatos especiales y se presenta en los anexos de este trabajo de grado, adicionando de igual manera los datos de orientación (Rumbo y Buzamiento), respectivamente de cada diaclasa identificada.

5.3.3. PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA

Se realizaron los diagramas de rosetas, diagramas de polos y diagramas de densidad para establecer las familias predominantes en el macizo rocoso de esta cantera, y con esta información se precederá a mirar su influencia en el macizo rocoso para diferentes construcciones o intervenciones que se deseen realizar en esta cantera.



Mediante la herramienta del software de apoyo **Dips**, se permitió observar y representar la orientación de las familias de diaclasas presentes en el macizo rocoso, con lo cual se obtienen 3 familias representativas de diaclasas presentes en el macizo **N10W**, **N20W**, **E-W**, de acuerdo a lo observado en el diagrama de rosetas. En el diagrama de polos se puede observar que algunos de los puntos se encuentran encima de la vertical del diagrama, esto conlleva a que son diaclasas de buzamiento totalmente vertical, al igual que lo corrobora el diagrama de densidades.

6. CONCLUSIONES

- Es de gran ayuda para la ingeniería civil los conocimientos de geología a la hora de aplicarlos en cualquier obra de construcción, o explotación minera que se desee llevar a cabo.
- Aparte de las características de los macizos que condicionan su estabilidad hay otros factores adicionales que también pueden intervenir tales como el hombre, la erosión, el clima y los sismos, entre otros.
- El cálculo del RQD (*Rock Quality Designation*) permitió definir el grado de fracturamiento de la rocas que constituyen cada una de las canteras objeto de estudio y según los valores de RQD= 70% para la cantera de San Antonio Norte y un puntaje RQD= 60%, para la cantera de Tocogua y se concluye que se encuentra la roca con mayor grado de fracturación del macizo de la cantera de San Antonio Norte, y esto puede facilitar el proceso de explotación de la cantera a la hora de extraer las lajas rústicas.
- Según la clasificación RMR, la cantera de San Antonio Norte obtuvo una puntuación de RMR= 55, esto es un macizo de clase III, de calidad media, que para una obra civil que se desee llevar a cabo en este macizo, no es muy conveniente ejecutarla, pero para la actividad que se realiza en este sitio de explotación de lajas si no es de mayor problema.
- La cantera de Tocogua, aunque no se pudo realizar el ejercicio de clasificar el macizo según el método de RMR, por la falta de datos de la resistencia de las paredes de las discontinuidades, a simple vista identificando sus características que condicionan su estabilidad, es un macizo de mejor calidad que el de la cantera de San Antonio Norte, ya que sus aberturas son totalmente cerradas, los espaciamientos entre discontinuidades son mucho más juntos, la continuidad de cada una de ellas son de menores longitudes, la roca está en mejores condiciones es mucho más sana, con menor grado de fracturación, y no se evidencio algún rasgo de deslizamientos, ni de flujos de agua tanto en las discontinuidades como en el perímetro de explotación.
- Con ayuda de técnicas de proyección estereográfica y el Software de apoyo “Dips” se permitió definir la tendencia y dirección de cada una de las familias de

diaclasas que se encuentran en las canteras objeto de estudio, como también se permitió establecer que no es muy viable trazar un túnel en la cantera de San Antonio Norte, a menos de que se le haga otro tipo de intervenciones al macizo.

- Con los métodos de clasificación y caracterización de macizos rocos se pueden tomar medidas de mitigación de fenómenos de remoción en masa, estabilizar los taludes según sea el caso, y establecer si es viable o no realizar una obra civil que desee llevar acabo.
- Es recomendable para la cantera de San Antonio Norte en la zona 1, en la corona del talud construir una zanja de coronación para conducir y evacuar las aguas que se encuentran estancadas, para evitar que estas se infiltren y puedan generar alguna inestabilidad en el macizo
- En la cantera de San Antonio Norte el banco de explotación actual que es la zona 1, se terminara después de un tiempo si se sigue con dicha actividad, y proseguirán a explotar el talud de la zona 2, y en este caso hay que tomar medidas de precaución, ya que el talud de la zona 2 es inestable y puede poner en peligro la integridad de las personas que trabajan diariamente en esta cantera.

7. BIBLIOGRAFÍA

Alejano, L., Ramirez, P. (2004). Mecánica de Rocas: Fundamentos e ingeniera de taludes. Madrid: Red DESIR.

Becerra, J. (2015). *Avances en caracterización físico-mecánica de las lajas rústicas utilizadas en construcciones patrimoniales de los departamentos de Boyacá y Cundinamarca - Colombia*. 3er congreso iberoamericano y XI jornada. Restauración y conservación del patrimonio

Bieniawski, Z.T. (1989). Rock Mass Classification in Rock Engineering. *Exploration for Rock Engineering*, Ed. Z. T. Bieniawski, A.A. Balkema, Johannesburg, pp. 97-106, 1976.

Brito, A., Mora, I., Moscote, L., Pimienta, G., Ortiz, E. (2011). Caracterización y clasificación geomecánica del macizo rocoso, para determinar la estabilidad óptima de los taludes, en la cantera la primavera, municipio de Bosconia, departamento del Cesar.

Fundación universitaria del área andina programa de ingeniería de minas investigación cuantitativa Valledupar.

Bürgl, H. (1961). Historia Geológica de Colombia. *Rev. Acad. Col. Cienc. Ex. Fis. Nat.*, vol. 11, nº 43, pp. 137-191, 41 fig., 4 tab., Bogotá.

Casali, A., Campos, P. (2011). Recopilación de información para futuro estudio técnico-económico en la explotación de mantos de baja potencia en mina Rafaela. *Universidad de Chile facultad de ciencias físicas y matemáticas departamento de ingeniería de minas.*

Escobar, G.D. (2003). Manual de geología para ingenieros. Manizales: Universidad nacional de Colombia.

Ferrer, M., Vallejo, G. (1999). Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos. IGME, Madrid, 107 p

González de Vallejo, L. (2002). Ingeniería geológica. Madrid: Pearson educación
Vásquez, M. (2010). Caracterización geotécnica del macizo rocoso contenido en el sector explotado del sinclinal la Jagua, municipio de la Jagua de Ibirico-Cesar: *Escuela de geología Bucaramanga.*

Griem, W. (1999). Apuntes de geología estructural. Chile: Geovirtua2.cl

Güiza, S., Espinosa A. (2004). Informe final cartografía geoquímica de la plancha 171 Duitama. *Ministerio de minas y energía instituto colombiano de geología y minería República de Colombia.*

International Society for Rock Mechanics. (1981). Basic Geotechnical Description of Rocks Masses. *Int. Journal Rock Mech. Min. Sci.* 18, pp.85-110.

Hudson, J.A., Harrison, J.P. (1995). Engineering Rock Mechanics. An introduction to the principles. Londres: Ed. Pergamon press

Hubach, E. (1957). Contribución a las unidades estratigráficas de Colombia.- Inst, Geol. Nacional, Inf. 1212, 166 pp. Bogotá.

Marcuzzi, J y Cerusico, L. (2009). Propuesta Metodológica para la Caracterización Geotécnica de los Taludes Rocosos del Camino de Acceso al Cerro San Bernardo, Ciudad de Salta. *Cuadernos de la facultad n.4.*

Lisle, R., Lesión, P. (2000). Técnicas de proyección estereográfica para geólogos e ingeniero civiles. Inglaterra: Cambridge University.

Maday Cartaya-Pire. (2001). Caracterización geomecánica de macizos rocosos en obras subterráneas de la región oriental de país. *Minería y Geología v.22 n.3.*

Ramírez, P., Alejano, L. (2004). Mecánica de rocas: Fundamentos e ingeniería de Taludes. Madrid: Red DESIR.

Renzoni, G., Rosas, H. (1969). Geología de la Plancha 171 Duitama, escala 1:100.000, INGEOMINAS, Bogota.

Renzoni, G. *et al.* (1983). Geología del Cuadrángulo J-12 Tunja. Boletín Geológico. Vol. 24-No.2. INGEOMINAS Santa Fe de Bogotá.

Reyes, I. (1984). Geología de la región de Duitama-Sogamoso paz de Rio (Departamento de Boyacá).- U.P.T.C., Sogamoso.

Suarez, M., Patiño, J. (2015). Investigación y caracterización de rocas ornamentales en la formación de los ingenieros civiles. Colombia: Universidad Santo Tomas.

Tarbuck, E., Lutgens, F. (2005). Ciencias de la tierra: *Una introducción a la geología física*. Madrid: PEARSON-Prentice Hall.

Varnes, D.J., 1996: Slope Movement: Types and Proceses. In Scuster & Krizek, 1996: Landslides: Analysis and Control. Special report 176. Transportation Research Board, Comisión on Sociotechnical Systems, National Research Council. National Academy of Sciences, Washungton, D.C. 234 p.p.

8. ANEXOS

8.1. RESULTADOS DE MEDICIONES TOMADAS EN CAMPO

CANTERA SAN ANTONIO NORTE ZONA 1

DIACLASA N°	RUMBO	BUZAMIENTO	FORMA	ESPACIAMIENTO(m)	ABERTURA(m)	CONTINUIDAD(m)	RELLENO	HUMEDAD
1	N50E	85SE	ESCALONADA-RUGOSA	-	0.21	1.10	ARENOSO	MEDIA
2	N75E	83SE	ESCALONADA-RUGOSA	1	0.045	1.20	ARENOSO	PARCIALMENTE HUMEDA
3	N83E	69SE	PLANA-RUGOSA	1.51	0.20 0.54	1.45	SIN RELLENO	SECA
4	N75E	85SE	PLANA-RUGOSA	0.75	0.16	2.85	ARENOSO	SECA
5	N55E	90SE	PLANA-RUGOSA	3.20	0.055	2.53	ARENOSO	MEDIA
6	N45E	88SE	PLANA-RUGOSA	1	0.04	1.74	ARENOSO	BAJA
7	N65E	73SE	PLANA-RUGOSA	2.10	0.08	2.70	ARENOSO	SECA
8	N5E	74SE	ONDULADA-RUGOSA	2.2	0.22	1.80	ARENOSO	SECA
9	N5W	90NE	PLANA-RUGOSA	2.93	0.075	2.7	ARENOARCILLOSO	MEDIA
10	N47E	81NW	ESCALONADA-RUGOSA	3.15	0.01	1.80	ARCILLOARENOSO	ALTA
11	N80E	71NW	ONDULADA	1.83	CERRADA	2.7	SIN RELLENO	MEDIA
12	N75E	68NW	ESCALONADA-RUGOSA	0.39	0.05	2.77	ARCILLOARENOSO	MEDIA
13	N20E	78NW	ESCALONADA-RUGOSA	5.44	0.06	2.90	ARENOARCILLOSO	ALTA
14	N74E	63SE	PLANA-RUGOSA	1.51	0.12	3.10	ARCILLOARENOSO	MEDIA-ALTA
15	N85E	81SE	ESCALONADA-RUGOSA	0.62	0.11	1.35	ARCILLOARENOSO	ALTA
16	N70E	82NW	ONDULADA-RUGOSA	0.57	0.005	1.70	SIN RELLENO	MEDIA
17	N67E	84SE	PLANA	0.59	CERRADA	1.74	SIN RELLENO	MEDIA
18	N77E	87SE	ESCALONADA	0.22	CERRADA	1.71	ARENOSO	BAJA
19	N85E	46NW	ONDULADA-RUGOSA	2.26	CERRADA	0.74	SIN RELLENO	MUY BAJA
20	N65E	69NW	ESCALONADA RUGOSA	2.20	0.01	0.72	ARENOSO	BAJA
21	N87W	80SW	ESCALONADA-RUGOSA	2.74	0.03	1.20	ARENOSO	SECA
22	N36W	84SW	ESCALONADA-LIZA	0.71	0.01	1.70	ARENOSO	SECA
23	N15W	66SW	ONDULADA	0.44	CERRADA	0.65	SIN RELLENO	BAJA

DIACLASA ORTOGONAL	RUMBO			BUZAMIENTO		
1-2	N25W			76NE		
2-3	N23W			70NE		
3-4	N35W			81NE		
4-5	N57W			90SE		
5-6	N30E	N28W		68NE	75SW	
6-7	N30W	N70E		71NE	66SE	
7-8	N80E			84SE		
8-9	N15W	N70W		72NE	76NE	
9-10	N20W	N32W		83NE	68NE	
10-11	N15W			70NE		
11-12	N14W			73NE		
12-13	N17W	N61E	N50W	75NE	80SE	80NE
13-14	N15W			77NE		
14-15	N24W			78NE		
15-16	N20W			76NE		
16-17	N25W			87NE		
17-18	N30W			81NE		
18-19	N15W			78NE		
19-20	N25W			77NE		
20-21	N30W			68NE		
21-22	N45E			84SE		
22-23	N55E			76NE		

