

Estudio estabilización del talud final de la Mina “Abásticos” ubicada en los municipios de  
Cáqueza y Chipaque departamento de Cundinamarca

Mauricio Vargas Forero

Trabajo de aplicación para optar al título de Magíster en Geotecnia

Director:

Wilfredo Del Toro Rodriguez

Magister en Geotecnia

Universidad Industrial De Santander

Facultad De Ingenierías Fisiomecánicas

Escuela De Ingeniería Civil

Maestría En Geotecnia

Bucaramanga

2022

### Agradecimientos

*El presente proyecto de grado, lo dedico principalmente a Dios, por darme fuerza y valor para continuar y culminar este proceso académico.*

*A mi madre, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años. Ha sido el orgullo y el privilegio de ser su hijo.*

*A todos los docentes que me acompañaron durante este proceso, especialmente a mi director de proyecto de grado Mgr. Wilfredo del Toro, quién con su orientación, paciencia, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.*

*A todos mis amigos y colegas que me ayudaron de manera desinteresada, gracias infinitas por toda su ayuda y buena voluntad.*

**Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	16
1. Definición del problema .....	17
2. Justificación .....	17
3. Objetivos .....	18
3.1 Objetivo General .....	18
3.2 Objetivos Específicos .....	18
4. Marco Referencial Teórico .....	19
4.1 Calidad del macizo rocoso .....	19
4.2 Propiedades mecánicas de las rocas .....	20
4.2.1 Caracterización del macizo rocoso. ....	21
4.2.2 Discontinuidades en macizos rocosos .....	23
4.3 Estabilidad del macizo .....	24
4.4 Rasgos estructurales .....	25
4.5 Métodos para la calificación geotécnica de macizos rocosos .....	25
4.6 Sistema de Bieniawski o calificación del macizo rocoso según el índice RMR (Bieniawski. 1973). ....	25
4.6 Sistema de Barton o calificación del macizo rocoso según el índice Q (Barton et al, 1974) .	31
4.6.1 Método de índice de resistencia geológica, GSI (Hoek 1994): .....	35
4.7 Modelamiento Numérica De Los Macizos Rocosos .....	37

4.7.1 Método de elementos finitos.....	38
5. Metodología aplicada al proyecto.....	39
6. Caracterización del proyecto.....	40
6.1 Descripción Proyecto.....	40
6.2 Localización de la Mina “Abásticos”.....	41
6.3 Topografía del sitio.....	42
6.4 Geología de la Zona.....	43
6.4.1 Geología General.....	43
6.4.2 Geología estructural.....	46
6.4.3 Geología Local.....	47
6.4.4 Geomorfología.....	48
6.5 Toma de información Geotécnica.....	50
6.5.1 Mapeo de los macizos rocosos y los estratos de la cantera.....	50
7. Análisis y Evaluación de la información.....	58
7.1 Evaluación del macizo rocoso.....	58
7.2 Análisis de las discontinuidades.....	64
7.3 Parámetros Geotécnicos y Geomecánicas.....	75
7.4 Parámetros de los Macizos rocosos.....	77
7.5 Parámetros De Las Juntas o Discontinuidades De Los Macizos Rocosos.....	78
8. Modelación Del Talud.....	80
8.1 Modelación Talud Mina Abásticos.....	81
8.2 Diseño del Talud final.....	85
9. Recomendaciones.....	93

10. Conclusiones ..... 96

Referencias Bibliográficas ..... 99

Apéndices..... 101

## Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Tipo de fallas de un talud en roca.....	20
Figura 2. Tipos de discontinuidades .....	23
Figura 3. Calcular el índice RMR por la resistencia a la compresión simple.....	26
Figura 4. Parámetro por clasificación por resistencia de rocas.....	26
Figura 5. Calcular el índice RMR, para el parámetro R.Q.D.....	27
Figura 6. Para calcular el índice RMR, a partir del parámetro del espaciamiento de las discontinuidades.....	28
Figura 7. Espaciamiento de las juntas.....	28
Figura 8. Clasificación según las aberturas de las discontinuidades .....	29
Figura 9. Clasificación según la continuidad de las discontinuidades.....	29
Figura 10. Para obtener el rango RMR según el parámetro de la presencia del agua .....	29
Figura 11. Clasificación para la determinación de los buzamientos con respecto al efecto relativo con relación al eje de la obra.....	30
Figura 12. Calculo de R. Q. D. ....	31
Figura 13. Calculo de la familia de diaclasa $J_n$ .....	32
Figura 14. Rugosidad de las diaclasas $J_r$ . ....	32
Figura 15. Calculo de la alteración de la discontinuidad .....	33
Figura 16. Reducción de esfuerzos .....	34
Figura 17. Parámetro Agua en las diaclasas .....	35

Figura 18. Calculo del índice GSI.....	37
Figura 19. Planta de trituración.....	41
Figura 20. Localización de la mina.....	42
Figura 21. Plano topográfico y Distribución de la mina.....	43
Figura 22. Ubicación geológica de la Cantera Abasticos .....	46
Figura 23. Panorámica de la mina.....	49
Figura 24. Costado izquierdo de la mina, estratos .....	51
Figura 25. Centro frente N° 2, Estación 3.....	51
Figura 26. Costado derecho de la mina.....	52
Figura 27. Toma de información .....	54
Figura 28. Mapeo estación 1, Caracterización.....	55
Figura 29. Mapeo estación 2, Caracterización.....	56
Figura 30. Mapeo estación 3, Caracterización.....	57
Figura 31. Calculo de índice GSI.....	59
Figura 32. Tabla de Evaluación método índice Q, Estación 1 .....	60
Figura 33. Evaluación Método Índice Q, Estación 2 .....	61
Figura 34. Evaluación Método Índice Q, Estación 3 .....	61
Figura 35. Evaluación Método RMR, Estación 1 .....	62
Figura 36. Evaluación Método RMR, Estación 2.....	63
Figura 37. Evaluación Método RMR, Estacion3 .....	63
Figura 38. Análisis de familias predominantes, Estación 1 .....	65
Figura 39. Familias predominantes Estación 1 .....	65
Figura 40. Rosetas, Estación 1 .....	66

Figura 41. Familias predominantes, Estación 2 .....	67
Figura 42. Angulo de las familias, Estación 2 .....	67
Figura 43. Rosetas, Estación 2 .....	68
Figura 44. Familias predominantes, Estación 3 .....	69
Figura 45. Familias predominantes. Estación 3 .....	69
Figura 46. Roseta, Estación 3 .....	70
Figura 47. Espaciado de las discontinuidades.....	71
Figura 48. Continuidad .....	72
Figura 49. Abertura.....	72
Figura 50. Rugosidad .....	73
Figura 51. Rellenos .....	74
Figura 52. Espesor mm .....	74
Figura 53. Perfil de terreno, talud de estudio.....	75
Figura 54. Perfil del talud inicial .....	81
Figura 55. Deformación Total del Talud .....	82
Figura 56. Factor de seguridad, Talud inicial .....	84
Figura 57. Detalle de la geometría del talud en roca (West Virginia U.S.A) .....	86
Figura 58. Modelo, desplazamiento total, talud con una inclinación de 70°.....	88
Figura 59. Modelo. Factor de seguridad, Talud inclinación 70° .....	88
Figura 60. Valores de Factor de seguridad del modelo con ángulo de inclinación variable. ....	89
Figura 61. Promedio del Factor de Seguridad Vs. Ángulo de Inclinación .....	90
Figura 62. Factor de seguridad, inclinación del talud 63° .....	91
Figura 63. Diseño del talud final de la mina Abasticos .....	93

---

Figura 64. Ejemplo, sistema para establecer barreras vivas con fajinas.....	94
Figura 65. Cuenta de coronación .....	95
Figura 66. Trincheras y gaviones.....	95

## Lista de Tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Estimación del índice RMR (Bieniawski.1973) .....	30
Tabla 2. Expresiones de $s$ y $\alpha$ , Índice GSI .....	36
Tabla 3. Descripción de las Estratos de la Cantera Abasticos .....	52
Tabla 4. Tabla de resultado de la Evaluación Índice GSI.....	59
Tabla 5. Tabla de resultado de la Evaluación Índice Q .....	62
Tabla 6. Tabla de resultado de la Evaluación Índice RMR .....	64
Tabla 7. Clasificación del estrato de suelo.....	76
Tabla 8. Parámetros del estrato de suelo.....	76
Tabla 9. Parámetros de los estratos de roca .....	77
Tabla 10. Ecuaciones para el cálculo de los parámetros de las juntas o discontinuidades. ....	78
Tabla 11. Parámetros De La Juntas o Discontinuidades.....	79
Tabla 12. Datos de los factores de seguridad del talud inicial.....	85
Tabla 13. Criterios para el diseño de taludes en roca (West Virginia U.S.A) .....	86
Tabla 14. Parámetros de sísmicos.....	87
Tabla 15. Factores de Seguridad Mínimos Directos.....	87
Tabla 16. Valores del Factor de Seguridad para el talud final.....	91
Tabla 17. Cuadro comparativo del Factor de Seguridad del talud final con la NSR10.....	92

**Lista de Apéndices**

	<b>Pág.</b>
Apéndice A. Resultados de Laboratorio .....	101
Apéndice B. Resultados .....	114

## Resumen

**Título:** Estudio estabilización del talud final de la Mina “Abásticos” ubicada en los municipios de Cáqueza y Chipaque departamento de Cundinamarca\*

**Autor:** Mauricio Vargas Forero\*\*

**Palabras Clave:** (Talud, Macizo rocoso, Falla, Factor de seguridad, Pendiente)

### Descripción:

La cantera “Abásticos” esta ubicada a 26 kilómetros de la vía Bogotá – Villavicencio su sector de explotación son los materiales pétreos como son: el Rajón y triturado o grava para construcción. La explotación de la mina se realiza por medio de frentes de trabajo conformado taludes que van desde dos metros hasta 30 metros de altura. Para el análisis del talud actual se tiene en cuenta que la matriz predominante es el macizo rocoso, conjunto formado por matriz rocosa y por discontinuidades, con un carácter heterogéneo, comportamiento dis - continuo y normalmente anisótropo. Se hace la caracterización del macizo rocoso con el levantamiento de las discontinuidades, ensayos de rocas y suelo. Y con el levantamiento topográfico de la cantera se saca el perfil stratigráfico y el talud a estudiar. Se realiza un modelo del talud con las condiciones de la cantera, se hace el análisis con ayuda del software Phase2.0 V8.0 (Rocscience\*) dando como resultado para el estrato cuatro F.S.=0.54, estrato cinco F.S.=0.92 y para el estrato siete F.S.=0,82, las fallas más comunes son las de desprendimiento de rocas por volteo y cuña. Para encontrar la estabilidad del talud se hace varios modelos donde se varia la pendiente del talud (50°, 60°, 65°,

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad De Ingenierías Fisiomecánicas Escuela De Ingeniería Civil Maestría En Geotecnia Director: Wilfredo Del Toro Rodríguez Magister en Geotecnia

70°, 75° y 80°) con el fin de observar su comportamiento del macizo rocoso, el resultado obtenido es que la pendiente del talud es de 63° con unos factores de seguridad en el estrato 4 F.S.=1.80, estrato cinco F.S.=1.82 y el estrato siete FS= 1.86. Finalmente, el diseño del talud final quedo con la parte superior con una pendiente de 45° (capa de suelo) altura de seis metros y seis metros de banca, seguida con unos taludes de pendiente de 63°, 15 metros de altura y una banca de seis metros.