CANTERA SAN ANTONIO NORTE ZONA 2

D/ACLASA N°	RUMBO	BUZAMIENTO	FORMA	ESPACIAMIENTO(m)	ABERTURA(Cm)	CONTINUIDAD(m)	RELLENO	HUMEDAD
1	N85E	90SE	ESCALONADA-RUGOSA		7	2.70	SIN RELLENO	SECA
2	N10E	85SE	ESCALONADA-RUGOSA	2.60	4	2.90	ARENOSO	SECA
3	N12E	75NW	ESCALONADA-RUGOSA	1.40	3	3.00	SIN RELLENO	SECA
4	N15E	73NW	ESCALONADA-ONDULADA	1.70	2	1.70	ARENOSO	SECA
5	NS	79EW	ESCALONADA-ONDULADA	1.16	9	4.60	SIN RELLENO	SECA
6	N75E	90SE	ESCALONADA	0.63	1	2.68	SIN RELLENO	SECA
7	N10E	84SE	ESCALONADA	1.27	0.5	2.25	SIN RELLENO	SECA
8	N10W	82NE	ESCALONADA-ONDULADA	0.15	4	2.84	SIN RELLENO	SECA
9	N50W	80NE	ESCALONADA	1.20	5	2.97	SIN RELLENO	SECA
10	N63E	77NW	ONDULADA	1.20	17	2.88	SIN RELLENO	SECA
11	N20W	68NE	ESCALONADA	3.10	32	*5.70	SIN RELLENO	SECA
12	N23W N10W	75SW 76SW	ONDULADA	2.49	6.5	*5.70	GRAVA Y ARENA	SECA
13	N15E	50NW	ONDULADA	3.10	3	*5.70	ARENOSO	SECA
14	N70W	90NE	ONDULADA	4.40	11	*5.70	SIN RELLENO	SECA
15	N23W	83NE	ONDULADA	4.95	23	*5.70	SIN RELLENO	SECA
16	N25W	79SE	ESCALONADA	4.80	6	*5.70	SIN RELLENO	SECA
17	N5E	65NW	ESCALONADA	5.25	5	4.10	ARENOSO	SECA
18	N46E	75SE	ONDULADA	1.40	3	3.70	ARENOSO	SECA
19	N75E	74SE	PLANA	4.20	8	*5.70	SIN RELLENO	SECA
20	N79E	81SE	PLANA	1	2.5	*5.70	ARENOSO	SECA
21	N65E	78SE	PLANA	4.50	10	*5.70	ARENOSO	SECA
22	N68E	74NW	ESCALONADA	5.40	3	*5.70	SIN RELLENO	SECA
23	N50W	75NE	ESCALONADA	4	9	*5.70	SIN RELLENO	SECA
24	N75E	80SE	ESCALONADA	2.40	13	*5.70	SIN RELLENO	SECA
25	N25W	71NE	ESCALONADA	5.60	7	*5.70	SIN RELLENO	SECA
26	N34E	85SE	PLANA	3.90	6	*5.70	ARENA-LIMOSA	SECA
27	N34W	76NE	ONDULADA	1.90	3	*5.70	ARENA-LIMOSA	SECA
28	N26W	81NE	ESCALONADA	2.34	5	*5.70	ARENOSO	SECA
29	E-W	63N	ONDULADA	3.15	7.5	*5.70	ARENOSO	SECA
30	N69E	79SE	ONDULADA	3	0.5	*5.70	SIN RELLENO	SECA

DIACLASA ORTOGONA L	RUMBO			BUZAMIENTO		
1-2	N25W			90NE		
2-3	N25W		N80E	88NE		87SE
3-4	N45W			87NE		
4-5	N73W			85NE		
5-6	N70E			82SE		
6-7	N35W			74NE		
7-8	N31W		N75E	89NE		85SE
8-9	N20W		N85E	78NE		90SE
9-10	N63W		N85E	77NE		90NW
10-11	N75E			70SE		
11-12	N25W		N82E	80NE		84SE
12-13	N50W		N75E	86NE		74NW
13-14	N70W		N15E	82NE		68SE
14-15	N15E		N10W	78SE		88NE
15-16	N72W			90NE		
16-17	N65W		N83E	90NE		81NW
17-18	N30W			71NE		
18-19	N22W			65NE		
19-20	N15W			77NE		
20-21	N28W			74NE		
21-22	N40W	N70 E	N43W	73NE	79N W	76NE
22-23	N20W		N80E	73NE		72NW
23-24	N70E		N5W	81SE		78NE
24-25	N16W		EW	76NE		80N
25-26	N66E			78NW		
26-27	N7W		N85E	69SE		88SE
27-28	EW			90N		
28-29	EW		N26W	79N		71NE
29-30	N25W			42NE		

CANTERA TOCOGUA

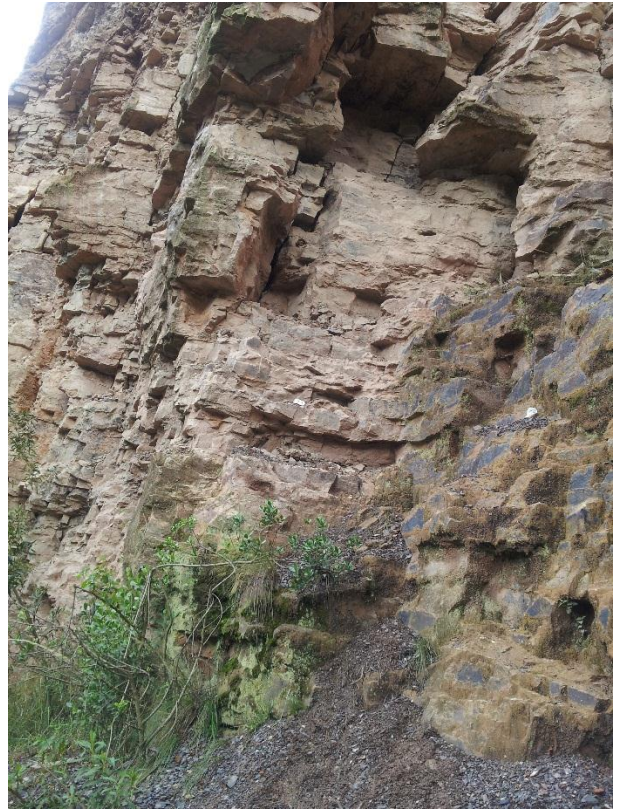
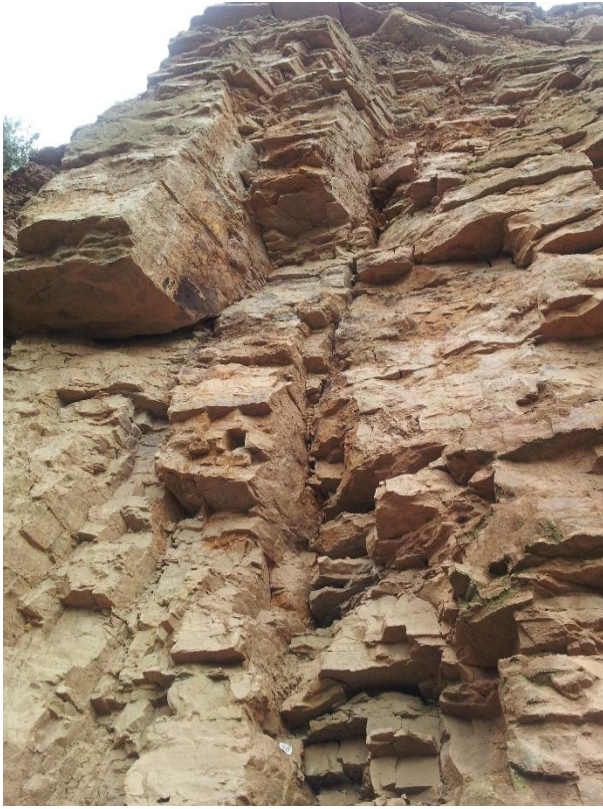
DIACLASA N°	RUMBO	BUZAMIENTO	FORMA	ESPACIAMIENTO(m)	ABERTURA(Cm)	CONTINUIDAD(m)	RELLENO	HUMEDAD
1	N3W	90SW	PLANA	-	CERRADA	4	SIN RELLENO	SECA
2	N6W	86SW	PLANA	1	CERRADA	4.30	SIN RELLENO	SECA
3	N25W	84SW	PLANA	1.98	CERRADA	5.10	SIN RELLENO	SECA
4	N50W	70SW	ESCALONADA	0.40	CERRADA	4.60	SIN RELLENO	SECA
5	N20W	90NE	PLANA	4.45	CERRADA	4.00	SIN RELLENO	SECA
6	N15E	81SE	ESCALONADA	1.60	CERRADA	5.00	SIN RELLENO	SECA
7	N40W	90SW	ESCALONADA	2.30	CERRADA	5.60	SIN RELLENO	SECA
8	N15W	74SW	ONDULADO	3.15	CERRADA	5.20	SIN RELLENO	SECA
9	E-W	85S	ESCALONADA LISA	1.74	CERRADA	6.50	SIN RELLENO	SECA
10	N-S	90E	PLANA LISA	1.54	CERRADA	5.2	SIN RELLENO	SECA
11	N10W	71NE	ESCALONADA LISA	2.27	CERRADA	4.20	SIN RELLENO	SECA
12	N12W	80NE	ESCALONADA LISA	3.65	3	3.70	SIN RELLENO	SECA
13	N5W	75NE	ESCALONADA LISA	3.60	CERRADA	5.10	SIN RELLENO	SECA
14	N10E	80SE	ESCALONADA LISA	3.70	CERRADA	4.20	SIN RELLENO	SECA
15	N55W	84SW	PLANA LISA	1	CERRADA	10	SIN RELLENO	SECA
16	N15W	81SW	PLANA LISA	6.70	CERRADA	2.50	SIN RELLENO	SECA
17	N-S	85E	PLANA LISA	3.13	CERRADA	2.40	SIN RELLENO	SECA
18	N-S	90E	ESCALONADA LISA	0.87	CERRADA	2.30	SIN RELLENO	SECA
19	N10W	74NE	ESCALONADA LISA	3.50	CERRADA	10.20	SIN RELLENO	SECA
20	N-S	64E	ESCALONADA LISA	2.50	CERRADA	12.50	SIN RELLENO	SECA
21	N20W	80SW	ESCALONADA LISA	2.10	CERRADA	12.10	SIN RELLENO	SECA
22	N-S	76E	ESCALONADA LISA	1.97	CERRADA	9,97	SIN RELLENO	SECA
23	N-S	83W	PLANA-LISA	1.80	CERRADA	9.00	SIN RELLENO	SECA
24	N10W	81NE	ESCALONADA-LISA	1.90	CERRADA	8.20	SIN RELLENO	SECA
25	N20W	65NE	PLANA-LISA	1.70	CERRADA	8.45	SIN RELLENO	SECA
26	N6W	70NE	ESCALONADA	3	CERRADA	9.04	SIN RELLENO	SECA
27	N14W	80NE	ESCALONADA	1.60	CERRADA	8.45	SIN RELLENO	SECA
28	N7E	84NW	PLANA	4.40	CERRADA	6.34	SIN RELLENO	SECA
29	N-S	75W	ESCALONADA	1.60	CERRADA	5.04	SIN RELLENO	SECA
30	N-S	80E	ESCALONADA-LISA	1.40	CERRADA	3.57	SIN RELLENO	SECA
31	N-S	78E	ESCALONADA	1.30	CERRADA	2.45	SIN RELLENO	SECA
32	N10E	72SE	ESCALONADA-LISA	2.70	CERRADA	4.45	SIN RELLENO	SECA
33	N-S	84W	ESCALONADA	0.43	CERRADA	3.95	SIN RELLENO	SECA
34	N20W	90SW	ESCALONADA	0.37	CERRADA	6.76	SIN RELLENO	SECA
35	N5W	84SW	ESCALONADA	0.31	CERRADA	7.45	SIN RELLENO	SECA
36	N5E	83NW	ESCALONADA	0.33	CERRADA	8.98	SIN RELLENO	SECA
37	N5E	85NW	ESCALONADA	0.67	CERRADA	7.45	SIN RELLENO	SECA
38	N-S	85E	ESCALONADA-LISA	0.40	CERRADA	4.68	SIN RELLENO	SECA
39	N5W	87SW	ESCALONADA-LISA	0.34	CERRADA	4.23	SIN RELLENO	SECA
40	N15W	90SW	PLANA-LISA	0.33	CERRADA	6.56	SIN RELLENO	SECA
41	N30W	81SW	PLANA-LISA	0.86	CERRADA	5.34	SIN RELLENO	SECA
42	N15W	81SW	PLANA-LISA	1.20	CERRADA	3.56	SIN RELLENO	SECA
43	N20W	90SW	PLANA-LISA	0.52	CERRADA	2.04	SIN RELLENO	SECA
44	N15W	82SW	PLANA-LISA	0.40	CERRADA	3.05	SIN RELLENO	SECA
45	N20W	85NE	PLANA-LISA	6.70	CERRADA	3	SIN RELLENO	SECA
46	N25E	89NW	ESCALONADA	3.10	CERRADA	6.10	SIN RELLENO	SECA
47	N10W	66NE	PLANA LISA	1.34	CERRADA	5.20	SIN RELLENO	SECA
48	N20W	67NE	PLANA LISA	1.04	CERRADA	4.20	SIN RELLENO	SECA
49	N15W	69NE	PLANA LISA	1.06	CERRADA	4.10	SIN RELLENO	SECA