### Abstract

**Title:** Stabilization study of the final slope of the "Abásticos" Mine located in the municipalities of Cáqueza and Chipaque department of Cundinamarca\*

**Author:** Mauricio Vargas Forero\*\*

**Keywords:** (Slope, Rock Mass, Failure, Factor of Safety, Slope)

#### Description

The "Abásticos" quarry is located 26 kilometers from the Bogotá – Villavicencio highway. Its exploitation sector is stone materials such as: the Rajón and crushed or gravel for construction. The exploitation of the mine is carried out by means of work fronts formed by slopes that range from two meters to 30 meters in height. For the analysis of the current slope, it is considered that the predominant matrix is the rocky massif, a group formed by a rocky matrix and by discontinuities, with a heterogeneous character, discontinuous behavior and normally anisotropic. The characterization of the rock mass is made with the survey of discontinuities, rock and soil tests. And with the topographic survey of the quarry, the stratigraphic profile and the slope to be studied are obtained. A model of the slope is made with the conditions of the quarry, the analysis is made with the help of the software Phase2.0 V8.0 (Rocscience\*) giving as a result for the stratum four F.S.=0.54, stratum five F.S.=0.92 and for the stratum seven F.S.=0.82, the most common faults are rockfall and wedge faults. To find the stability of the slope, several models are made

---

\* Project of grade

\*\* Facultad De Ingenierías Fisiomecánicas Escuela De Ingeniería Civil Maestría En Geotecnia Director: Wilfredo Del Toro Rodríguez Magister en Geotecnia

where the slope of the slope is varied ( $50^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $65^\circ$ ,  $70^\circ$ ,  $75^\circ$  and  $80^\circ$ ) in order to observe its behavior of the rock mass, the result obtained is that the slope of the slope is  $63^\circ$  with safety factors in stratum 4 F.S.=1.80, stratum five F.S.=1.82 and stratum seven FS= 1.86. Finally, the design of the final slope was left with the upper part with a slope of  $45^\circ$  (soil layer) height of six meters and six meters of bench, followed by slopes with a slope of  $63^\circ$ , 15 meters high and a bench. six meters.

## Introducción

Los procedimientos utilizados para el análisis de estabilidad de taludes, asume que el suelo es continuo, homogéneo y uniforme. En macizos rocosos los deslizamientos se producen en sectores donde el material se desliza como bloques de roca, diferente a como se comporta un talud de suelo. En la actualidad existen métodos y software para el análisis de estabilidad de taludes en suelos, los cuales asumen superficies de falla circular, estos análisis están establecidos en la práctica de Ingeniería. Por otro lado, la estabilidad de taludes de roca no es tan simple, debido principalmente a la geometría, discontinuidades, tipo de roca etc., que influyen en las posibles fallas de deslizamiento del talud.

En este proyecto se estudia la estabilidad de talud en una mina a cielo abierto existente entre los municipios de Chipaque y Cáqueza. Primeramente, se realizará una descripción geológica de la zona donde se encuentra ubicada la mina, mediante la utilización de mapas e información geológica disponible. Luego se realiza el reconocimiento de campo y ensayos de laboratorio, con el que se busca determinar los valores como son los parámetros resistentes y propiedades de los tipos de rocas y suelo presentes en el lugar de estudio.

## 1. Definición del problema

La estabilidad de taludes de la mina actualmente en explotación, presenta una serie de problemas debido al cambio de propietarios y a los malos trabajos ejecutados en la mina, donde se observa actualmente que se tiene taludes muy pronunciados e inseguros.

Por lo anterior para el proyecto se busca solucionar *¿Cuál es el grado de estabilización del talud final de la mina “abásticos” ubicada en la ciudad de Cáqueza y Chipaque del departamento de Cundinamarca?*

## 2. Justificación

Lo que se busca con este estudio es optimizar y mejorar los taludes actuales de la mina haciéndola más confiable y segura al final de su vida útil de explotación. Para este fin es necesario realizar un modelamiento con el talud actual de la mina con ayuda de un software especializado que para este caso es Phase2 V8.0 (Rocscience), en este análisis es necesario tener en cuenta el macizo rocoso, las discontinuidades o juntas, las propiedades y parámetros del suelo y roca.

### 3. Objetivos

#### 3.1 Objetivo General

Realizar los análisis necesarios para garantizar la estabilidad general de la cantera a cielo abierto ABASTICOS, en el municipio de Cáqueza, Cundinamarca.

#### 3.2 Objetivos Específicos

Determinar la caracterización geológica del macizo rocoso y definir las características geomecánicas de los componentes del macizo rocoso.

Definir los modelos geotécnicos representativos del macizo y realizar los análisis de estabilidad mediante software especializado.

Dar las recomendaciones necesarias para mantener la estabilidad final de los taludes.

#### 4. Marco Referencial Teórico

El estudio de un macizo rocoso tiene como características el conjunto formado por la matriz rocosa, las discontinuidades, con un carácter heterogéneo, comportamiento discontinuo y normalmente anisotrópico. Para el análisis de las anteriores características se han desarrollado métodos que evalúan la calidad, resistencia, meteorización, estado y forma, del macizo rocoso.

##### 4.1 Calidad del macizo rocoso

Se considera que un suelo o roca es blando o duro, según su resistencia a la compresión esté en los siguientes rangos (Duque Escobar, 2017):

- Suelo blando menos de 4 Kg/cm<sup>2</sup>
- Suelo duro entre 4 - 10 Kg/cm<sup>2</sup>
- Roca blanda de 10 a 375 Kg/cm<sup>2</sup>
- Roca intermedia de 375 a 700 Kg/cm<sup>2</sup>
- Roca dura más de 700 Kg/cm<sup>2</sup>
- El concreto corriente es de sólo 210 Kg/cm<sup>2</sup>,

Las rocas blandas son aquellas que pueden fallar a través de material intacto a los niveles de esfuerzos existentes que se pueden dar en el área de influencia de una excavación, sin que tenga sentido un valor numérico para definir la resistencia de dichas rocas, máximo aún si se tiene en cuenta que los macizos de roca más dura pueden fallar y fallan en las excavaciones más profundas.

Experimentalmente se sabe que para las excavaciones el factor de seguridad es del orden de 5. Esto es, la presión hipostática  $P_z$  dividida por el esfuerzo de ruptura  $s_c$  debe ser superior a 0,2, inverso de 5 y límite por debajo del cual las rocas opuestamente fallarían.

Algunos autores consideran el límite entre roca blanda o dura la resistencia inconfiada de 375 Kg/cm<sup>2</sup>, e incluso 750 Kg/cm<sup>2</sup> o más, si los esfuerzos horizontales son mayores que los verticales, aunque las profundidades sean menores que las indicadas.

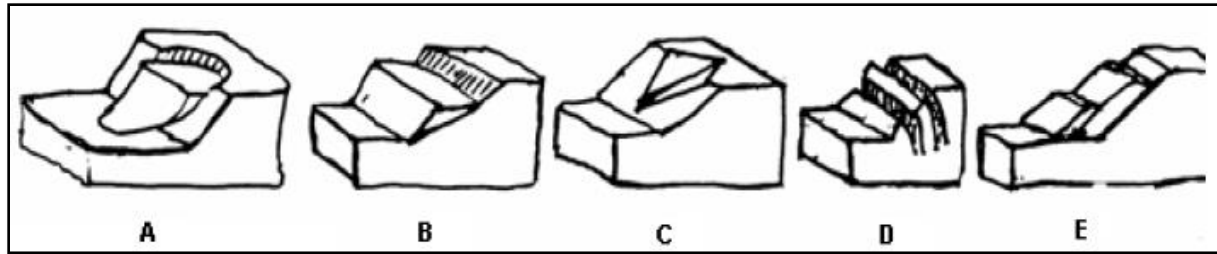
#### **4.2 Propiedades mecánicas de las rocas**

Se denominan rocas a los conjuntos de agregados mono o polis minerales que constituyen la litosfera y que presentan consolidados, cementados, aglomerados o de cualquier otra forma de modo que dan lugar a un material de cierta resistencia (Duque Escobar, 2017, pág. 309). Las rocas se han clasificado como: rocas ígneas, rocas ígneas plutónicas, rocas ígneas volcánicas, rocas sedimentarias y rocas metamórficas.

Los macizos de roca blanda están constituidos por materiales generalmente sedimentarios de grano fino, como arcillolitas, lodolitas, limolitas, tobas y margas, y también areniscas o conglomerados, pobremente cementadas, o por rocas metamórficas con orientación esquistosa desfavorable (filitas, esquistos), cuyo comportamiento geomecánica está controlado por la roca intacta y también por fracturas, diaclasas y fallas (Duque Escobar, 2017, pág. 310).

#### **Figura 1.**

*Tipo de fallas de un talud en roca*



*Nota:* Adaptado del curso de geología de Juna Montero, U. Nal (A.= Falla circular. B.= Falla planar. C.= Falla en cuña. D. Falla en volcamiento. E. Fallas por flexión y Fallas por pandeo Según Hoek and Bray, rock slope engineering.)

#### **4.2.1 Caracterización del macizo rocoso.**

Esta es una tarea de observación, mediciones y ensayos para obtener parámetros cuantitativos útiles al diseño ingenieril. Este proceso además se desarrolla a lo largo de todas las etapas del desarrollo del proyecto, 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 (Duque Escobar, 2017, pág. 311).

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.

En los taludes la altura condiciona el tipo de caracterización geotécnica, como también lo hace la resistencia de la roca intacta y la geometría de las discontinuidades. Si es relevante la resistencia al corte, la deformabilidad puede tener interés por la inducción de fracturas de tensión en la corona, donde el agua introducida genera situaciones de inestabilidad que no existían.

Las rocas como en la mayoría de los sólidos, pueden ser caracterizados mediante una serie de propiedades básicas, entre las cuales las más comunes son: densidad, humedad, porosidad, grado de saturación y permeabilidad.

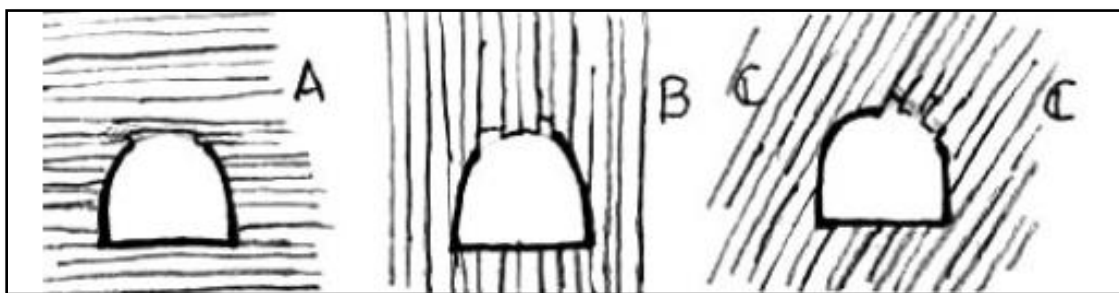
#### 4.2.2 Discontinuidades en macizos rocosos

Las discontinuidades están presentes en la roca y afectan la resistencia, permeabilidad y durabilidad de la masa. Es importante evaluar la geometría, naturaleza, estado y condición de las discontinuidades, porque ellas definen la fábrica estructural del macizo rocoso. Además de su génesis, la influencia en el comportamiento del macizo, exige evaluar la génesis de los rellenos, la cantidad de agua, las cicatrices y revestimientos en las paredes por materiales solubles, la abertura, rugosidad y persistencia de las discontinuidades, y el número de familias (Duque Escobar, 2017, pág. 312). Las discontinuidades pueden ser: Genéticas o primarias, Termoquímicas, Gravitacionales y Tectónicas y Sistema de diaclasas.

Una familia de diaclasas es un grupo de diaclasas con igual orientación y varias familias presentes en un macizo, intersecándose, se denominan sistema de diaclasas del macizo.

#### Figura 2.

##### *Tipos de discontinuidades*



*Nota:* Adaptado del curso de geología de Juna Montero, U. Nal. (A. Discontinuidades horizontales. B. discontinuidades verticales. C. Discontinuidades oblicuas.)

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 Escobar, 2017, pág. 314).

- **Parámetros de las discontinuidades.** Los parámetros de descripción de las discontinuidades son diez: Orientación, Espaciamiento, Persistencia, Rugosidad, Resistencia de las paredes de la discontinuidad, Abertura, Relleno, Flujo, Numero de familiar presentes y Tamaño de bloques. (Duque Escobar, 2017, págs. 314, 315):

#### **4.3 Estabilidad del macizo**

- **Estabilidad general.** En un macizo rocoso se evalúa el material rocoso, el sistema de diaclasas, las condiciones del agua y las condiciones de esfuerzos.