DIACLASA ORTOGONAL	RUMBO	BUZAMIENTO
1-2	N75W	74SW
2-3	N85E	52SE
3-4	N75W	90NE
4-5	E-W	80S
5-6	N15W	81SW
6-7	N75W	75NE
7-8	E-W	84S
8-9	N10E	70SE
9-10	E-W	85N
10-11	E-W	52N
11-12	N65E	52SE
12-13	E-W	75N
13-14	N79E	85SE
14-15	E-W	85N
15-16	N85E	70NE
16-17	E-W	74N
17-18	N75E	90SE
18-19	N78E	75SE
19-20	N83E	73SE
20-21	E-W	62S
21-22	N80E	53SE
22-23	N85E	66SE
23-24	E-W	34S
24-25	N70W	65NE
25-26	N73E	72NW
26-27	N80E	81SE
27-28	N75E	72SE
28-29	N75E	55SE
29-30	E-W	84S
30-31	N70E	69NW
31-32	N50E	71NW
32-33	E-W	71S
33-34	E-W	49S
34-35	E-W	55S
35-36	E-W	60S
36-37	E-W	72S
37-38	N860E	84NW
39-39	E-W	66S
39-40	N65E	76NW
40-41	E-W	71S
41-42	E-W	88S
42-43	N79E	66SE
43-44	N70W	84SW
44-45	E-W	84S
45-46	N80W	99SW
46-47	E-W	65S
47-48	E-W	72S
48-49	E-W	78S

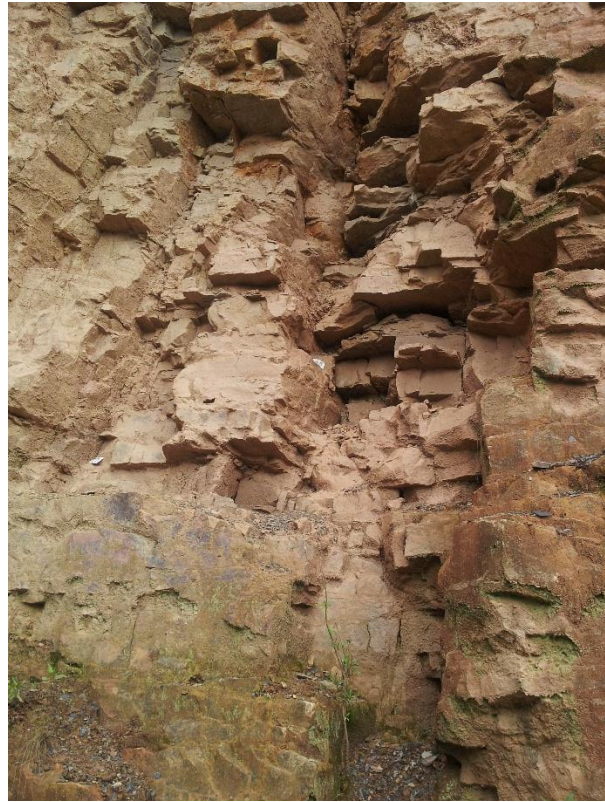
8.2. REGISTRO FOTOGRAFICO















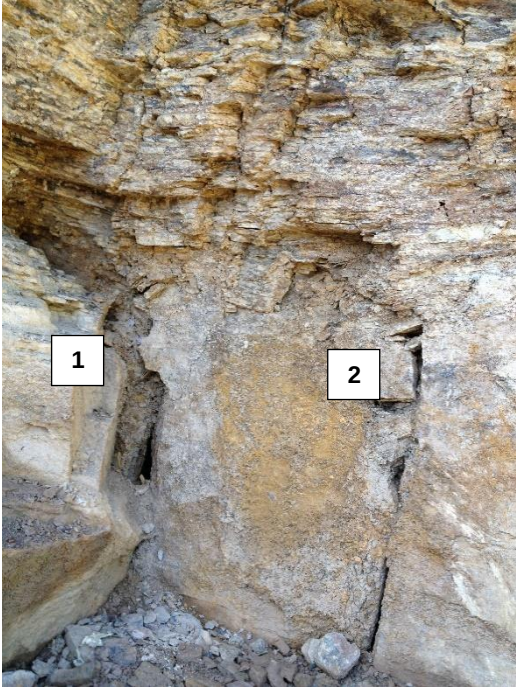


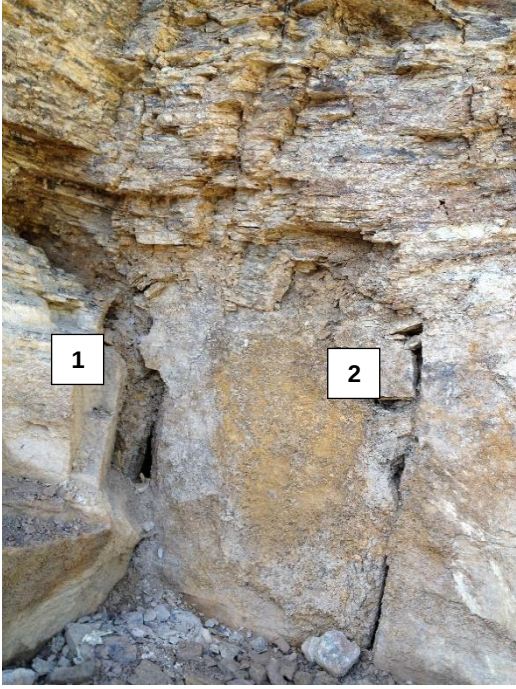


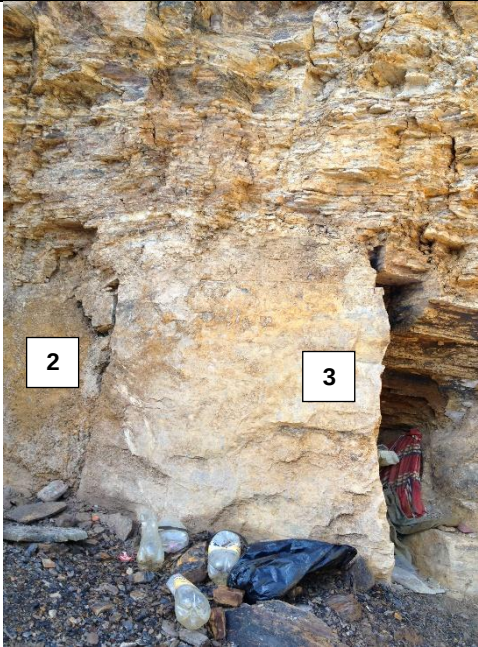


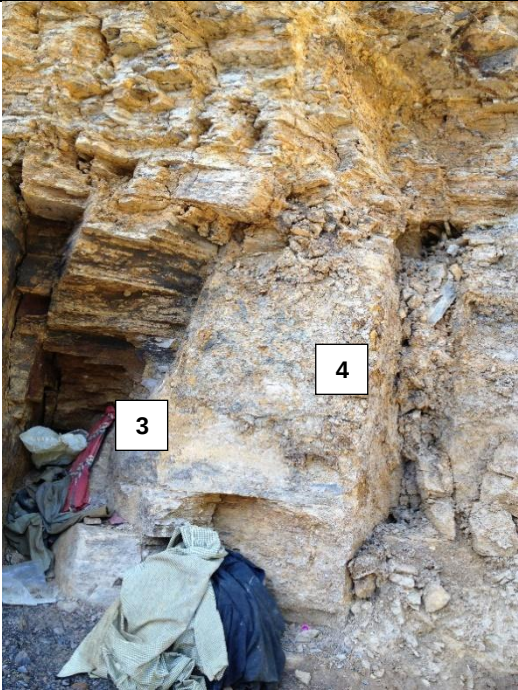


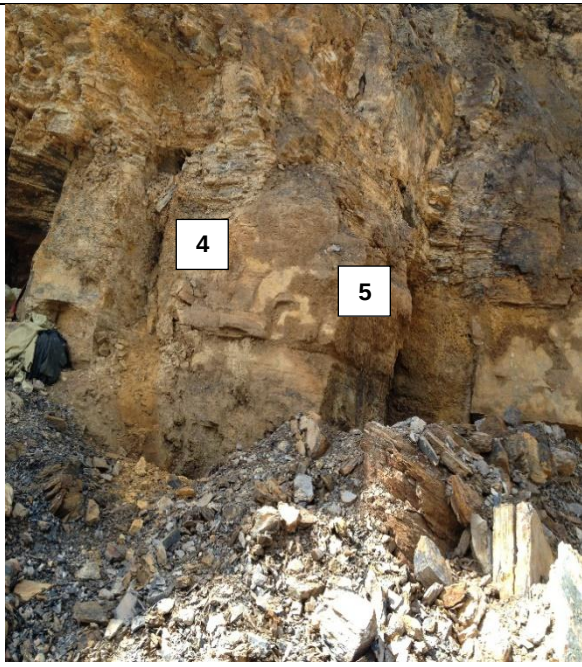
8.3. MEDICIONES EFECTUADAS EN LA CANTERA SAN ANTONIO NORTE

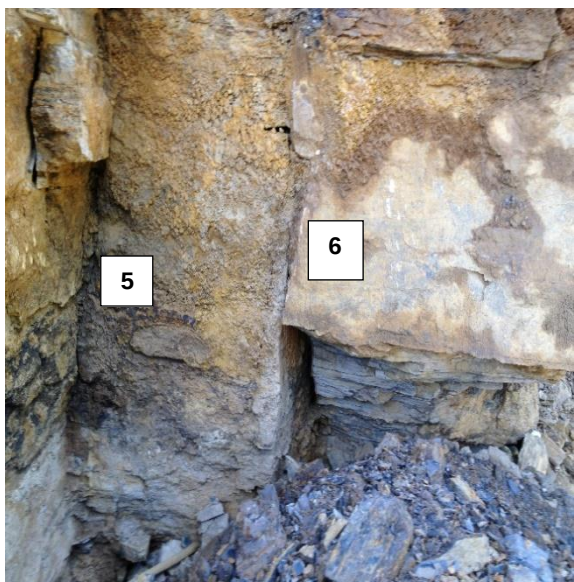
DIACLASA N°1		
	AZIMUT: 140	
	BUZAMIENTO: 85	
	FORMA: ESCALONADA-RUGOSA	
	ESPACIAMIENTO: 1m (600-2000mm-separado)	
	ABERTURA: 0.21 m (10-100cm-extremadamente ancha)	
	CONTINUIDAD: 1.10m(1-3 metros baja continuidad)	
	RELLENO: ARENOSO	
	HUMEDAD: MEDIA	

DIACLASA N°2		
	AZIMUT: 165	
	BUZAMIENTO: 83	
	FORMA: ESCALONADA-RUGOSA	
	ESPACIAMIENTO: 1m (600-2000mm-separado)	
	ABERTURA: 4.5 cm (1-10cm muy ancha)	
	CONTINUIDAD: 1.20 m (1-3 metros baja continuidad)	
	RELLENO: ARENOSO	
	HUMEDAD: PARCIALMENTE HUMEDO	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 1 Y 2	AZIMUT	BUZAMIENTO
	65	76

DIACLASA N°3		
	AZIMUT: 173	
	BUZAMIENTO: 69	
	FORMA: PLANA - RUGOSA	
	ESPACIAMIENTO: 1.51 m(600-2000mm-separado)	
	ABERTURA: 20 - 54 cm(10-100cm-extremadamente ancha)	
	CONTINUIDAD: 1.45 m(1-3 metros baja continuidad)	
	RELLENO: SIN RELLENO	
HUMEDAD: SECA		
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 2 Y 3	AZIMUT	BUZAMIENTO
	67	70

DIACLASA N°4		
	AZIMUT: 165	
	BUZAMIENTO: 85	
	FORMA: PLANA RUGOSA	
	ESPACIAMIENTO: 0,75 m (600-2000 mm) Separado	
	ABERTURA: 0,16 m (10-100cm) Extremadamente ancha	
	CONTINUIDAD: 2,85 m (1-3 m) Baja continuidad	
	RELLENO: ARENOSO	
HUMEDAD: SECA		
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 3 Y 4	AZIMUT	BUZAMIENTO
	55	81

DIACLASA N°5		
	AZIMUT: 145	
	BUZAMIENTO: 90	
	FORMA: PLANA RUGOSA	
	ESPACIAMIENTO: 3.20 m (2000-6000mm-muy separado)	
	ABERTURA: 0.055 (1-10cm muy ancha)	
	CONTINUIDAD: 2.53(1-3 metros baja continuidad)	
	RELLENO: ARENOSO	
HUMEDAD: MEDIA		
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 4 Y 5	AZIMUT	BUZAMIENTO
	N57W	90SE

DIACLASA N°6				
	AZIMUT: 135			
	BUZAMIENTO: 88			
	FORMA: PLANA RUGOSA			
	ESPACIAMIENTO: 1 m(600-2000mm-separado)			
	ABERTURA: 0.04 m(1-10cm muy ancha)			
	CONTINUIDAD: 7 m(3-10m continuidad media)			
	RELLENO: ARENOSO			
	HUMEDAD: BAJA			
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 5 Y 6				
AZIMUT		BUZAMIENTO		
120	242	68	75	