- **Estabilidad cinemática.** Para evaluar la estabilidad de un bloque rígido, previendo una falla de talud en un macizo rocoso, hay que averiguar rasgos geométricos para ver el tamaño, forma y disposición de bloques o cuñas de roca, recurriendo a un análisis de estabilidad o inestabilidad cinemática (Duque Escobar, 2017, págs. 317, 318).

#### 4.4 Rasgos estructurales

Planicies, montañas y mesetas en la superficie de la Tierra, muestran rasgos estructurales con características propias; esos rasgos son llamados pliegues, fracturas (fallas o diaclasas) y contactos (discordancias), además de los mantos de corrimiento (Duque Escobar, 2017, pág. 320).

- **Rumbo y buzamiento.** La disposición o geometría de un rasgo estructural se anuncia con dos parámetros: el rumbo o dirección y el buzamiento o echado.

#### 4.5 Métodos para la calificación geotécnica de macizos rocosos

Las tres calificaciones más utilizadas actualmente son: Bieniawski. 1973 (RMR), la de Barton, Lien y Lunde (Q) y la Hoek-Brown (GSI). Las dos primeras utilizan un parámetro, RQD (Rock Quality Designation), que constituye la base de la clasificación de Deere.

#### 4.6 Sistema de Bieniawski o calificación del macizo rocoso según el índice RMR (Bieniawski. 1973).

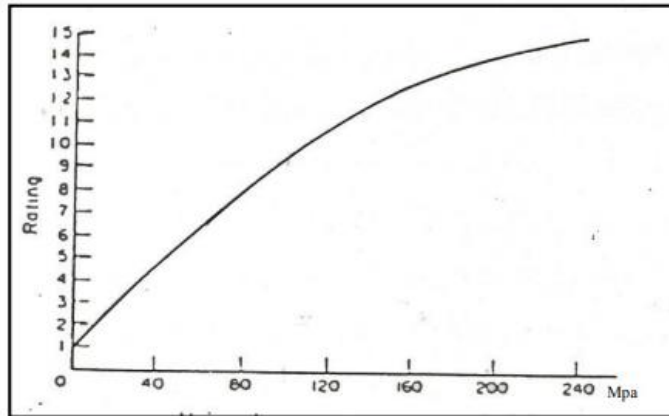
Para determinar la calidad del macizo rocoso, se divide en este en dominios estructurales, es decir, en zonas delimitadas por discontinuidades geológicas, dentro de cual la estructura es completamente homogénea. (Ramirez Oyanguren & Monge, 2004)

El índice RMR (Rock Mass Rating) que evalúa la calidad del macizo rocoso a partir de los siguientes pasos:

a. **Resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta:** En el anexo D10, se presenta una estimación de las resistencias medias de ciertas rocas según Bieniawski. 1973. (Ramirez Oyanguren & Monge, 2004)

### Figura 3.

Calcular el índice RMR por la resistencia a la compresión simple.



Nota. Clasificación de los macizos rocosos, pág. 9 (Bongiorno, 2000)

### Figura 4.

Parámetro por clasificación por resistencia de rocas

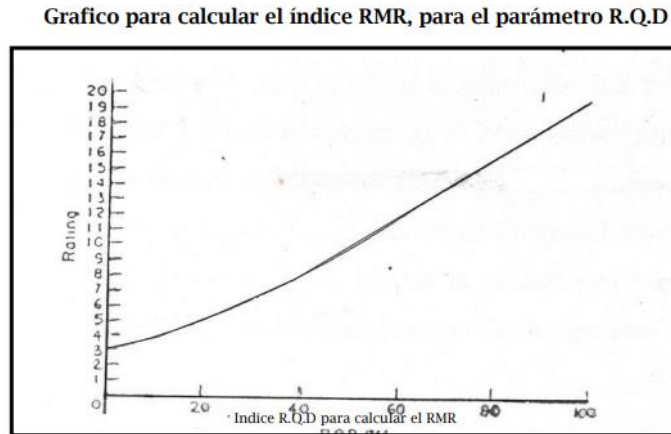
DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE ( Mpa)	ÍNDICE DE RESISTENCIA DE CARGA PUNTUAL (Mpa)
Muy alta	>200	>8
Alta	100 - 200	4 - 8
Media	50 - 100	2 - 4
Baja	25 - 50	1 - 2
Muy baja	10 -25 3 - 10 1 - 3	< 1

Nota: Clasificación de los macizos rocosos, pág. 9 (Bongiorno, 2000)

b. **Índice de calidad de la roca RQD:** se presenta la estimación del índice RQD. (Huamán Aparicio & Ardiles Velasco, 2017).

**Figura 5.**

*Calcular el índice RMR, para el parámetro R.Q.D.*

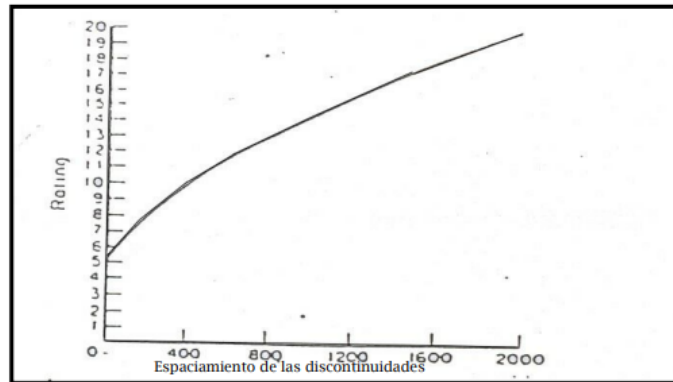


*Nota:* Clasificación de los macizos rocosos, pág. 10 (Bongiorno, 2000)

c. **Espaciamiento de las discontinuidades.:** a continuación, se presentan la estimación del espaciamiento entre estructuras. (Huamán Aparicio & Ardiles Velasco, 2017)

**Figura 6.**

Para calcular el índice RMR, a partir del parámetro del espaciamiento de las discontinuidades



Nota: Clasificación de los macizos rocosos, pág. 11 (Bongiorno, 2000)

**Figura 7.**

Espaciamiento de las juntas

Descripción	Espaciado de las Juntas	Tipo de macizo rocoso.
Muy ancho	> 3 mts.	Sólido
Ancho	1 - 3 mts.	Masivo
Moderadamente cerrado	0.3 - 1 mts.	En bloques
Cerrado	50 - 300 mm.	Fracturado
Muy cerrado	< 50 mm.	Machacado

Nota: Clasificación de los macizos rocosos, pág. 10 (Bongiorno, 2000)

d. **Condición de las discontinuidades.:** se presenta la estimación de la condición de las estructuras. (Huamán Aparicio & Ardiles Velasco, 2017)

**Figura 8.**

*Clasificación según las aberturas de las discontinuidades*

Grado	Descripción	Separación de las caras	Rango RMR
1	Abierta	> 5mm	0
2	Moderadamente abierta	1 - 5 mm	1
3	Cerrada	0.1 - 1 mm	4
4	Muy cerrada	< 0.1 mm	5
5	No tiene	0	6

*Nota:* Clasificación de los macizos rocosos, pág. 11 (Bongiorno, 2000)

**Figura 9.**

*Clasificación según la continuidad de las discontinuidades*

Grado	Descripción	Continuidad	Rango RMR
1	Muy pequeña	< 1 mts	6
2	Pequeña	1 - 3 mts.	4
3	Media	3 - 10 mts.	2
4	Alta	10 - 20 mts.	1
5	Muy alta	> 20 mts.	0

*Nota:* Clasificación de los macizos rocosos, pág. 12 (Bongiorno, 2000)

e. **Condición del agua subterránea.:** se presenta la estimación de la condición del agua subterránea. (Huamán Aparicio & Ardiles Velasco, 2017)

**Figura 10.**

*Para obtener el rango RMR según el parámetro de la presencia del agua*

Grado	Descripción	Rango RMR
1	Completamente seco	15
2	Semi humedo	10
3	humedo	7
4	Mojado	4
5	Fujo de agua	0

*Nota:* Clasificación de los macizos rocosos, pág. 13 (Bongiorno, 2000)

f. **Orientación de las discontinuidades.**: se presenta la estimación del ajuste de orientación de las estructuras. (Huamán Aparicio & Ardiles Velasco, 2017)

**Figura 11.**

*Clasificación para la determinación de los buzamientos con respecto al efecto relativo con relación al eje de la obra*

Rumbo Perpendicular al Eje de la obra				Rumbo Paralelo al Eje de la obra		Buzamiento 0 -20° Independiente del Rumbo.
Dirección según buzamiento		Dirección contra buzamiento		Buzam	Buzam	
Buzam 45° - 90°	Buzam 20° - 45°	Buzam 45° - 90°	Buzam 20° - 45°			
Muy favorable	favorable	regular	desfavorable	Muy desfavorable	Regular	desfavorable

*Nota:* Clasificación de los macizos rocosos, pág. 13 (Bongiorno, 2000)

Una vez realizada la estimación del índice RMR, Bieniawski clasifica la roca en 5 categorías, descritas en la siguiente tabla.

**Tabla 1.**

*Estimación del índice RMR (Bieniawski.1973)*

Rock Mass Rating (RMR)					
CATEGORIA	Muy Pobre	Pobre	Regular	Bueno	Excelente
Rango - RMR	0-20	>20-40	>40-60	>60-80	>80-100

*Nota:* Clasificación de los macizos rocosos, pág. 14 (Bongiorno, 2000)

#### 4.6 Sistema de Barton o calificación del macizo rocoso según el índice Q (Barton et al, 1974)

El sistema Q es un sistema de clasificación del macizo rocoso con respecto a la estabilidad de excavaciones subterráneas para brindar una descripción de la calidad del macizo rocoso. El índice Q se basa en seis parámetros independientes y expresa la función Q como función de estos parámetros. (Huamán Aparicio & Ardiles Velasco, 2017)

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

RQD= Índice de calidad de la roca.

#### Figura 12.

*Calculo de R. Q. D.*

<i>Descripción de la calidad del macizo rocoso</i>	<i>R . Q . D . %</i>	<i>Observaciones.</i>
Muy mala	0-25	Para R.Q.D < 10 se puede tomar R.Q.D.= 10 en la ecuación de Q.
Mala	25-50	
Mediana	50-75	
Buena	75-90	
Excelente	90-100	

*Nota:* Clasificación de los macizos rocosos, pág. 3 (Bongiorno, 2000)

J<sub>n</sub>= Parámetro basado en el número de familias de discontinuidad.

**Figura 13.***Calculo de la familia de diaclasa Jn*

<i>Descripción</i>	<b>Jn</b>
Roca masiva	0.5-1
Una familia de diaclasas.	2
Una familia de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales.	3
Dos familias de diaclasas.	4
Dos familias de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales	6
Tres Familias.	9
Tres familias de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales.	12
Cuatro o más familias de Diaclasas, roca muy fracturada.	15
Roca triturada terrosa.	20
En boquillas, se utiliza 2 Jun y en Túneles 3 Jun	

*Nota:* Clasificación de los macizos rocosos, pág. 3 (Bongiorno, 2000)

Jr= Parámetro basado en la rugosidad de discontinuidad.

**Figura 14.***Rugosidad de las diaclasas Jr.*

❖ Contacto entre las 2 caras de las diaclasas con poco desplazamiento lateral de menos de 10 cm.	<b>Jn</b>
▪ Juntas discontinuas.	4
▪ Juntas Rugosa o irregular ondulada.	3
▪ Suave ondulada.	2
▪ Espejo de falla, ondulada,	1.5
▪ Rugosa o irregular, plana.	1.5
▪ Suave plana.	1
▪ Espejo de Falla, plano.	0.5
❖ No existe contacto entre las 2 caras de las diaclasas cuando ambas se desplazan lateralmente.	<b>Jn</b>
▪ Zona de contenido de minerales arcillosos, suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las caras de las Diaclasas.	1
▪ Arenas, gravas o zona fallada suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las 2 caras de las diaclasas.	1
Nota: si el espaciado de la familia de las diaclasas es mayor de 3 m hay que aumentar el Jn en una unidad.	
Para diaclasas con espejos de falla provisto de lineaciones, si están orientadas favorablemente. se puede usar Jr=0.5	

*Nota:* Clasificación de los macizos rocosos, pág. 4 (Bongiorno, 2000)

Ja= Parámetro basado en la alteración de la discontinuidad.