DIACLASA N°7			
	AZIMUT: 155		
	BUZAMIENTO: 73		
	FORMA: PLANA RUGOSA		
	ESPACIAMIENTO: 2.10 (2000-6000mm-muy separado)		
	ABERTURA: 0.08(1-10cm muy ancha)		
	CONTINUIDAD: 2.70(1-3 metros baja continuidad)		
	RELLENO: ARENOSO		
	HUMEDAD: SECA		
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 6 Y 7	AZIMUT		BUZAMIENTO
	60	160	71 66

DIACLASA N°8			
	AZIMUT: 95		
	BUZAMIENTO: 74		
	FORMA: ONDULADA-RUGOSA		
	ESPACIAMIENTO: 2.2 m (2000-6000mm-muy separado)		
	ABERTURA: 0.22 m (10-100cm-extremadamente ancha)		
	CONTINUIDAD: 1.80 m(1-3 metros baja continuidad)		
	RELLENO: ARENOSO		
	HUMEDAD: SECA		
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 7 Y 8	AZIMUT		BUZAMIENTO
	170		84

DIACLASA N°9				
	AZIMUT: 85			
	BUZAMIENTO: 90			
	FORMA: PLANA RUGOSA			
	ESPACIAMIENTO: 2.93 m (2000-6000mm-muy separado)			
	ABERTURA: 0.075 m (1-10cm muy ancha)			
	CONTINUIDAD: 2.7 m(1-3 metros baja continuidad)			
	RELLENO: ARENOSOARCILLOSO			
	HUMEDAD: MEDIA			
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 8 Y 9	AZIMUT		BUZAMIENTO	
	75	20	72	76

DIACLASA N°10				
	AZIMUT: 317			
	BUZAMIENTO: 81			
	FORMA: ESCALONADA-RUGOSA			
	ESPACIAMIENTO: 3.15 m (2000-6000mm-muy separado)			
	ABERTURA: 0.01 m(mayor de 10mm ancha)			
	CONTINUIDAD: : 1.80 m(1-3 metros baja continuidad)			
	RELLENO: ARENOSOARCILLOSO			
	HUMEDAD: ALTA			
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 9 Y 10	AZIMUT		BUZAMIENTO	
	70	58	83	68

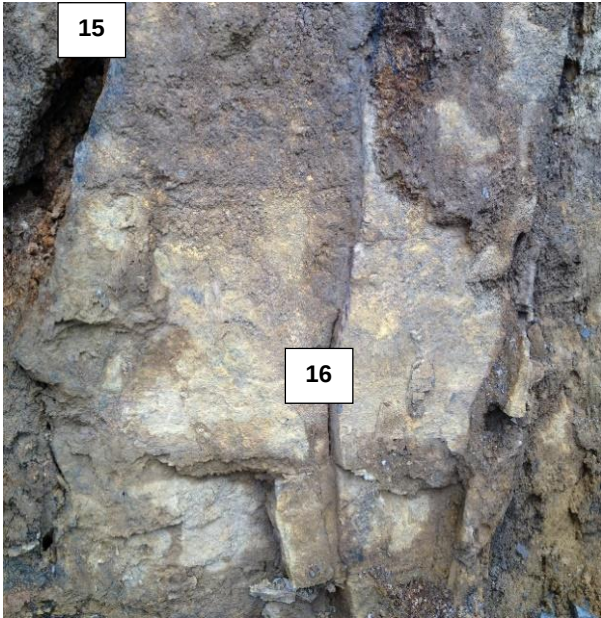
DIACLASA N°11		
	AZIMUT: 350	
	BUZAMIENTO: 71	
	FORMA: ONDULADA	
	ESPACIAMIENTO: 1.83 m (600-2000mm-separado)	
	ABERTURA: menor 0.1mm muy cerrada	
	CONTINUIDAD: : 2.7 m(1-3 metros baja continuidad)	
	RELLENO: SIN RELLENO	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 10 Y 11	HUMEDAD: MEDIA	
	AZIMUT	BUZAMIENTO
	75	70

DIACLASA N°12		
	AZIMUT: 345	
	BUZAMIENTO: 68	
	FORMA: ESCALONADA-RUGOSA	
	ESPACIAMIENTO: : 0.39 m(200-600 mm-moderadamente junto)	
	ABERTURA: 2,5mm (2.5-10mm moderadamente ancha)	
	CONTINUIDAD: 2.77 m (1-3 metros baja continuidad)	
	RELLENO: ARCILLOARENOSO	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 11 Y 12	HUMEDAD: MEDIA	
	AZIMUT	BUZAMIENTO
	76	73

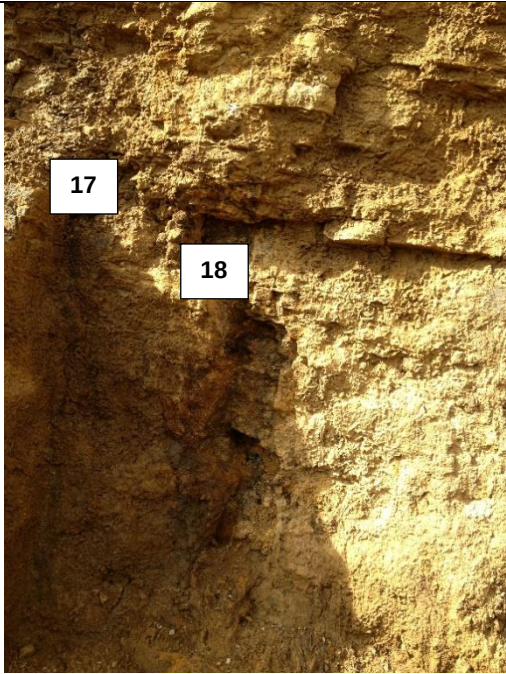
DIACLASA N°13						
	AZIMUT: 290					
	BUZAMIENTO: 78					
	FORMA: ESCALONADA-RUGOSA					
	ESPACIAMIENTO: 5.44 m (2000-6000mm-muy separado)					
	ABERTURA: 0.06 m (1-10cm muy ancha)					
	CONTINUIDAD: 2.90 m(1-3 metros baja continuidad)					
	RELLENO: ARCILLOARENOSO					
	HUMEDAD: ALTA					
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 12 Y 13				AZIMUT		
				73	151	40
				BUZAMIENTO		
				75	80	80

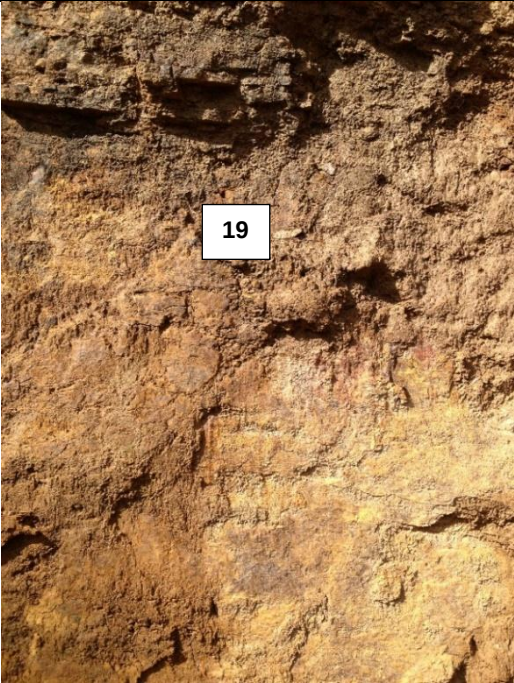
DIACLASA N°14							
	AZIMUT: 164						
	BUZAMIENTO: 63						
	FORMA: PLANA-RUGOSA						
	ESPACIAMIENTO: 1.51m (600-2000mm-separado)						
	ABERTURA 0.12m (10-100cm-extremadamente ancha)						
	CONTINUIDAD: : 3.10m(3-10m continuidad media)						
	RELLENO: ARCILLOARENOSO						
	HUMEDAD: MEDIA-ALTA						
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 13 Y 14				AZIMUT		BUZAMIENTO	
				75			77

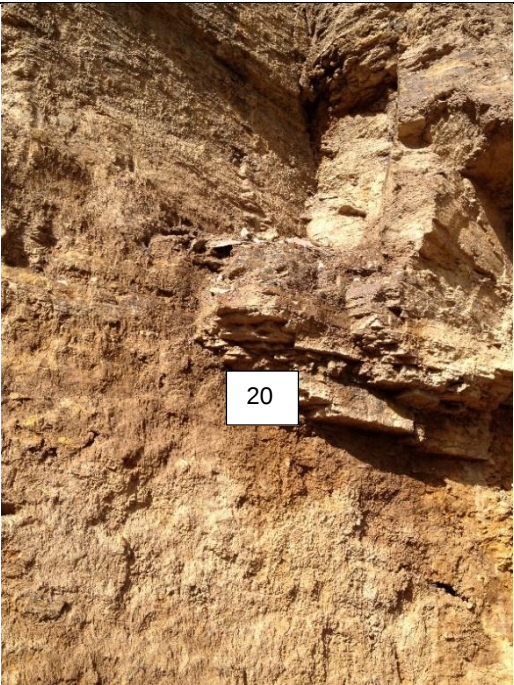
DIACLASA N°15		
	AZIMUT: 175	
	BUZAMIENTO: 81	
	FORMA: ESCALONADA-RUGOSA	
	ESPACIAMIENTO: : 0.62 m (600-2000mm-separado)	
	ABERTURA: 0.11 m (10-100cm-extremadamente ancha)	
	CONTINUIDAD: 1.35 m(1-3 metros baja continuidad)	
	RELLENO: ARCILLOARENOSO	
	HUMEDAD: ALTA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 14 Y 15	AZIMUT	BUZAMIENTO
	66	78

DIACLASA N°16		
	AZIMUT: 340	
	BUZAMIENTO: 82	
	FORMA: ONDULADA-RUGOSA	
	ESPACIAMIENTO: 0.57 m (200-600 mm-moderadamente junto)	
	ABERTURA: 0.005m (2.5-10mm moderadamente ancha)	
	CONTINUIDAD: 1.70 m (1-3 metros baja continuidad)	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: MEDIA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 15 Y 16	AZIMUT	BUZAMIENTO
	70	76

DIACLASA N°17		
	AZIMUT: 157	
	BUZAMIENTO: 84	
	FORMA: PLANA	
	ESPACIAMIENTO: 0.59 m (200-600 mm-moderadamente junto)	
	ABERTURA: 1mm (menor 2.5mm cerrada)	
	CONTINUIDAD: 1.74 m (1-3 metros baja continuidad)	
	RELLENO: SIN RELLENO	
HUMEDAD: MEDIA		
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 16 Y 17	AZIMUT	BUZAMIENTO
	65	87

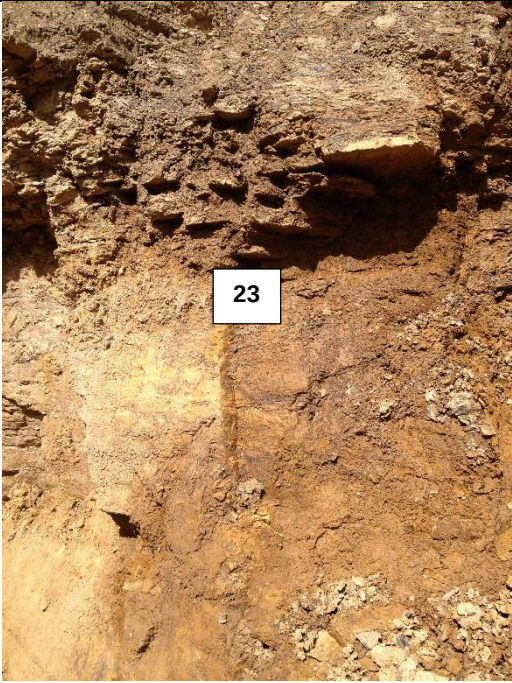
DIACLASA N°18		
	AZIMUT: 167	
	BUZAMIENTO: 87	
	FORMA: ESCALONADA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 0.22m (200-600 mm-moderadamente junto)	
	ABERTURA: 0.01m (1-10cm muy ancha)	
	CONTINUIDAD: 1.71m (1-3 metros baja continuidad)	
	RELLENO: ARENOSO	
HUMEDAD: BAJA		
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 17 Y 18	AZIMUT	BUZAMIENTO
	60	81

DIACLASA N°19		
	AZIMUT: 355	
	BUZAMIENTO: 46	
	FORMA: ONDULADA-RUGOSA	
	ESPACIAMIENTO: 2.26 m(2000-6000mm-muy separado)	
	ABERTURA: (menor 2.5mm CERRADA)	
	CONTINUIDAD: 0.74 m(menor de 1m-muy baja continuidad)	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 18 Y 19	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: MUY BAJA	
	AZIMUT	BUZAMIENTO
	75	78

DIACLASA N°20		
	AZIMUT: 335	
	BUZAMIENTO: 69	
	FORMA: ESCALONADA-RUGOSA	
	ESPACIAMIENTO: 2.20 m (2000-6000mm-muy separado)	
	ABERTURA: 0.01 m (1-10cm muy ancha)	
	CONTINUIDAD: 0.72 m(menor de 1m- muy baja continuidad)	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 19 Y 20	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: BAJA	
	AZIMUT	BUZAMIENTO
	65	77

DIACLASA N°21		
	AZIMUT: 183	
	BUZAMIENTO: 80	
	FORMA: ESCALONADA-RUGOSA	
	ESPACIAMIENTO: 2.74 m (2000-6000mm-muy separado)	
	ABERTURA: 0.03 m (1-10cm muy ancha)	
	CONTINUIDAD: 1.20 m (1-3 metros baja continuidad)	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 20 Y 21	RELLENO: ARENOSO	
	HUMEDAD: SECA	
	AZIMUT	BUZAMIENTO
	60	68

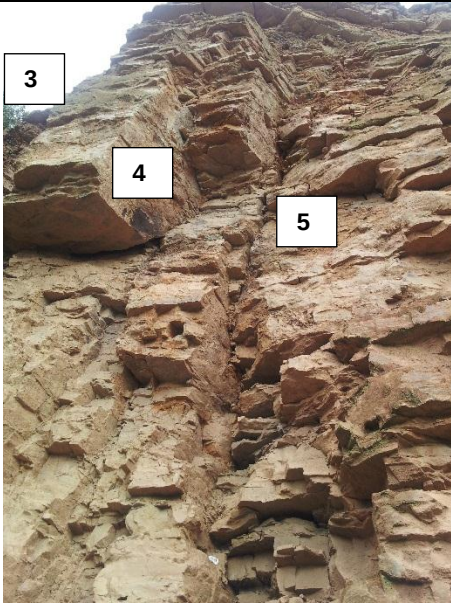
DIACLASA N°22		
	AZIMUT: 234	
	BUZAMIENTO: 84	
	FORMA: ESCALONADA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 0.71 m (600-2000mm-separado)	
	ABERTURA: 0.01 m (1-10cm muy ancha)	
	CONTINUIDAD: 1.70 m(1-3 metros baja continuidad)	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 21 Y 22	RELLENO: ARENOSO	
	HUMEDAD: SECA	
	AZIMUT	BUZAMIENTO
	135	84

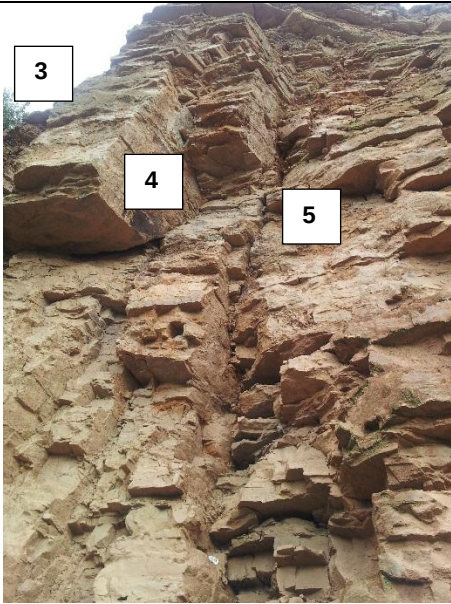
DIACLASA N°23		
	AZIMUT: 255	
	BUZAMIENTO: 66	
	FORMA: ESCALONADA-RUGOSA	
	ESPACIAMIENTO: 0.44 m (200-600 mm-moderadamente junto)	
	ABERTURA: menor de 2,5mm CERRADA	
	CONTINUIDAD: 0.65 m (menor de 1m-muy baja continuidad)	
	RELLENO: SIN RELLENO	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 21 Y 22	HUMEDAD: BAJA	
	AZIMUT	BUZAMIENTO
	145	76

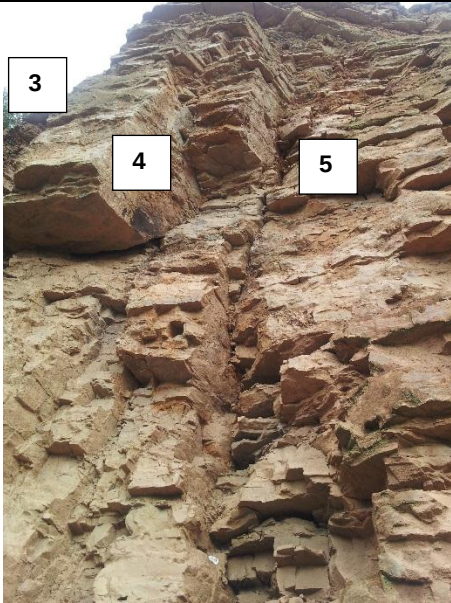
CANTERA SAN ANTONIO NORTE ZONA 2

DIACLASA N°1		
	AZIMUT: 175	
	BUZAMIENTO: 90	
	FORMA: ESCALONADA-RUGOSA	
	ESPACIAMIENTO: -	
	ABERTURA: 7 cm	
	CONTINUIDAD: 2.7 m(1-3 metros baja continuidad)	
	RELLENO: SIN RELLENO	
		HUMEDAD: SECA

DIACLASA N°2		
	AZIMUT: 100	
	BUZAMIENTO: 85	
	FORMA: ESCALONADA-RUGOSA	
	ESPACIAMIENTO: 2.6 m	
	ABERTURA: 4 cm	
	CONTINUIDAD: 2.9 m(1-3 metros baja continuidad)	
	RELLENO: ARENOSO	
		HUMEDAD: SECA
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 1 Y 2	AZIMUT	BUZAMIENTO
	65	90

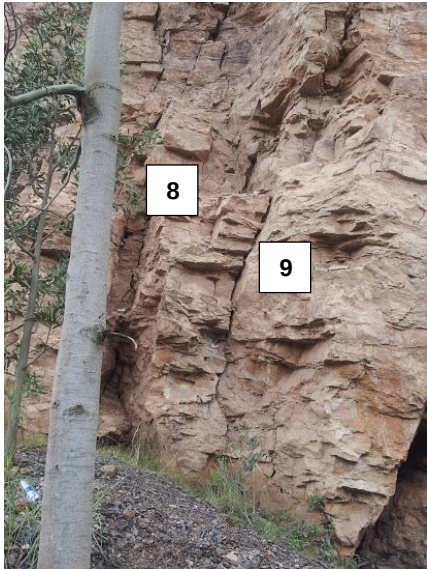
DIACLASA N°3				
	AZIMUT: 282			
	BUZAMIENTO: 75			
	FORMA: ESCALONADA-RUGOSA			
	ESPACIAMIENTO: 1.40 m			
	ABERTURA: 3 cm			
	CONTINUIDAD: 3m (1-3 metros baja continuidad.			
	RELLENO: SIN RELLENO			
	HUMEDAD: SECA			
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 2 Y 3	AZIMUT		BUZAMIENTO	
	65	170	88	87

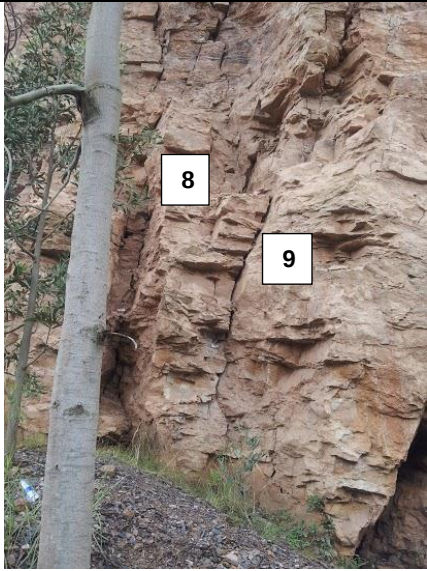
DIACLASA N°4				
	AZIMUT: 285			
	BUZAMIENTO: 73			
	FORMA: ESCALONADA-ONDULADA			
	ESPACIAMIENTO: 1.70 m			
	ABERTURA: 2 cm			
	CONTINUIDAD: 1.70 m(1-3 metros baja continuidad)			
	RELLENO: ARENOSO			
	HUMEDAD: SECA			
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 4 Y 5	AZIMUT		BUZAMIENTO	
	45		87	

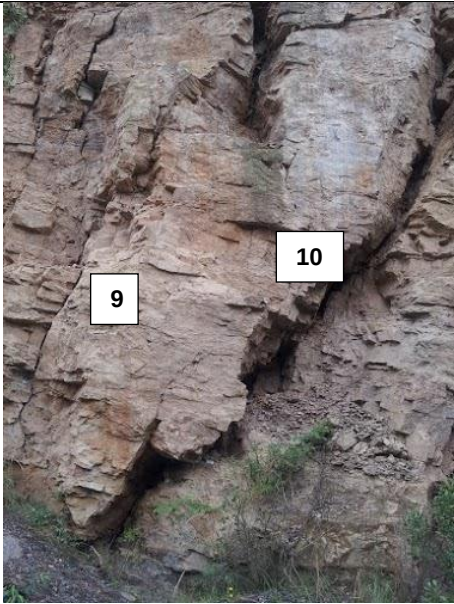
DIACLASA N°5		
	AZIMUT: N-S	
	BUZAMIENTO: 79	
	FORMA: ESCALONADA-ONDULADA	
	ESPACIAMIENTO: 1.16 m	
	ABERTURA: 9 cm	
	CONTINUIDAD: 4.6 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 4 Y 5	AZIMUT	BUZAMIENTO
	17	85

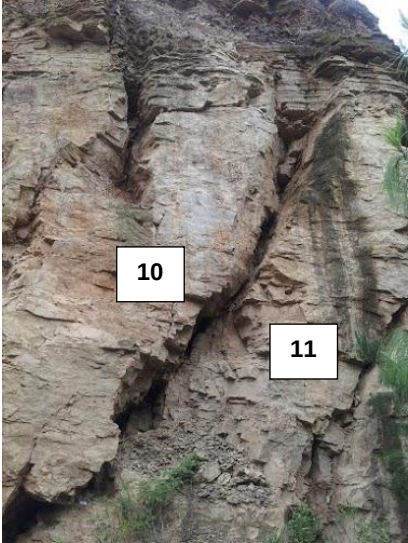
DIACLASA N°6		
	AZIMUT: 165	
	BUZAMIENTO: 90	
	FORMA: ESCALONADA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 0.63 m	
	ABERTURA: 1 cm	
	CONTINUIDAD: 2.68 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 5 Y 6	AZIMUT	BUZAMIENTO
	160	82

DIACLASA N°7			
	AZIMUT: 100		
	BUZAMIENTO: 84		
	FORMA: ESCALONADA-LISA		
	ESPACIAMIENTO: 1.27 m		
	ABERTURA: 0.5 cm		
	CONTINUIDAD: 2.25 m		
	RELLENO: SIN RELLENO		
	HUMEDAD: SECA		
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 6 Y 7		AZIMUT	BUZAMIENTO
		55	74

DIACLASA N°8			
	AZIMUT: 80		
	BUZAMIENTO: 82		
	FORMA: ESCALONADA-RUGOSA		
	ESPACIAMIENTO: 0.15 m		
	ABERTURA: 4 cm		
	CONTINUIDAD: 2.84 m (1-3 metros baja continuidad.		
	RELLENO: SIN RELLENO		
	HUMEDAD: SECA		
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 7 Y 8		AZIMUT	BUZAMIENTO
		59 165	89 85

DIACLASA N°9				
	AZIMUT: 40			
	BUZAMIENTO: 80			
	FORMA: ESCALONADA-RUGOSA			
	ESPACIAMIENTO: 1.20 m			
	ABERTURA: 5 cm			
	CONTINUIDAD: 2.97 m (1-3 metros baja continuidad.			
	RELLENO: SIN RELLENO			
	HUMEDAD: SECA			
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 8 Y 9		AZIMUT		BUZAMIENTO
		70	175	78 90

DIACLASA N°10				
	AZIMUT: 333			
	BUZAMIENTO: 77			
	FORMA: ONDULADA-RUGOSA			
	ESPACIAMIENTO: 1.20 m			
	ABERTURA: 17 cm			
	CONTINUIDAD: 2.88 m (1-3 metros baja continuidad.			
	RELLENO: SIN RELLENO			
	HUMEDAD: SECA			
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 9 Y 10		AZIMUT		BUZAMIENTO
		27	355	77 90

DIACLASA N°11			
	AZIMUT: 70		
	BUZAMIENTO: 68		
	FORMA: ESCALONADA		
	ESPACIAMIENTO: 3.10 m		
	ABERTURA: 32 cm		
	CONTINUIDAD: 5.70 m		
	RELLENO: SIN RELLENO		
	HUMEDAD: SECA		
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 10 Y 11	AZIMUT		BUZAMIENTO
	165		70

DIACLASA N°12			
	AZIMUT: 247-260		
	BUZAMIENTO: 75-76		
	FORMA: ESCALONADA-RUGOSA		
	ESPACIAMIENTO: 2.49 m		
	ABERTURA: 6.5 cm		
	CONTINUIDAD: 5.70 m (1-3 metros baja continuidad.		
	RELLENO: GRAVA Y ARENA		
	HUMEDAD: SECA		
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 11 Y 12	AZIMUT		BUZAMIENTO
	65	172	80 84

DIACLASA N°13			
	AZIMUT: 285		
	BUZAMIENTO: 50		
	FORMA: ONDULADA-RUGOSA		
	ESPACIAMIENTO: 3.10 m		
	ABERTURA: 3 cm		
	CONTINUIDAD: 5.70 m (1-3 metros baja continuidad.		
	RELLENO: ARENOSO		
	HUMEDAD: SECA		
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 12 Y 13	AZIMUT		BUZAMIENTO
	40	345	86 74