Figura 15.

*Calculo de la alteración de la discontinuidad*

<i>Descripción</i>	<i>Ja</i>	<i>θ°</i>
<b>Contacto entre las 2 caras de las Diaclasas.</b>		
Junta sellada, dura, sin reblandecimiento impermeable como por ejemplo cuarzo en paredes sanas.	0.75	25-30
Caras de la junta únicamente manchadas.	1	25-30
Las caras de la junta están alteradas ligeramente y contienen minerales no blandos partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla.	2	25-30
Recubrimiento de limo o arena arcillosa, pequeña fricción arcillosa no reblandecible.	3	20-25
Recubrimiento de minerales arcillosos blandos o de baja fricción como caolinita, clorita, talco yeso, grafito y pequeñas cantidades de arcillas expansivas. Los recubrimientos son discontinuos con espesores máximos de 1 o 2 mm.	4	8-16
<b>Contactos entre 2 caras de la Diaclasa con &lt; de 10 cm desplazamiento lateral.</b>		
Partículas de Arena, roca desintegrada libre de arcilla.	4	25-30
Fuertemente sobreconsolidados rellenos de minerales arcillosos no blandos. Los recubrimientos son continuos de menos de 5 mm de esp.	6	16-24
Sobreconsolidación media a baja, blandos, rellenos de minerales arcillosos. Los recubrimientos son continuos de < de 5 mm de espesor.	8	12-16
Rellenos de arcilla expansiva, de espesor continuo de 5 mm. El valor Ja dependerá del porcentaje de partículas del tamaño de la arcilla expansiva.	8-12	6-12

*Nota:* Clasificación de los macizos rocosos, pág. 5 (Bongiorno, 2000)

SRF= factor de reducción de esfuerzos.

Figura 16.

*Reducción de esfuerzos*

1.-Zona débil que interceptan la excavación y pueden causar caídas de bloques.		S.R.F	
A. Varias zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca muy suelta alrededor.			10
B. Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación < 50 m.).			5
C. Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente. (Profundidad de excavación > 50 m.).			2.5
D. Varias zonas de fractura en roca competente libre de arcilla, roca suelta alrededor. (Cualquier profundidad).			7.5
E. Sólo una zona fracturada en roca competente, libre de arcilla (Profundidad de excavación < 50 m.)			5
F. Sólo una zona fracturada en roca competente, libre de arcilla. (Profundidad > 50 m).			2.5
G. Diaclasas abiertas sueltas, muy fracturadas. Cualquier profundidad.			5
2.-Rocas competentes con problemas tensionales en las rocas	$\sigma_v/\sigma_1$	$\sigma_h/\sigma_1$	S.R.F
H. Tensiones pequeñas cerca de la superficie.	> 200	>13	2.5
I. Tensiones medias.	200-10	13-0.33	1.0
J. Tensiones altas estructura muy compacta, favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales.	10-5	0.66-0.33	0.5-2.0
K. Explosión de roca suave (roca Masiva).	5-2.5	0.33-0.16	5-10
L. Explosión de roca fuerte (roca masiva.)	<2.5	<0.16	10-20

Nota: Clasificación de los macizos rocosos, pág. 5 (Bongiorno, 2000)

$J_w$  = Parámetro basado en la presencia de agua.

### Figura 17.

#### *Parámetro Agua en las diaclasas*

	$J_w$	Presión del agua Kg/cm <sup>2</sup>
- Excavaciones secas o de influencia poco importante.	1	<1
- Fluencia o presión medias. Ocasional lavado de los rellenos de las Diaclasas.	0.66	1-2.5
- Fluencia grande o presión alta, considerable lavado de los rellenos de las Diaclasas.	0.33*	2.5-10
- Fluencia o presión de agua excepcionalmente altas, decayendo con el tiempo.	0.1-0.2*	>10
- Fluencia o presión de aguas excepcionalmente altas y continuas, sin disminución.	0.05-.01*	>10
Los valores presentados con el Signo * son solo valores estimados. Si se instalan elementos de drenaje, hay que aumentar $J_w$		

*Nota:* Clasificación de los macizos rocosos, pág. 4 (Bongiorno, 2000)

#### **4.6.1 Método de índice de resistencia geológica, GSI (Hoek 1994):**

El GSI es un índice de calidad de macizos rocosos que han sido desarrollado para poder estimar los parámetros  $m_b$  y  $s$  de la clasificación de Hoek Brow (1980). La clasificación GSI se basa en la observación cuidadosa del macizo rocoso y por lo consiguiente, es esencialmente cualitativa. El GSI combina dos aspectos fundamentales del comportamiento de los macizos rocosos, es decir, su fracturación, ósea, el tamaño y forma de los bloques, y la resistencia al corte de las discontinuidades. (Ramirez Oyanguren & Monge, 2004)

El valor de  $m_b$ , se obtiene con la siguiente expresión:

$$m_b = m_i * \exp((GSI-100)/28)$$

Los valores de  $s$  y  $\alpha$  se obtienen de distintas expresiones, dependiendo de si el valor de GSI es mayor o menor que 25 (valor arbitrario) donde los valores mayores a 25 representan macizos rocosos de media a buena calidad y los menores a 25 de mala a muy mala calidad. Las expresiones son las siguientes:

**Tabla 2.**

*Expresiones de  $s$  y  $\alpha$ , Índice GSI*







GSI >25	GSI < 25
$s = \exp((GSI - 100)/9)$	$s = 0$
$\alpha = 0,5$	$\alpha = 0,65 - (GSI/200)$

El índice de resistencia geológica (GSI) tiene valores desde 1 hasta 100. Los valores más pequeños corresponden a macizos débiles o de menor calidad, donde su superficie se encuentra visiblemente meteorizada y altamente fragmentada, en muchos casos las juntas presentan rellenos de arcilla blanda. Por otro lado, los valores cercanos a 100 hacen referencia a macizos de muy buena calidad con una estructura sin superficies afectadas por la meteorización de la roca y con fragmentación poco significativa.

A continuación, se muestra la gráfica de caracterización del macizo rocoso en función de los bloques, la trabazón y las condiciones de las juntas. Adaptada de Hoek (2006):

Figura 18.

Calculo del índice GSI

INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA MACIZOS ROCOSOS FRACTURADOS (Marinos & Hoek (2000))		CONDICION DE LAS ESTRUCTURAS				
<p>Estime el valor tipico de GSI considerando el tipo de roca, la estructura del macizo rocoso, y la condicion de las discontinuidades.</p> <p>NO trate de ser demasiado preciso. De hecho, el considerar <math>33 \leq GSI \leq 37</math> es más realista que considerar <math>GSI = 35</math>. Note que esta tabla NO es aplicable a problemas con control estructural. Si hay estructuras desfavorablemente orientadas, ellas controlarán el comportamiento del macizo rocoso.</p> <p>En aquellos casos en que la resistencia al corte de las estructuras podría ser afectada por la humedad, deberá considerarse la eventual presencia de agua. Esto puede hacerse "desplazando hacia la derecha" el rango estimado para GSI.</p> <p>La presión del agua no se considera al evaluar el rango de GSI, ya que la misma se incorpora posteriormente en los análisis geotécnicos, los que se desarrollan considerando esfuerzos efectivos.</p>		MUY BUENA Muy pocas, ejes gruesos o no interpenetrados	BUENA Pocas, ejes ligeramente interpenetrados y algo oblicuos.	REGULAR Linas, ejes no demasiado interpenetrados y algo oblicuos	MALA Pocas, ejes interpenetrados, con juntas o con sillones y/o fragmentos angulosos	MUY MALA Pocas, ejes muy interpenetrados, con juntas o con sillones de estilo blando
ESTRUCTURA DEL MACIZO		DISMINUYE LA CALIDAD →				
 <b>INTACTA o MASIVA</b> Profilos de roca intacta. Macizos masivos o con pocas y muy espaciadas estructuras.	DISMINUYE TRABAJAZO ENTRE BLOQUES	90			N/A	N/A
 <b>BLOCOSA</b> Macizos con 3 sets de estructuras, que definen bloques oblicuos, bien trabados entre sí.		80			50	40
 <b>MUY BLOCOSA</b> Macizos con 4 sets de estructuras, o más, que definen bloques angulosos y trabados, pero que están parcialmente perforados.		70				30
 <b>BLOCOSA VETEADA</b> Macizos plegados y con bloques angulosos formados por la intersección de muchas estructuras. Los planos de estratificación y/o espesidad son perpendiculares.		60				20
 <b>DESINTEGRADA</b> Macizo fuertemente fracturado, con una mezcla de bloques angulosos y redondeados, pobremente trabados.						10
 <b>LAMINADA / CIZALLADA</b> Macizo con planos débiles (estratificación y/o espesidad), muy poco espaciados entre sí y que no definen bloques.			N/A	N/A		

Nota: Carta para evaluar el índice de resistencia geológica en macizos rocosos fracturados (Tomada de Marinos & Hoek, 2000)

### 4.7 Modelamiento Numérica De Los Macizos Rocosos

El modelo tiene dos aplicaciones diferentes: el primero se aplica a la representación esquemática del comportamiento intrínseco de los materiales rocosos a escala microscópica de la muestra. El segundo se aplica al estudio de los macizos rocosos a la escala de los trabajos

efectuados o a escalas geológicas mayores. Estos modelos deben incorporar, para ser representativos o constituirse como modelo de cálculo, las formulaciones y ecuaciones relativas al comportamiento intrínseco de la roca y de sus discontinuidades.

El estudio de los problemas de estabilidad alrededor de las excavaciones está basado sobre la resolución de las ecuaciones de equilibrio. Esta resolución se tiene en cuenta: la forma de la obra en excavación, la ley de comportamiento del material y las condiciones a los límites del modelo. Se tienen dos modelos numéricos de simulación que son modelos continuos y modelos discontinuos. (Ceccarelli N., De Agrela N., & García Ruiz, 2021)

#### ***4.7.1 Método de elementos finitos.***

La filosofía de este método consiste en subdividir el sistema a estudiar en una serie de elementos de un tamaño relativamente pequeño en comparación al sistema. Estos elementos se denominan elementos finitos. Cada uno de estos elementos tienen una ecuación propia, por lo tanto, la ecuación del sistema se obtiene a partir de las ecuaciones de los elementos que la forman. a través de la fase denominada mallado, se subdivide el sistema físico a fin de discretizar el material el material continuo por una serie de puntos, llamados nudos sobre los cuales son realizados los cálculos de elementos finitos. Un elemento queda definido por: (Escobar Portes & Duque Escobar, 2017)

- Su forma geométrica
- Las coordenadas de sus nudos geométricos.
- Las coordenadas de los nudos de interpolación.
- La definición de sus variables nodales

- La base polinomial de la aproximación.

## 5. Metodología aplicada al proyecto

Para el desarrollo de este estudio, se hacen tres pasos para el análisis de estabilización del talud final de la mina “Abásticos”, desde su recolección de información en sitio, la documentación existente, análisis de la información recolectada y la modelación del talud en un software especializado.

**Paso 1:** Recolectar y documentar información de la caracterización: descripción, localización, topografía, geología y geotécnica del sitio de estudio. En este paso se realizó reconocimiento del sitio, toma de muestras de roca y suelo, para luego llevarlas a laboratorio y realizar su análisis.

**Paso 2:** Analizar y evaluar la calidad de los macizos rocosos, las discontinuidades y estimar las propiedades y parámetros de los estratos presentes en la mina. En este paso se analiza la calidad del macizo rocoso mediante los métodos de resistencia geológica como son los índices RMR, Q y GSI, las discontinuidades o juntas en la roca se utiliza el software DIPS (Rocscience) mediante la representación estereográfica, también se utiliza el software RockData (Rocscience) para el cálculo de parámetros de resistencia de la roca.

**Paso 3:** Modelar y analizar el talud actual y final de la mina “Abásticos”. Para este tercer paso se utiliza el software Phase2 V8.0 (Rocscience) donde se realiza la modelación del talud con sus propiedades y parámetros como son: juntas o discontinuidades de la roca, estratos de suelo y

roca. En donde se realiza el análisis de deformaciones del macizo y su factor de seguridad del talud.

## **6. Caracterización del proyecto**

### **6.1 Descripción Proyecto**

La cantera abasticos tiene una explotación en producir agregados pétreos: Recebo, Arena de trituración lavada, Grava triturada de 1/2 ", Grava de 3/4", Piedra para gaviones y Rajón, desde su explotación, producción y comercialización.

La mina ha sido fuente de material de recebo para vías de los municipios de la región, Cáqueza y Chipaque principalmente durante más de 20 años. Además de involucrar nuevas zonas aptas desde el punto de vista minero geológico y que igualmente poseen compatibilidad ambiental con las actividades mineras. El terreno de la Cantera Abasticos ha sido intervenido por más de 20 años para la extracción de materiales de construcción, debido a esta actividad se han generado alteraciones sobre la morfología y el paisaje del sector principalmente.

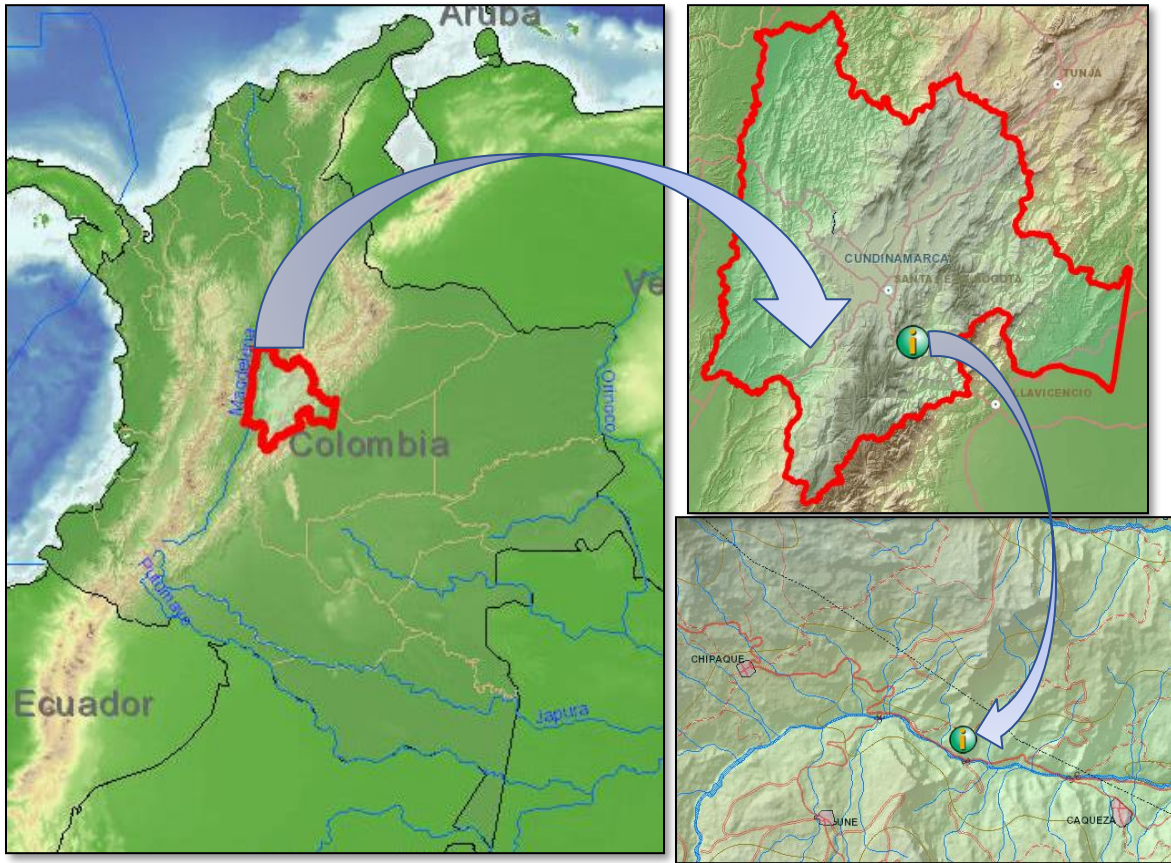
**Figura 19.**

*Planta de trituración*



## **6.2 Localización de la Mina “Abásticos”**

Se encuentra localizada en los municipios de Cáqueza y Chipaque a 45 Kilómetros de Bogotá D. C. sobre la vía Bogotá – Villavicencio, sur oriente del Departamento de Cundinamarca. Su acceso se logra desde la nueva Autopista al Llano, a la altura del sector denominado Abásticos, por un carretable que conduce a la población de Ubaque, a unos 2 Km. desde la vía al Llano. El área de la Cantera Abásticos posee una extensión superficial de 150.000 m<sup>2</sup>.

**Figura 20.***Localización de la mina*

*Nota:* con base en los mapas del IGAC. (Instituto Geografico Agustin Codazzi, IGAC, 2018)

### 6.3 Topografía del sitio

La mina cuenta con levantamiento topográfico actualizado con sus curvas de nivel, donde se puede apreciar la distribución que tiene la mina, frentes de trabajo, ubicación de las oficinas, planta trituradora, patio de almacenamiento y vías de acceso. A continuación, se presenta el plano de la mina “Abasticos”.

**Figura 21.**

*Plano topográfico y Distribución de la mina.*



## 6.4 Geología de la Zona

### 6.4.1 Geología General

En el área de influencia del proyecto minero afloran rocas de origen sedimentario, de edades que van desde el Cretáceo inferior hasta el cuaternario reciente. Una descripción de estas

rocas se presenta a continuación, descritas desde las más antiguas a más recientes: (Acosta & Ulloa, 2002)

- **Grupo Cáqueza:** Ha sido observado entre Cáqueza y Puente Quetame, conformada por las siguientes unidades de base a tope:

1. **El Conglomerado Basal (K<sub>C5</sub>)** que consta de conglomerados y calizas con un espesor variable entre los 30 y los 80 metros. La base es discordante con las rocas paleozoicas.

2. **Las Arcillas intermedias (K<sub>C4</sub>)** conformada principalmente por niveles de arcillas intercaladas con areniscas y conglomerados. Los fósiles de esta unidad (Subesteveroceres) en las arcillas del **K<sub>C4</sub>** permiten inferir la transgresión del Titoniano - Berriasiano.

3. **El conjunto K<sub>C3</sub>** está conformado por conglomerados y areniscas de tipo cuarcítico.

4. Sigue la parte o **conjunto medio del grupo K<sub>C2</sub>**, conformado por una monótona sucesión de arcillolitas con intercalaciones de areniscas más o menos frecuentes, de un gran espesor. La población de Cáqueza está colocada sobre niveles arcillo líticos de la parte alta. Hacia la parte inferior y para trabajos más detallados es posible diferenciar en esta unidad los conjuntos llamados Esquistos de Sanamé y más abajo yacen las Pizarras de la Culebra de color negro con una fauna fosilífera bastante abundante, pero aplastada, de amonitas y braquiópodos, y de plantas del Wealden.

5. La parte superior del grupo está constituida por la **formación Alto de Cáqueza K<sub>C1</sub>**, compuesta de areniscas, arcillolitas y margas con un espesor de unos 250 metros.

Los conglomerados del **K<sub>C5</sub>** y **K<sub>C3</sub>** están compuestos por material proveniente de la Formación Esquistos de Quetame y de la Formación Areniscas de Gutiérrez, mientras que carecen de elementos procedentes de capas rojas, lo que sugiere que al momento de la deposición de los

conglomerados ésta ya faltaba en la fuente de los sedimentos, por haber sido erosionados. El Grupo Cáqueza abarca un lapso de Titoniano - Hauteriviano, inclusive del Cretáceo inferior.

- **Grupo Villeta:** Suprayaciendo el grupo Cáqueza, de edad cretáceo medio. Tiene como tope la caliza de Exogira Mermeti equivalentes, y se sienta en la Formación Alto de Cáqueza que representa la parte alta del Grupo Cáqueza. Está dividida en las siguientes formaciones: (Acosta & Ulloa, 2002)

1. **Formación Fόμεque (Kv3)** compuesta de arcillolitas negras con gruesos lentes de caliza arenacea y niveles de arenisca cuarzosa madura.

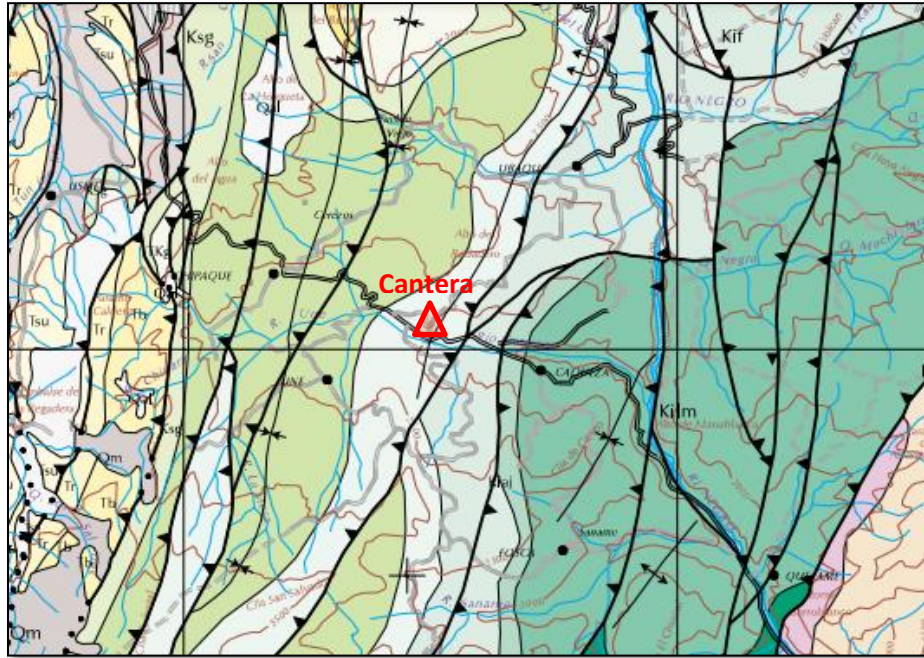
2. **Formación Arenisca de Uné (Kv2)** de unos 500 metros aproximadamente, corresponde a la parte media del Grupo Villetá, compuesta casi en su totalidad por capas de areniscas cuarzosas de grano medio hasta grueso, en menor grado se presentan bancos delgados de arcillolitas negras y cintas de 20 centímetros de antracita pura y plantas bien conservadas.

3. La parte superior comprende, bajo el nombre de **Formación Chipaque (Kv1)** una sucesión de arcillolitas con intercalaciones de calizas y areniscas; las últimas forman niveles delgados.