DIACLASA N°14			
	AZIMUT: 20		
	BUZAMIENTO: 90		
	FORMA: ONDULADA-RUGOSA		
	ESPACIAMIENTO: 4.40 m		
	ABERTURA: 11 cm		
	CONTINUIDAD: 5.70 m (1-3 metros baja continuidad.		
	RELLENO: ARENOSO		
	HUMEDAD: SECA		
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 13 Y 14	AZIMUT		BUZAMIENTO
	20	105	82 68

DIACLASA N°15				
	AZIMUT: 67			
	BUZAMIENTO: 83			
	FORMA: ONDULADA-RUGOSA			
	ESPACIAMIENTO: 4.95 m			
	ABERTURA: 23 cm			
	CONTINUIDAD: 5.70 m (1-3 metros baja continuidad.			
	RELLENO: SIN RELLENO			
	HUMEDAD: SECA			
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 14 Y 15	AZIMUT		BUZAMIENTO	
	105	80	78	88

DIACLASA N°16				
	AZIMUT: 345			
	BUZAMIENTO: 79			
	FORMA: ONDUALADA-RUGOSA			
	ESPACIAMIENTO: 4.80 m			
	ABERTURA: 6 cm			
	CONTINUIDAD: 5.70 m			
	RELLENO: SIN RELLENO			
	HUMEDAD: SECA			
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 15 Y 16	AZIMUT		BUZAMIENTO	
	288		90NE	

DIACLASA N°17				
	AZIMUT: 275			
	BUZAMIENTO: 65			
	FORMA: ESCALONADA-RUGOSA			
	ESPACIAMIENTO: 5.25 m			
	ABERTURA: 5 cm			
	CONTINUIDAD: 4.10 m (1-3 metros baja continuidad.			
	RELLENO: ARENOSO			
	HUMEDAD: SECA			
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 16 Y 17	AZIMUT		BUZAMIENTO	
	25	353	90	81

DIACLASA N°18				
	AZIMUT: 136			
	BUZAMIENTO: 75			
	FORMA: ONDULADA-RUGOSA			
	ESPACIAMIENTO: 1.40 m			
	ABERTURA: 3 cm			
	CONTINUIDAD: 3.70 m			
	RELLENO: ARENOSO			
	HUMEDAD: SECA			
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 17 Y 18	AZIMUT		BUZAMIENTO	
	60		71	

DIACLASA N°19		
	AZIMUT: 165	
	BUZAMIENTO: 74	
	FORMA: PLANA	
	ESPACIAMIENTO: 4.20 m	
	ABERTURA: 8 cm	
	CONTINUIDAD: 5.70 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 18 Y 19	AZIMUT	BUZAMIENTO
	68	65

DIACLASA N°20		
	AZIMUT: 169	
	BUZAMIENTO: 81	
	FORMA: PLANA-RUGOSA	
	ESPACIAMIENTO: 1.00 m	
	ABERTURA: 2.5 cm	
	CONTINUIDAD: 5.70 m	
	RELLENO: ARENOSO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 19 Y 20	AZIMUT	BUZAMIENTO
	75	77

DIACLASA N°21		
	AZIMUT: 155	
	BUZAMIENTO: 78	
	FORMA: PLANA	
	ESPACIAMIENTO: 4.50 m	
	ABERTURA: 10 cm	
	CONTINUIDAD: 5.70 m	
	RELLENO: ARENOSO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 20 Y 21	AZIMUT	BUZAMIENTO
	62	74

DIACLASA N°22						
	AZIMUT: 338					
	BUZAMIENTO: 74					
	FORMA: ESCALONADA-RUGOSA					
	ESPACIAMIENTO: 5.40 m (600-2000mm-separado)					
	ABERTURA: 3cm (10-100cm-extremadamente ancha)					
	CONTINUIDAD: 5.70m(3-10m continuidad media)					
	RELLENO: SIN RELLENO					
	HUMEDAD: SECA					
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 21 Y 22						
AZIMUT			BUZAMIENTO			
50	340	47	73	79	76	

DIACLASA N°23			
	AZIMUT: 40		
	BUZAMIENTO: 75		
	FORMA: ESCALONADA-RUGOSA		
	ESPACIAMIENTO: 4.00 m		
	ABERTURA: 9 cm		
	CONTINUIDAD: 5.70 m (1-3 metros baja continuidad.		
	RELLENO: SIN RELLENO		
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 22 Y 23	AZIMUT		BUZAMIENTO
	70	350	73
			72
HUMEDAD: SECA			

DIACLASA N°24			
	AZIMUT: 165		
	BUZAMIENTO: 80		
	FORMA: ESCALONADA-RUGOSA		
	ESPACIAMIENTO: 2.40 m		
	ABERTURA: 13 cm		
	CONTINUIDAD: 5.70 m (1-3 metros baja continuidad.		
	RELLENO: SIN RELLENO		
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 23 Y 24	AZIMUT		BUZAMIENTO
	160	85	81
			78
HUMEDAD: SECA			

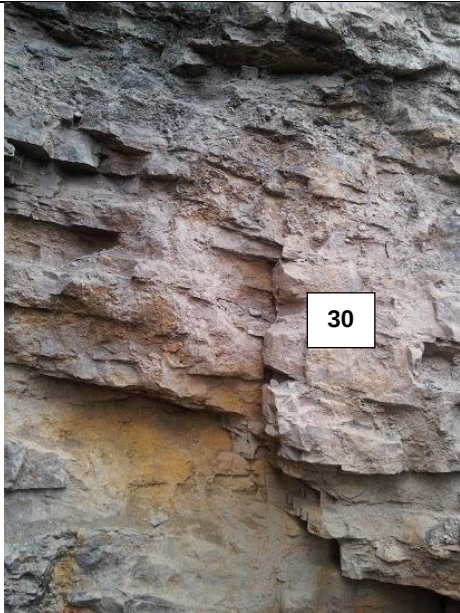
DIACLASA N°25				
	AZIMUT: 65			
	BUZAMIENTO: 71			
	FORMA: ESCALONADA-RUGOSA			
	ESPACIAMIENTO: 5.60 m			
	ABERTURA: 7 cm			
	CONTINUIDAD: 5.70 m (1-3 metros baja continuidad.			
	RELLENO: SIN RELLENO			
	HUMEDAD: SECA			
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 24 Y 25		AZIMUT		BUZAMIENTO
		74		76 80

DIACLASA N°26				
	AZIMUT: 124			
	BUZAMIENTO: 85			
	FORMA: PLANA			
	ESPACIAMIENTO: 3.90 m			
	ABERTURA: 6 cm			
	CONTINUIDAD: 5.70 m			
	RELLENO: ARENOSO-LIMOSA			
	HUMEDAD: SECA			
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 25 Y 26		AZIMUT		BUZAMIENTO
		336		78

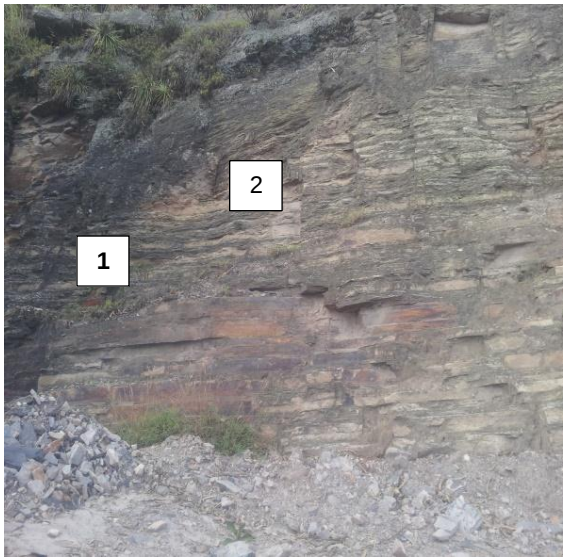
DIACLASA N°27			
	AZIMUT: 56		
	BUZAMIENTO: 76		
	FORMA: ONDULADA-RUGOSA		
	ESPACIAMIENTO: 1.90 m		
	ABERTURA: 3 cm		
	CONTINUIDAD: 5.70 m (1-3 metros baja continuidad.		
	RELLENO: ARENA-LIMOSA		
	HUMEDAD: SECA		
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 26 Y 27	AZIMUT		BUZAMIENTO
		175	69 88

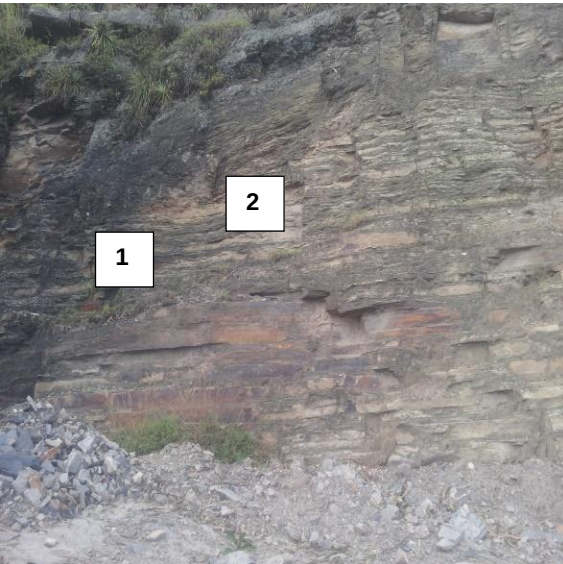
DIACLASA N°28			
	AZIMUT: 64		
	BUZAMIENTO: 81		
	FORMA: ESCALONADA		
	ESPACIAMIENTO: 2.34 m		
	ABERTURA: 5 cm		
	CONTINUIDAD: 5.70 m		
	RELLENO: ARENOSO		
	HUMEDAD: SECA		
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 27 Y 28	AZIMUT		BUZAMIENTO
		337	90

DIACLASA N°29			
	AZIMUT: 83		
	BUZAMIENTO: 69		
	FORMA: ONDULADA-RUGOSA		
	ESPACIAMIENTO: 3.15 m		
	ABERTURA: 7.5 cm		
	CONTINUIDAD: 5.70 m (1-3 metros baja continuidad.		
	RELLENO: ARENOSO		
	HUMEDAD: SECA		
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 28 Y 29	AZIMUT		BUZAMIENTO
		64	79 71

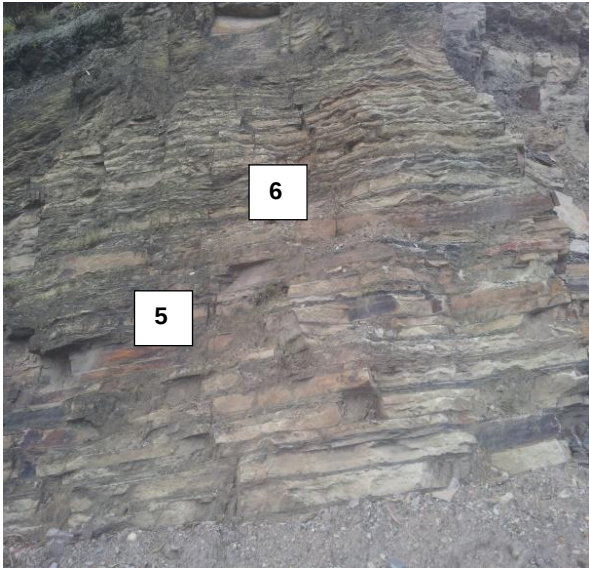
DIACLASA N°30			
	AZIMUT: 159		
	BUZAMIENTO: 79		
	FORMA: ONDULADA-RUGOSA		
	ESPACIAMIENTO: 3.00 m		
	ABERTURA: 0.5 cm		
	CONTINUIDAD: 5.70 m		
	RELLENO: SIN RELLENO		
	HUMEDAD: SECA		
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 27 Y 28	AZIMUT		BUZAMIENTO
		65	42

CANTERA TOCOGUA

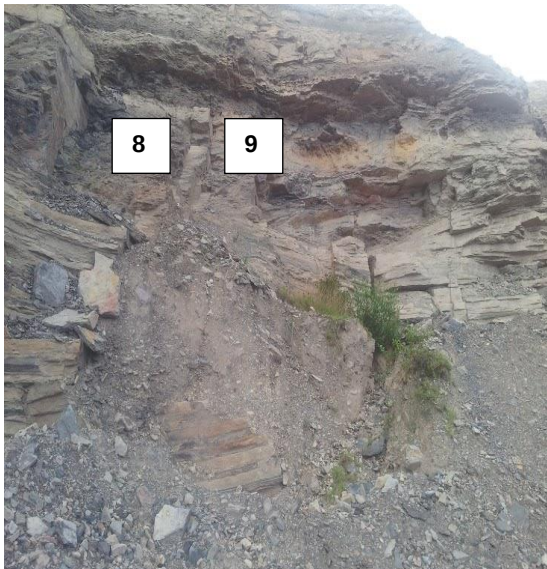
DIACLASA N°1		
	AZIMUT: 267	
	BUZAMIENTO: 90	
	FORMA: PLANA	
	ESPACIAMIENTO: -	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 4.00 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	