El Grupo Villeta abarca un lapso entre Barremiano hasta Coniaciano inclusive del Cretáceo medio a superior. La correspondencia entre límites litológicos y cronológicos está aún por determinar. (Acosta & Ulloa, 2002)

**Figura 22.**

*Ubicación geológica de la Cantera Abásticos*



*Nota.* con base en el Mapa Geológico de Cundinamarca (INGEOMINAS)

#### **6.4.2 Geología estructural**

Se distinguen de oeste a este; el Anticlinal de Bogotá, el flanco occidental tumbado o muy erguido sin tumbarse como en el sector de Guadalupe; el graben del Teusacá - Palmar que queda en la prolongación norte del sinclinal de Une, el anticlinal de Choachí; con buzamiento axial hacia el norte. Los ejes de estas estructuras están desarrollados en capas cretáceas tiene un rumbo norte sur, sus prolongaciones meridionales están interrumpidas por fallas transversales. (Acosta & Ulloa, 2002)

### 6.4.3 Geología Local

Empezaremos por hacer una descripción de las unidades que afloran en el área del contrato de concesión. La unidad de interés y que aflora en la mayor parte del área corresponde a la unidad denominada **formación Uné (Kv2)**, infrayaciendo y en contacto fallado, hacia el oeste aparece la **formación Fómeque (Kv3)**, ambas formaciones pertenecientes al Grupo Villeta y que se describen a continuación: (Acosta & Ulloa, 2002)

- **Formación Fómeque:** Al oeste y supra yaciendo la formación Alto de Cáqueza se encuentra un grueso paquete de capas delgadas de arcillolitas negras, con gruesos lentes de caliza intercalados y algunos niveles de arenisca cuarzosa madura. En general conforman una morfología suave de valle intramontano. (Acosta & Ulloa, 2002)

- **Formación Une:** Constituida por gruesos paquetes de areniscas cuarzosas intercaladas con delgados niveles de arcillolitas y limolitas oscuras. Aflora al oeste del borde del Municipio de Cáqueza conformando escarpes muy fuertes. En general está buzando entre 40-60° al oeste con rumbo NNE-SSW, atravesada por el Río Cáqueza. En el sector de Caraza perteneciente al Municipio de Une esta formación es aprovechada como fuente de materiales de construcción y hacia el sector del Alto de La Cruz está la explotación abandonada de Abásticos, donde también ha sido aprovechada esta formación como fuente de material para las vías de la región sur oriental del departamento. (Acosta & Ulloa, 2002)

Dentro del área de influencia se pudo cartografiar unidades con mayor contenido de bancos de arcillolitas, aunque no se identificó como unidad aparte en la cartografía realizada si se distinguió y se caracterizó por presentar pendientes suaves, debido a la mayor potencia de los

bancos de arcillolita. Reposando sobre todas las unidades anteriores se encuentran depósitos recientes conformados por: (Acosta & Ulloa, 2002)

- **Depósitos de Ladera:** Conformado por bloques angulares embebidos en una matriz areno arcillosa y depositados sobre las laderas de las diferentes vertientes. Se destacan hacia los valles intramontanos existentes y en los pies de los taludes que conforman los potentes bancos de areniscas.

#### ***6.4.4 Geomorfología***

El área del contrato se caracteriza por presentar una geomorfología montañosa con serranías o cerros alineados norte sur, como crestas o cuchillas separados por valles intramontanos, destacándose en la región el Alto el Ajizal, conformado por la Formación de areniscas de Uné. Se caracteriza la zona por presentar pendientes estructurales, hacia los flancos occidentales de las cuchillas con pendientes hasta de 45° y hacia los flancos occidentales las pendientes son más fuertes llegando a ser casi verticales, hacia las patas de estos grandes taludes se encuentran las geoformas de los depósitos de ladera en forma de conos, que se trasladan sobre las pendientes estructurales generando coluvión sobre las laderas. (Acosta & Ulloa, 2002)

**Figura 23.**

*Panorámica de la mina*



- **Procesos morfodinámicos existentes**

Los procesos morfodinámicos que más se presentan en la cantera Abásticos son los siguientes:

- **Sedimentación.** Los pocos materiales que son arrastrados son depositados donde las corrientes pierden energía y su capacidad de transporte disminuye, ocasionando la sedimentación del material que es arrastrado. En general este proceso está limitado al frente explotado en donde las aguas de escorrentía arrastran los sedimentos hacia el patio inferior. (Acosta & Ulloa, 2002)

**Zonas con flujos de bloques y detritos.** Consiste en zonas con caída de bloques y detritos de los taludes inclinados. La explotación de materiales realizada ha modelado taludes con pendiente negativas, sobre los cuales se producen grietas donde las infiltraciones de aguas producen inestabilidad con caída de rocas, las cuales caen en los patios de la cantera. (Acosta & Ulloa, 2002)

- **Geología Estructural.**

Estructuralmente, las rocas tienen una posición inclinada hacia el occidente en general, presentando ángulos de buzamiento variados debido a un plegamiento fuerte, con ángulos entre 40 y 60°. Los estratos presentan continuidad, aunque son notables las perturbaciones por fallas que

interrumpen la continuidad de los estratos, con direcciones NW – SE, E – W y fallas de cabalgamiento con dirección NE – SW. (Acosta & Ulloa, 2002)

- **Diaclasas.** Son los elementos estructurales más abundantes, se trata de superficies de fractura donde el movimiento es imperceptible y se generan a partir de los esfuerzos deformaciones de la corteza terrestre. A partir de la geología, geomorfología, geología estructural y altimetría se llevó a cabo una sectorización del área de estudio, en donde se obtiene una evaluación de estabilidad que es dada y caracterizada por los diagramas de círculos principales producto de los diagramas de polos y densidad de las discontinuidades medidas. (Acosta & Ulloa, 2002)

Geoméricamente, se considera su orientación mediante una línea de dirección o rumbo y un plano de inclinación o buzamiento. En el numeral de análisis cinemático se relacionan los datos medidos en campo de las discontinuidades. (Acosta & Ulloa, 2002)

## 6.5 Toma de información Geotécnica

El estudio geotécnico comienza con la visita y captura de información en campo, enseguida el cálculo de los parámetros de las rocas y suelo, finalmente su modelación del talud con el que tendremos como resultado un factor de seguridad.

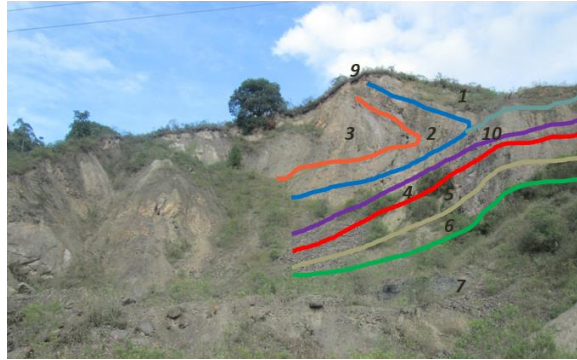
### 6.5.1 Mapeo de los macizos rocosos y los estratos de la cantera.

- **Estratos de la mina:** Con base a la topografía suministrada y el reconocimiento de campo en la cantera se identificaron diferentes tipos de estratos de roca en la mina, con su espesor,

rumbo y buzamiento. A continuación, se presentan las fotografías y la tabla de descripción de los estratos presentes en la mina “Abásticos”.

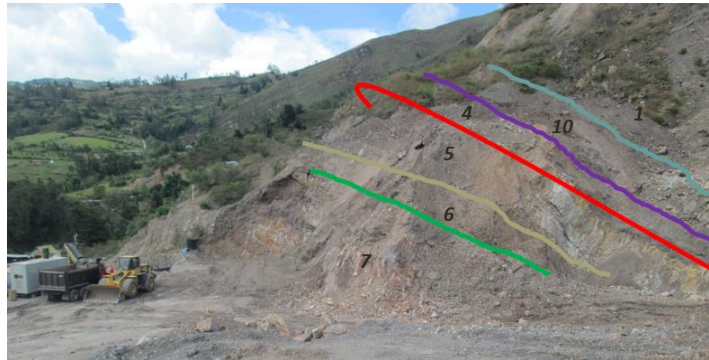
**Figura 24.**

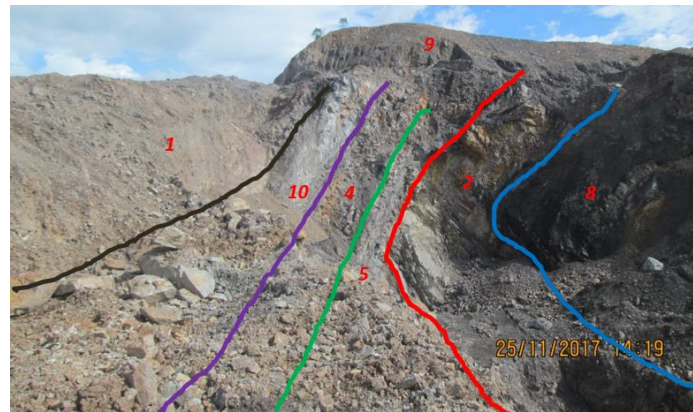
*Costado izquierdo de la mina, estratos*



**Figura 25.**

*Centro frente N° 2, Estación 3*



**Figura 26.***Costado derecho de la mina***Tabla 3.***Descripción de las Estratos de la Cantera Abasticos*

<i>Estrato N°</i>	<i>Descripción</i>	<i>Espesores</i>
1	Gravas bien graduadas de matriz arenosa con presencia de cuarzo, de forma angulosa, color marrón suave con trazos grisaseos.	1,0 a 2,0 metros
2	Roca meteorizada de arenisca friable de color habano. Con presencia de cuarzo.	4,20 a 6,5 metros
3	Roca meteorizada de arenisca friable de color gris con alto contenido de cuarzo.	1,0 a 16,0 metros
4	Roca meteorizada de arenisca friable de color rojizo con poco contenido de cuarzo.	3,0 a 4,50 metros
5	Roca meteorizada de arenisca friable de color gris con alto contenido de cuarzo.	4,0 a 6,50 metros
6	Roca meteorizada de arenisca friable, muy triturada de color rojizo.	1,0 a 2,0 metros
7	Capa de rocas alternas de colores rojiza, habana y gris continuas.	30 metros
8	Arcilla magra pre-consolidada color gris muy oscuro. (Se presenta en formación de lajas).	4,50 a 7,0 metros
9	Arcilla limosa pre-consolidada color marrón rojizo, con algo de arena (se presenta en formación en bloque o fragmentó de roca)	1,0 a 1,50 metros

<i>Estrato N°</i>	<i>Descripción</i>	<i>Espesores</i>
10	Arcilla limosa consolidada color gris claro con trazos y vetas amarillentas y rojizas, con arena y algo de gravas finas. (se presenta en formación de lajas.	1,5 a 3,0 metros

- **Macizo rocoso:** en la mina se identificaron en total diez capas que son: cuatro estratos de suelo y seis de roca. Al realizar el estudio del macizo rocoso en la mina se determinó realizar un análisis en tres puntos específicos, donde las condiciones de la roca son más representativas en la exploración de la mina. Se hacen tres estaciones (puntos de estudio), donde se realiza el mapeo de caracterización y la toma de información de las discontinuidades, buscando tener una valoración general de la calidad de macizo que se encuentra en la mina. (tablas 4, 5 y 6) y el mapeo de las discontinuidades (Anexos A. tablas A1, A2, A3).

Para la toma de información en campo en los macizos rocosas se trabajó con una brújula para tomar el rumbo y buzamiento de los estratos, las discontinuidades del macizo, también se trabajó con un esclerómetro para la toma de la resistencia de la roca en el sitio y se llevaron unos fragmentos de roca para hacerles un ensayo de carga puntual.

**Figura 27.**

*Toma de información*



*Fuente: Elaboración propia.*

Figura 28.

Mapeo estación 1, Caracterización




<b>FORMATO DE CAMPO - MAPEO</b> EVALUACION DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO CARACTERIZACION DEL MACIZO UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER												
												
<b>UIS</b>												
<b>REALIZADO POR:</b> Ing. Mauricio Vargas Forero		<b>ESTACION:</b> 1		<b>CORD. N</b>		<b>CORD. E</b>		<b>LOCALIZACION:</b> Vereda Alto De La Cruz, Municipio De Chipaque, Cundinamarca				
<b>PROYECTO:</b> Estudio Geomecánico y Geotécnico, Cantera Abasiticos		<b>TIPO DE ROCA:</b> Sedimentarias		<input checked="" type="checkbox"/>		<b>HOJA:</b> DE		<b>Metamorfica:</b>				
<b>FECHA:</b> 28/11/2017		<b>Descripción geomorfológica del sector:</b> Los datos son tomados en azimuth de buzamiento..										
<b>Linea N°:</b> 1		<b>Longitud</b>		<b>Azimit:</b> 340°		<b>Buzamineto:</b> 30°		<b>Descripción litológica:</b>				
<b>ESTRUCTURA:</b> Plegues		Fallos: 1		Otros:								
<b>Bloques Jv Juntas / m3</b>		Muy Grandes <1		Grandes 1-3		Medios 3-10		Pequeños 10-30		Muy pequeños >30		Muy betrificado >60
<b>RESISTENCIA DE LA MATRIZ ROCOSA</b>												
Extremadamen te Blanda (Uña) R0 (0.25 - 1) MPa		Muy Blanda (Navaja) R1 (1 - 5) MPa		Blanda (Punta del Martillo) R2 (5 - 25) MPa		Media (1 golpe del martillo) R3 (25 - 50) MPa		Dura (+1 golpe de martillo) R4 (50 - 100) MPa		Muy Dura (Varios golpes) R5 (100 - 250) MPa		Extremadamente dura (solo raya con martillo) R6 >250 MPa
						<input checked="" type="checkbox"/>						
<b>GRADOS DE METEORIZACION</b>												
Sana ( I )		Algo Meteorizada ( II )		Medianamente Meteorizada (III)		Muy Meteorizada (IV)		Completamente Meteorizada (V)		Suelo Residual (VI)		
						<input checked="" type="checkbox"/>						
<b>HIDROGEOLOGIA</b>												
Sin presencia de agua		Seca (Con señales de agua)		Humedo		Goteos		Flujo		Caudal estimado		
		<input checked="" type="checkbox"/>										
<b>CRITERIO GENERALIZADO DE HOEK Y BROWN</b>												
<b>ESTRUCTURA DEL MACIZO</b>		Masivo (MA)		Fracturado en bloques (FB)		Muy fracturado (MF)		Fracturado cizallado (FC)		Triturado (TR)		
Muy buena (Mb)		Buena ( Bu )		Regular (Re)		Mala (Ma)		Muy mala (Mm)				
		<input checked="" type="checkbox"/>										
<b>CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES</b>												
41		40		42		40		41				
40		42		41		41		41				
<b>GSI:</b> 35		<b>RQD:</b> 55,6		<b>Jv:</b> 18		<b>Jw:</b> 18		<b>Jn:</b>				

Figura 29.

Mapeo estación 2, Caracterización



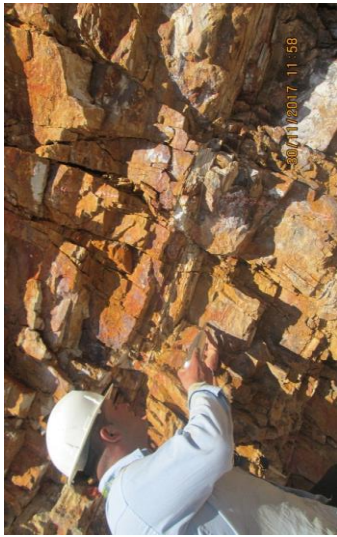

<b>FORMATO DE CAMPO - MAPEO</b> EVALUACION DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO CARACTERIZACION DEL MACIZO UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER											
 Universidad Industrial de Santander UIS		Ing. Mauricio Vargas Forero		ESTACION: 2		CORD. N		CORD. E		Vereda Alto De La Cruz, Municipio De Chipaque, Cundinamarca	
REALIZADO POR:		Estudio Geomecanico y Geotecnico, Cantera Abasiticos		LOCALIZACION:		IGNEA:		HOJA:		DE	
FECHA:		28/11/2017		TIPO DE ROCA:		Sedimentarias		X		Metamorfica:	
Descripción geomorfológica del sector: Los datos son tomados en azimuth de buzamiento..		Azimut: 315°		Buzamiento: 23°		Descripción litológica: Intercalación de lilitas, limolitas y arenitas					
Línea N°: 1 Longitud		Fallas: 0		Otros: 15		Descripción litológica: Intercalación de lilitas, limolitas y arenitas					
ESTRUCTURA: Plegues		Grandes 1-3		Medios 3-10		Pequeños 10-30		Muy pequeños >30		Muy betrificado >60	
Bloques Jv Juntas / m 3		Muy Grandes <1		Medios 3-10		Pequeños 10-30		Muy pequeños >30		Muy betrificado >60	
<b>RESISTENCIA DE LA MATRIZ ROCOSA</b>											
Extremadamen te Blanda (Navaja) R1 (Uña) R0 (0,25 - 1) MPa		Blanda (Punta del Martillo) R2 (5 - 25) MPa		Media (1 golpe del martillo) R3 (25 - 50) MPa		Dura (+1 Golpe de martillo) R4 (50 - 100) MPa		Muy Dura (Varios golpes) R5 (100 - 250) MPa		Extremadamente dura (solo raya con martillo) R6 >250 MPa	
<b>GRADOS DE METEORIZACION</b>											
Sana ( I )		Algo Meteorizada ( II )		Medianamente Meteorizada (III)		Muy Meteorizada (IV)		Completamente Meteorizada (V)		Suelo Residual (VI)	
<b>HIDROGEOLOGIA</b>											
Sin presencia de agua		Seca (Con señales de agua)		Humedo		Goteos		Flujo		Caudal estimado	
<b>CRITERIO GENERALIZADO DE HOEK Y BROWN</b>											
ESTRUCTURA DEL MACIZO		Masivo (MA)		Fracturado en bloques (FB)		Muy fracturado (MF)		Fracturado cizallado (FC)		Triturado (TR)	
<b>CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES</b>											
Muy buena (Mb)		Buena (Bu)		Regular (Re)		Mala (Ma)		Muy mala (Mtn)			
<b>RESISTENCIA "R" ESCLEROMETRO:</b>											
32		30		32		32		34			
34		30		30		34		34			
GSI: 25		RQD: 65,5		JV: 15		Jn:					

Figura 30.

Mapeo estación 3, Caracterización

<b>FORMATO DE CAMPO - MAPEO</b> <b>EVALUACION DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO</b> <b>CARACTERIZACION DEL MACIZO</b> <b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b>													
													
<b>UIS</b> REALIZADO POR: Ing. Mauricio Vargas Forero		<b>ESTACION:</b> 3		<b>CORD. N</b>		<b>CORD. E</b>							
<b>PROYECTO:</b> Estudio Geomecánico y Geotécnico, Cantera Abasiticos		<b>LOCALIZACION:</b> Vereda Alto De La Cruz, Municipio De Chipaque, Cundinamarca											
<b>FECHA:</b> 28/11/2017		<b>TIPO DE ROCA:</b> Sedimentarias		<input checked="" type="checkbox"/> X		<b>HOJA:</b>		<input type="checkbox"/> DE					
<b>Descripción geomorfológica del sector:</b> Los datos son tomados en azimuth de buzamiento...		Descripción litológica: Intercalación de lilitas, limolitas y arenitas											
<b>Línea N°:</b> 1		<b>Longitud</b>		<b>Azimit:</b> 292°		<b>Buzamiento:</b> 16°							
<b>ESTRUCTURA:</b>		Pliegues: x		Fallas: 0		Otros:							
<b>Bloques Jv Juntas / m3</b>		Muy Grandes <1		Grandes 1-3		Medios 3-10		Pequeños 10-30		Muy pequeños >30		Muy betrificado >60	
<b>RESISTENCIA DE LA MATRIZ ROCOSA</b>													
Extremadamen te Blanda (LHA) R0 (0,25 - 1) MPa		Muy Blanda (Navaja) R1 (1 - 5) MPa		Blanda (Punta del Martillo) R2 (5 - 25) MPa		Media (1 golpe del martillo) R3 (25 - 50) MPa		Dura (+1 Golpe de martillo) R4 (50 - 100) MPa		Muy Dura (Varios golpes) R5 (100 - 250) MPa		Extremadamente dura (solo raya con martillo) R6 >250 MPa	
<b>GRADOS DE METEORIZACION</b>													
Sana ( I )		Algo Meteorizada ( II )		Medianamente Meteorizada ( III )		Muy Meteorizada ( IV )		Completamente Meteorizada ( V )		Suelo Residual ( VI )			
<b>HIDROGEOLOGIA</b>													
Sin presencia de agua		Seca (Con señales de agua)		Humedo		Goteos		Flujo		Caudal estimado			
<b>CRITERIO GENERALIZADO DE HOEKY BROWN</b>													
<b>ESTRUCTURA DEL MACIZO</b>		Masivo (MA)		Fracturado en bloques (FB)		Muy fracturado (MF)		Fracturado cizallado (FC)		Triturado (TR)			
<b>CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES</b>													
Muy buena (Mb)		Buena ( Bu )		Regular ( Re )		Mala (Ma)		Muy mala (Mm)					
<b>RESISTENCIA "R" ESCLEROMETRO:</b>													
42		40		42		40		40		40			
41		40		41		42		42		42			
<b>GSI:</b> 45		<b>RQD:</b> 82		<b>Jv:</b> 10		<b>Jw:</b> 82		<b>Jv:</b> 10		<b>Jw:</b> 82			



## 7. Análisis y Evaluación de la información

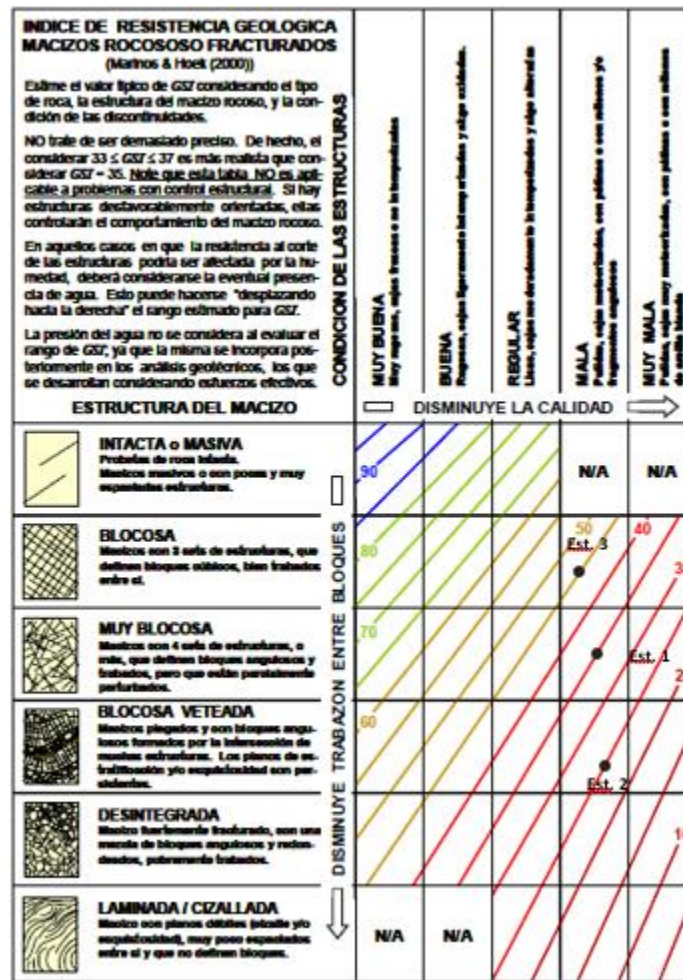
### 7.1 Evaluación del macizo rocoso.

En el análisis de la calidad del macizo rocoso se toman como referencia los índices GSI, método Q y método RMR que se presentan a continuación en las tres estaciones:

- **Índice GSI:** la evaluación de este método se hace mediante la carta para evaluar el índice de resistencia geológica y los datos registrados en campo en cada estación, a continuación, se encuentra la evaluación de cada punto.

Figura 31.

Calculo de índice GSI



Nota. Carta para evaluar el índice de resistencia geológica en macizos rocosos fracturados (Tomada de Marinos & Hoek, 2000)

Tabla 4.

Tabla de resultado de la Evaluación Índice GSI

Estación	Evaluación Calidad del macizo rocoso	Estructura del macizo	Calidad del macizo
1	35	Muy Blocosa	Mala
2	25	Blocosa Veteada	Mala
3	45	Blocosa	Mala

- **Método Q:** se realiza un formato con la información que se necesita para el cálculo del método índice Q, Tabla 9, los datos del formato se encuentran en tablas del anexo B (Método índice Q).

Figura 32.