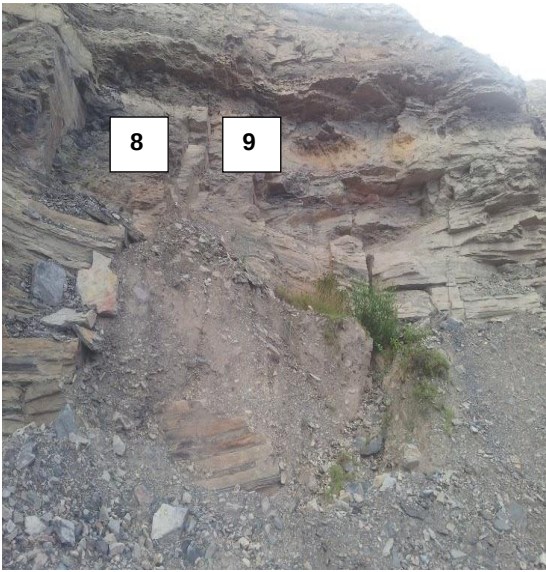
DIACLASA N°2		
	AZIMUT: 264	
	BUZAMIENTO: 86	
	FORMA: PLANA	
	ESPACIAMIENTO: 1.00 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 4.30 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 1 Y 2	AZIMUT	BUZAMIENTO
	195	75

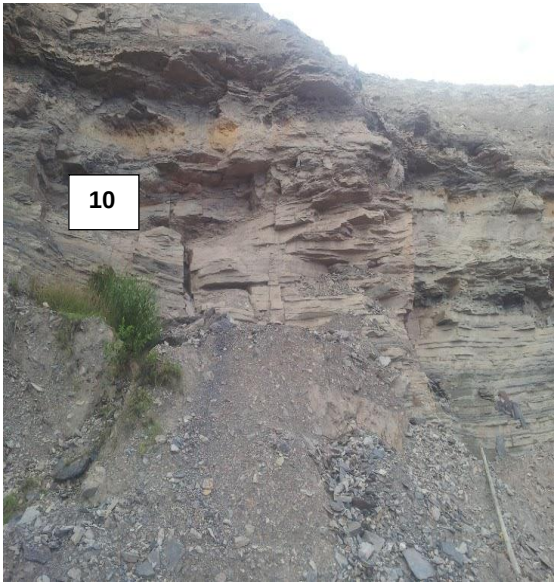
DIACLASA N°5		
	AZIMUT: 70	
	BUZAMIENTO: 90	
	FORMA: PLANA	
	ESPACIAMIENTO: 4.45 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 4.30 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 4 Y 5	AZIMUT	BUZAMIENTO
	195	75

DIACLASA N°6		
	AZIMUT: 105	
	BUZAMIENTO: 81	
	FORMA: ESCALONADA	
	ESPACIAMIENTO: 1.60 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 5.00 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 5 Y 6	AZIMUT	BUZAMIENTO
	255	81

DIACLASA N°7		
	AZIMUT: 230	
	BUZAMIENTO: 90	
	FORMA: ESCALONADA	
	ESPACIAMIENTO: 2.30 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 5.60 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 6 Y 7	AZIMUT	BUZAMIENTO
	15	75

DIACLASA N°8		
	AZIMUT: 255	
	BUZAMIENTO: 74	
	FORMA: ONDULADA-RUGOSA	
	ESPACIAMIENTO: 3.15 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 5.20 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 8 Y 9	AZIMUT	BUZAMIENTO
	195	75

DIACLASA N°9		
	AZIMUT:	
	BUZAMIENTO:	
	FORMA: ESCALONADA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 1.74 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 6.50 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 8 Y 9	AZIMUT	BUZAMIENTO
	100	70

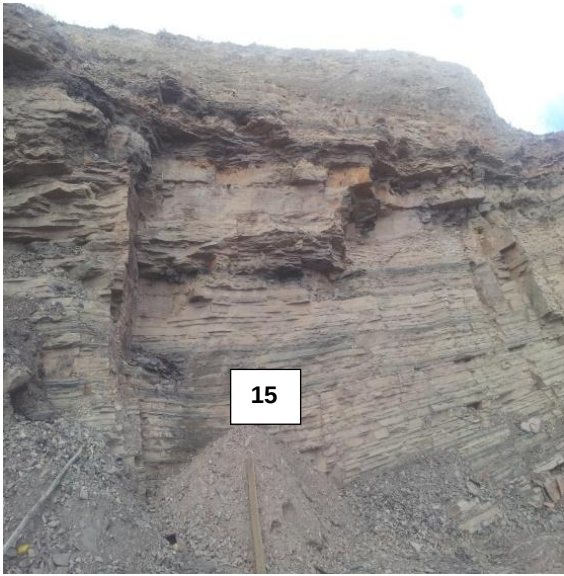
DIACLASA N°10		
	AZIMUT: N-S	
	BUZAMIENTO: 90	
	FORMA: PLANA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 1.54 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 5.2 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 9 Y 10	AZIMUT	BUZAMIENTO

DIACLASA N°11		
	AZIMUT: 80	
	BUZAMIENTO: 71	
	FORMA: ESCALONADA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 2.27 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 4.20 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 10 Y 11	AZIMUT	BUZAMIENTO

DIACLASA N°12		
	AZIMUT: 78	
	BUZAMIENTO: 80	
	FORMA: ESCALONADA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 3.65 m	
	ABERTURA: 0.10 m	
	CONTINUIDAD: 3.70 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 11 Y 12	AZIMUT	BUZAMIENTO
	155	52

DIACLASA N°13		
	AZIMUT: 85	
	BUZAMIENTO: 75	
	FORMA: ESCALONADA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 3.60 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 5.10 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 12 Y 13	AZIMUT	BUZAMIENTO

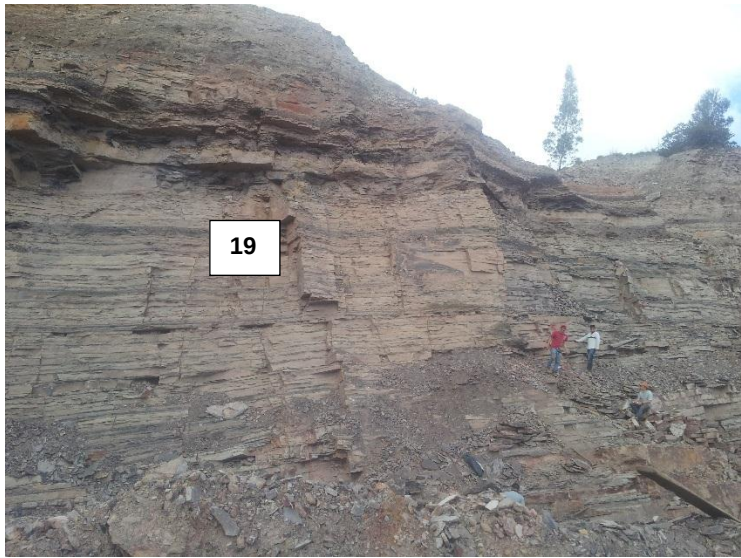
DIACLASA N°14		
	AZIMUT: 100	
	BUZAMIENTO: 80	
	FORMA: ESCALONADA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 3.70 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 4.20 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 13 Y 14	AZIMUT	BUZAMIENTO
	169	85

DIACLASA N°15		
	AZIMUT: 215	
	BUZAMIENTO: 84	
	FORMA: PLANA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 1.00 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 10.0 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 14 Y 15	AZIMUT	BUZAMIENTO

DIACLASA N°16		
	AZIMUT: 255	
	BUZAMIENTO: 81	
	FORMA: PLANA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 6.70 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 2.50 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 15 Y 16	AZIMUT	BUZAMIENTO
	175	70

DIACLASA N°17		
	AZIMUT: N-S	
	BUZAMIENTO: 85	
	FORMA: PLANA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 3.13 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 2.40 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 16 Y 17	AZIMUT	BUZAMIENTO

DIACLASA N°18		
	AZIMUT: N-S	
	BUZAMIENTO: 90	
	FORMA: ESCALONADA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 0.87 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 2.30 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 17 Y 18	AZIMUT	BUZAMIENTO
	165	90

DIACLASA N°19		
	AZIMUT: 80	
	BUZAMIENTO: 74	
	FORMA: ESCALONADA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 3.50 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 10.20 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 17 Y 18	AZIMUT	BUZAMIENTO
	168	75

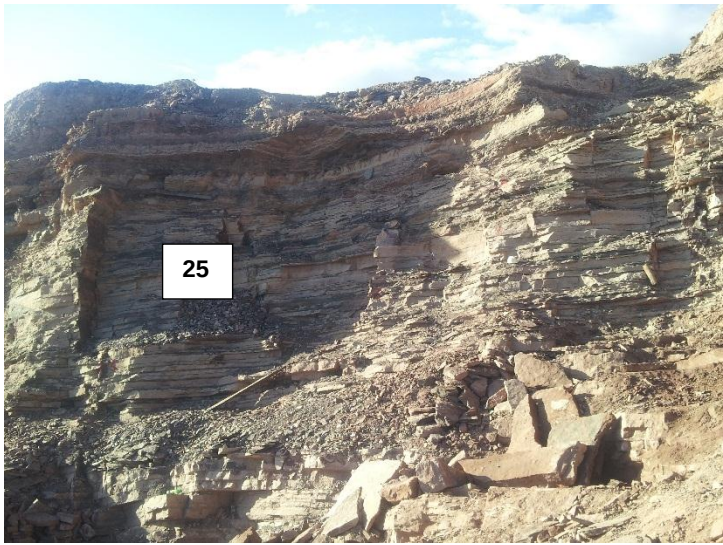
DIACLASA N°20		
	AZIMUT: N-S	
	BUZAMIENTO: 64	
	FORMA: ESCALONADA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 2.50 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 12.50 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 19 Y 20	AZIMUT	BUZAMIENTO
	173	73

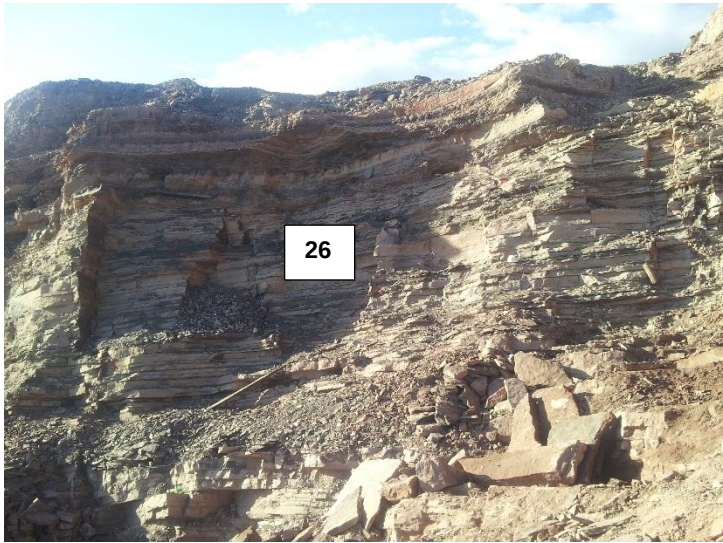
DIACLASA N°21		
	AZIMUT: 250	
	BUZAMIENTO: 80	
	FORMA: ESCALONADA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 2.10 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 12.10 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 20 Y 21	AZIMUT	BUZAMIENTO

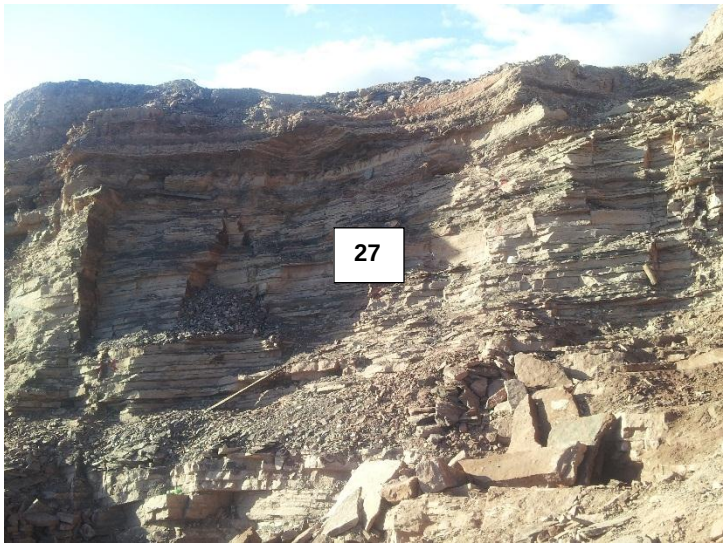
DIACLASA N°22		
	AZIMUT: N-S	
	BUZAMIENTO: 76	
	FORMA: ESCALONADA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 1.97 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 9.97 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 21 Y 22	AZIMUT	BUZAMIENTO
	170	53

DIACLASA N°23		
	AZIMUT: N-S	
	BUZAMIENTO: 83	
	FORMA: PLANA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 1.80 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 9.00 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 22 Y 23	AZIMUT	BUZAMIENTO
	175	66

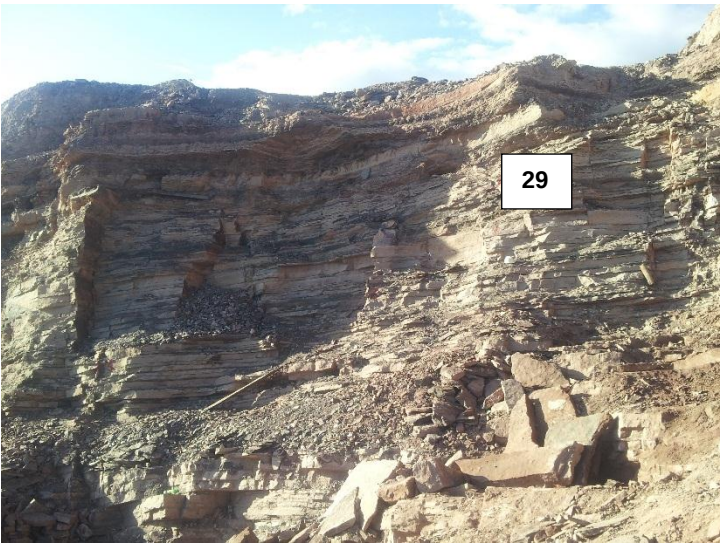
DIACLASA N°24		
	AZIMUT: 80	
	BUZAMIENTO: 81	
	FORMA: ESCALONADA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 1.90 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 8.20 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 23 Y 24	AZIMUT	BUZAMIENTO

DIACLASA N°25		
	AZIMUT: 70	
	BUZAMIENTO: 65	
	FORMA: PLANA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 1.70 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 8.45 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 24 Y 25	AZIMUT	BUZAMIENTO
	20	65

DIACLASA N°26		
	AZIMUT: 84	
	BUZAMIENTO: 70	
	FORMA: ESCALONADA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 3.00 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 9.04 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 25 Y 26	AZIMUT	BUZAMIENTO
	343	72

DIACLASA N°27		
	AZIMUT: 76	
	BUZAMIENTO: 80	
	FORMA: ESCALONADA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 1.60 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 8.45 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 26 Y 27	AZIMUT	BUZAMIENTO
	170	81

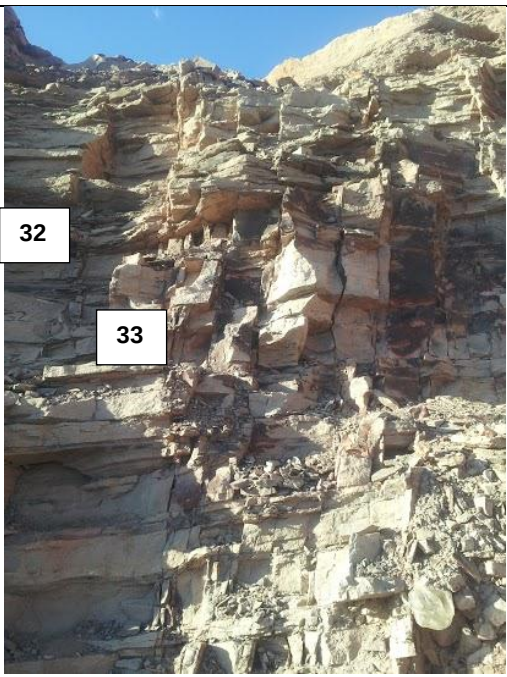
DIACLASA N°28		
	AZIMUT: 277	
	BUZAMIENTO: 84	
	FORMA: PLANA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 4.40 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 6.34 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 27 Y 28	AZIMUT	BUZAMIENTO
	165	72

DIACLASA N°29		
	AZIMUT: N-S	
	BUZAMIENTO: 75	
	FORMA: ESCALONADA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 0.40 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 1.60 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 28 Y 29	AZIMUT	BUZAMIENTO
	165	55

DIACLASA N°30		
	AZIMUT: N-S	
	BUZAMIENTO: 80	
	FORMA: ESCALONADA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 1.40 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 3.57 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 29 Y 30	AZIMUT	BUZAMIENTO

DIACLASA N°31		
	AZIMUT: N-S	
	BUZAMIENTO: 78	
	FORMA: ESCALONADA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 1.30 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 2.45 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 30 Y 31	AZIMUT	BUZAMIENTO
	340	69

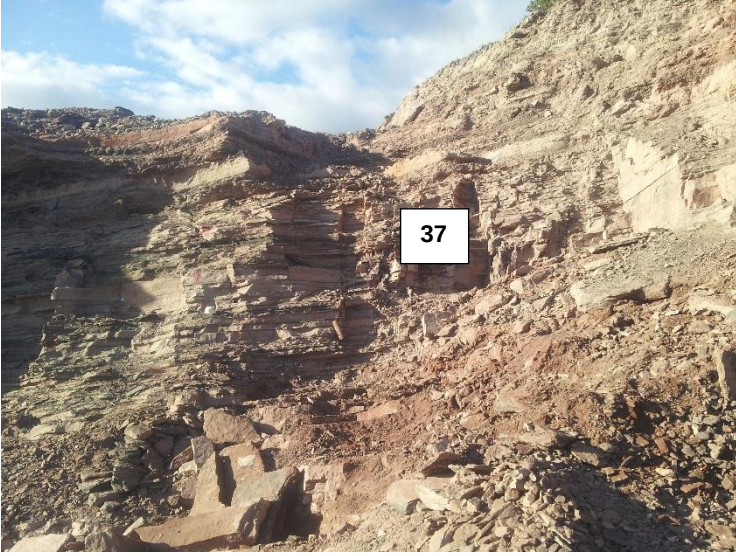
DIACLASA N°32		
	AZIMUT: 100	
	BUZAMIENTO: 72	
	FORMA: ESCALONADA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 2.70 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 4.45 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 31 Y 32	AZIMUT	BUZAMIENTO
	320	71

DIACLASA N°33		
	AZIMUT: N-S	
	BUZAMIENTO: 84	
	FORMA: ESCALONADA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 0.43 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 3.95 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 32 Y 33	AZIMUT	BUZAMIENTO

DIACLASA N°34		
	AZIMUT: 250	
	BUZAMIENTO: 90	
	FORMA: ESCALONADA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 0.37 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 6.76 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 33 Y 34	AZIMUT	BUZAMIENTO

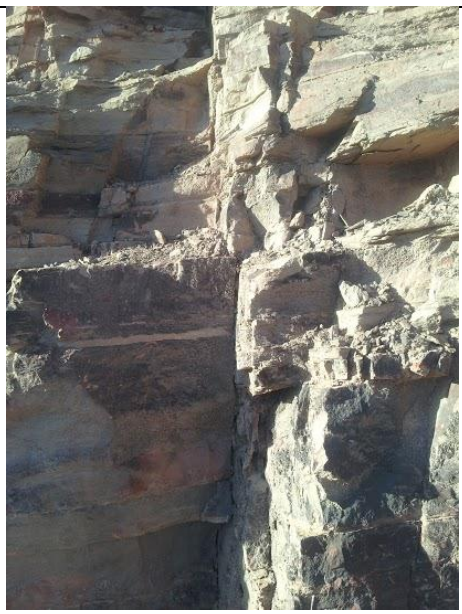
DIACLASA N°35		
	AZIMUT: 265	
	BUZAMIENTO: 84	
	FORMA: ESCALONADA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 0.31 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 7.45 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 34 Y 35	AZIMUT	BUZAMIENTO

DIACLASA N°36		
	AZIMUT: 275	
	BUZAMIENTO: 83	
	FORMA: ESCALONADA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 0.33 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 8.98 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 36 Y 37	AZIMUT	BUZAMIENTO

DIACLASA N°37		
	AZIMUT: 275	
	BUZAMIENTO: 85	
	FORMA: ESCALONADA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 0.67 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 7.45 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 36 Y 37	AZIMUT	BUZAMIENTO

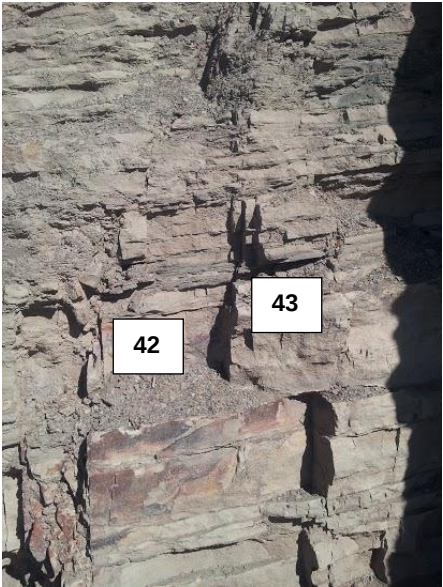
DIACLASA N°38		
	AZIMUT: N-S	
	BUZAMIENTO: 85	
	FORMA: ESCALONADA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 0.40 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 4.68 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 37 Y 38	AZIMUT	BUZAMIENTO
	356	84

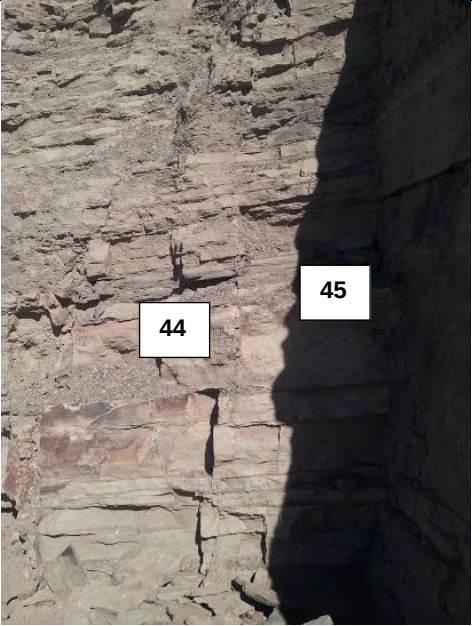
DIACLASA N°39		
	AZIMUT: 265	
	BUZAMIENTO: 87	
	FORMA: ESCALONADA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 0.34 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 4.23 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 37 Y 38	AZIMUT	BUZAMIENTO

DIACLASA N°40		
	AZIMUT: 255	
	BUZAMIENTO: 90	
	FORMA: PLANA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 0.33 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 6.56 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 39 Y 40	AZIMUT	BUZAMIENTO
	335	76

DIACLASA N°41		
	AZIMUT: 240	
	BUZAMIENTO: 81	
	FORMA: PLANA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 0.86 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 5.34 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 40 Y 41	AZIMUT	BUZAMIENTO

DIACLASA N°42		
	AZIMUT: 255	
	BUZAMIENTO: 81	
	FORMA: PLANA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 1.20 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 3.56 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 41 Y 42	AZIMUT	BUZAMIENTO
		90

DIACLASA N°43		
	AZIMUT: 250	
	BUZAMIENTO: 90	
	FORMA: PLANA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 0.52 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 2.04 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 41 Y 42	AZIMUT	BUZAMIENTO
	169	66

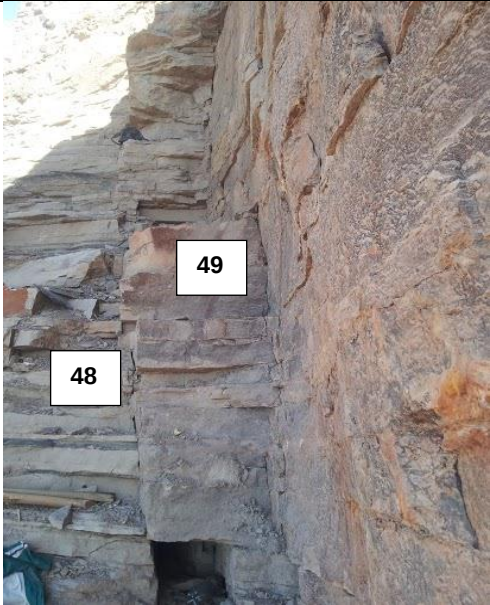
DIACLASA N°44		
	AZIMUT: 255	
	BUZAMIENTO: 82	
	FORMA: ESCALONADA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 0.40 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 3.05 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 43 Y 44	AZIMUT	BUZAMIENTO
	200	84

DIACLASA N°45		
	AZIMUT: 70	
	BUZAMIENTO: 85	
	FORMA: PLANA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 6.70 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 3.00 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 44 Y 45	AZIMUT	BUZAMIENTO
	15	90

DIACLASA N°46		
	AZIMUT: 295	
	BUZAMIENTO: 89	
	FORMA: ESCALONADA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 3.10 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 6.10 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 44 Y 45	AZIMUT	BUZAMIENTO
	190	90

DIACLASA N°47		
	AZIMUT: 80	
	BUZAMIENTO: 66	
	FORMA: PLANA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 1.34 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 5.20 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 46 Y 47	AZIMUT	BUZAMIENTO
	152	85

DIACLASA N°48		
	AZIMUT: 70	
	BUZAMIENTO: 67	
	FORMA: PLANA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 1.04 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 4.20 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 47 Y 48	AZIMUT	BUZAMIENTO
	140	85

DIACLASA N°49		
	AZIMUT: 75	
	BUZAMIENTO: 69	
	FORMA: PLANA-LISA	
	ESPACIAMIENTO: 1.06 m	
	ABERTURA: CERRADA	
	CONTINUIDAD: 4.10 m	
	RELLENO: SIN RELLENO	
	HUMEDAD: SECA	
DIACLASA ORTOGONAL ENTRE 48 Y 49	AZIMUT	BUZAMIENTO
	146	78