Tabla de Evaluación método índice Q, Estación 1


		<b>FORMATO DE CAMPO - MAPEO</b>									
		<b>EVALUACION DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO</b>									
		<b>METODO DEL INDICE Q</b>									
<b>UIS</b>		<b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b>									
<b>REALIZADO POR:</b>	Ing. Mauricio Vargas Forero	<b>ESTACION:</b>	1	<b>CORD. N</b>		<b>CORD. E</b>					
<b>PROYECTO:</b>	Estudio Geomecanico y Geotecnico, Cantera Abasticos			<b>LOCALIZACION:</b>	Vereda Alto De La Cruz, Municipio De Chipaque, Cundinamarca						
<b>FECHA:</b>	28/11/2017	<b>TIPO DE ROCA:</b>	Sedimentarias	X	Ígneas:		Metamórfica:		<b>HOJA:</b>		<b>DE</b>
<b>Descripción geomorfológica del sector:</b>	Los datos son tomados en azimuth de buzamiento..			<b>Descripción litológica:</b>	Intercalación de liditas, limolitas y arenitas						
		$Q = \left( \frac{RQD}{J_n} \right) \times \left( \frac{J_r}{J_a} \right) \times \left( \frac{J_w}{SRF} \right)$									
VAR.	DESCRIPCION	EVALUACION					PUNTAJE	OBSERVACION			
Jv	Numero de discontinuidades que intersectan una unidad de M3	Bloques pequeños					18	Valor de campo, Tabla Anexo B1			
RQD	Calidad del macizo rocoso	Regular					55,60 %	115-3,3XJv Tabla Anexo B2			
Jn	Cofeiciente asociado al numero de sets de estructuras presentes en el macizo rocoso	Macizos rocosos con un set de estructuras mas estructuras aleatorias					3	Tabla anexo B3			
Jr	Cofeiciente asociado a la rugosidad de la estructura presentes en el macizo rocoso	Estructuras onduladas y rugosas (o irregulares)					3	Tabla anexo B4			
Ja	Cofeiciente asociado a la condicion o grado de alteracion de la estructura presentes en el macizo rocoso	Estructura con pátinas limo arenosas, con poco contenido de arcillas, que no se ablandan.					3	Tabla anexo B5			
Jw	Cofeiciente asociado a la condicion de aguas en las estructuras presentes en el macizo rocoso	Tuneles secos o con infiltraciones menores (e.g. 5lt/min localmente o solo en algunos sectores)					1	Tabla anexo B6			
SRF	Cofeiciente asociado al posible efecto de la condicion de esfuerzos en el macizo rocoso	Estado tensional de magnitud moderada, condicion de esfuerzos es favorable.					1	Tabla anexo B7			
<b>Q</b>	<b>20,53</b>										

Figura 33.

Evaluación Método Índice Q, Estación 2


		<b>FORMATO DE CAMPO - MAPEO</b>			
		<b>EVALUACION DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO</b>			
		<b>METODO DEL INDICE Q</b>			
<b>UIS</b>		<b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b>			
REALIZADO POR:	Ing. Mauricio Vargas Forero	ESTACION:	2	CORD. N	
PROYECTO:	Estudio Geomecanico y Geotecnico, Cantera Abasticos	LOCALIZACION:	Vereda Alto De La Cruz, Municipio De Chipaque, Cundinamarca		
FECHA:	28/11/2017	TIPO DE ROCA:	Sedimentarias	X	Ignneas: Metamorfica: HOJA: DE
Descripción geomorfológica del sector:	Los datos son tomados en azimuth de buzamiento..	Descripción litológica:	Intercalación de lilitas, limolitas y arenitas		
$Q = \left( \frac{RQD}{J_n} \right) \times \left( \frac{J_r}{J_a} \right) \times \left( \frac{J_w}{SRF} \right)$					
VAR.	DESCRIPCION	EVALUACION	PUNTAJE	OBSERVACION	
Jv	Numero de discontinuidades que intersectan una unidad de M3	Bloques pequeños	15	Valor de campo, Tabla Anexo B1	
RQD	Calidad del macizo rocoso	Regular	65,50 %	115-3,3xJv tabla Anexo B2	
Jn	Coefficiente asociado al numero de sets de estructuras presentes en el macizo rocoso	Macizos rocosos con dos sets de estructuras mas estructuras aleatorias	6	Tabla Anexo B3	
Jr	Coefficiente asociado a la rugosidad de la estructura presentes en el macizo rocoso	Estructuras onduladas y rugosas (o irregulares)	3	Tabla Anexo B4	
Ja	Coefficiente asociado a la condición o grado de alteracion de la estructura presentes en el macizo rocoso	Estructuras con rellenos de arenas y/o roca molida, libres de arcilla.	4	Tabla Anexo B5	
Jw	Coefficiente asociado a la condicion de aguas en las estructuras presentes en el macizo rocoso	Tuneles secos o con infiltraciones menores (e.g. 5lt/min localmente o solo en algunos sectores)	1	Tabla Anexo B6	
SRF	Coefficiente asociado al posible efecto de la condicion de esfuerzos en el macizo rocoso	Estado tensional de magnitud baja, estructuras superficiales abiertas.	2,5	Tabla Anexo B7	
<b>Q</b>	<b>12,07</b>				

Figura 34.

Evaluación Método Índice Q, Estación 3


		<b>FORMATO DE CAMPO - MAPEO</b>			
		<b>EVALUACION DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO</b>			
		<b>METODO DEL INDICE Q</b>			
<b>UIS</b>		<b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b>			
REALIZADO POR:	Ing. Mauricio Vargas Forero	ESTACION:	3	CORD. N	
PROYECTO:	Estudio Geomecanico y Geotecnico, Cantera Abasticos	LOCALIZACION:	Vereda Alto De La Cruz, Municipio De Chipaque, Cundinamarca		
FECHA:	28/11/2017	TIPO DE ROCA:	Sedimentarias	X	Ignneas: Metamorfica: HOJA: DE
Descripción geomorfológica del sector:	Los datos son tomados en azimuth de buzamiento..	Descripción litológica:	Intercalación de lilitas, limolitas y arenitas		
$Q = \left( \frac{RQD}{J_n} \right) \times \left( \frac{J_r}{J_a} \right) \times \left( \frac{J_w}{SRF} \right)$					
VAR.	DESCRIPCION	EVALUACION	PUNTAJE	OBSERVACION	
Jv	Numero de discontinuidades que intersectan una unidad de M3	Bloques de tamaño medio	10	Valor de campo B1	
RQD	Calidad del macizo rocoso	Buena	82,00 %	115-3,3xJv Tabla Anexo B2	
Jn	Coefficiente asociado al numero de sets de estructuras presentes en el macizo rocoso	Macizos rocosos con un set de estructuras mas estructuras aleatorias	3	Tabla Anexo B3	
Jr	Coefficiente asociado a la rugosidad de la estructura presentes en el macizo rocoso	Estructuras onduladas y rugosas (o irregulares)	3	Tabla Anexo B4	
Ja	Coefficiente asociado a la condición o grado de alteracion de la estructura presentes en el macizo rocoso	Estructuras con rellenos de arenas y/o roca molida, libres de arcilla.	4	Tabla Anexo B5	
Jw	Coefficiente asociado a la condicion de aguas en las estructuras presentes en el macizo rocoso	Tuneles secos o con infiltraciones menores (e.g. 5lt/min localmente o solo en algunos sectores)	1	Tabla Anexo B6	
SRF	Coefficiente asociado al posible efecto de la condicion de esfuerzos en el macizo rocoso	Estado tensional de magnitud moderada, condicion de esfuerzos es favorable.	1	Tabla Anexo B7	
<b>Q</b>	<b>29,08</b>				

Tabla 5.

Tabla de resultado de la Evaluación Índice Q

Estación	Evaluación Calidad del macizo rocoso
1	20,63
2	12,07
3	29,08

• **Método RMR:** se realiza un formato con la información que se necesita para el cálculo del método índice RMR, Tabla 9, los datos del formato se encuentran en tablas del anexo C (Método índice RQM).

Figura 35.

Evaluación Método RMR, Estación 1

UIS		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER					
REALIZADO POR:		Ing. Mauricio Vargas Forero		ESTACION:	1	CORD. N	CORD. E
PROYECTO:		Estudio Geomecánico y Geotécnico, Cantera Abásticos		LOCALIZACION: Vereda Alto De La Cruz, Municipio De Chipaque, Cundinamarca			
FECHA:		28/11/2017	TIPO DE ROCA:	Sedimentarias	X	Ignneas:	Metamorfica:
Descripción geomorfológica del sector:		Los datos son tomados en azimuth de buzamiento..			Descripción litológica: Intercalación de liditas, limolitas y arenitas		
		$RMR = P(UCS) + P(RQD) + P(s) + P(JC) + P(WC)$					
VAR.	DESCRIPCION	EVALUACION		PUNTAJE	VALOR	OBSERVACION	
P(X)	Es el puntaje asociado al paramento x			48,96			
UCS	Es la resistencia de compresion uniaxial de la roca "intacta".	Resistencia baja		4,97	40,80 MPa	Resistencia a compresion de la roca. Tabla Anexo B8	
RQD	Calidad de la roca definida por deere et al. (1967)	REGULAR Calidad Geotecnica		10,93	55,60 %	Calidad de la roca Tabla Anexo B9	
s	Espaciamentino entre estructuras	JUNTO		8,06	200 mm	Espaciamentino de las discontinuidades tabla Anexo B10	
JC	Condicion de las estructuras	Estructuras continuas. Estructuras pulidas o abiertas(apertura de 1 a 5mm) o con rellenos blandos de salbanda arcillosa (espesor de 1 a 5mm)		10		Tabla Anexo B11	
WC	Condicion de las Aguas.	Condicion completamente seca		15		Tabla anexo B12	
A	Ajuste al puntaje total por orientacion de la estructura	Taludes		25	Regular	Tabla Anexo B13	
<b>RMR</b>	<b>23,96</b>						

Figura 36.

Evaluación Método RMR, Estación 2

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		FORMATO DE CAMPO - MAPEO									
		EVALUACION DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO									
		METODO RMR									
UIS		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER									
REALIZADO POR:	Ing. Mauricio Vargas Forero	ESTACION:	2	CORD. N		CORD. E					
PROYECTO:	Estudio Geomecanico y Geotecnico, Cantera Abasticos	LOCALIZACION:	Vereda Alto De La Cruz, Municipio De Chipaque, Cundinamarca								
FECHA:	28/11/2017	TIPO DE ROCA:	Sedimentarias	X	Igneas:		Metamorfica:		HOJA:		DE
Descripción geomorfológica del sector:	Los datos son tomados en azimuth de buzamiento..		Descripción litológica:		Intercalación de líticas, limolitas y arenitas						
$RMR = P(UCS) + P(RQD) + P(s) + P(JC) + P(WC)$											
VAR.	DESCRIPCION	EVALUACION			PUNTAJE	VALOR	OBSERVACION				
P(X)	Es el puntaje asociado al paramento x				38,93985						
UCS	Es la resistencia de compresion uniaxial de la roca "intacta".	Resistencia baja			4,12165	31,50 MPa	Resistencia a compresion de la roca. Tabla anexo B8				
RQD	Calidad de la roca definida por deere et al. (1967)	REGULAR Calidad Geotecnica			12,7682	65,50 %	Calidad de la roca Tabla Anexo B9				
s	Espaciamentino entre estructuras	MUY JUNTO a EXTREMADAMENTE JUNTO			7,05	100 mm	Espaciamentino de las discontinuidades Tabla Anexo B10				
JC	Condicion de las estructuras	Estructuras continuas. Estructuras abiertas (apertura >5mm) o con rellenos blandos de salbanda arcillosa (espesor > 5mm)			0		Tabla Anexo B11				
WC	Condicion de las Aguas.	Condicion completamente seca			15		Tabla Anexo B12				
A	Ajuste al puntaje total por orientacion de la estructura	Taludes			25	Regular	Tabla Anexo B13				
<b>RMR</b>	<b>13,9</b>										

Figura 37.

Evaluación Método RMR, Estacion3

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		FORMATO DE CAMPO - MAPEO									
		EVALUACION DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO									
		METODO RMR									
UIS		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER									
REALIZADO POR:	Ing. Mauricio Vargas Forero	ESTACION:	3	CORD. N		CORD. E					
PROYECTO:	Estudio Geomecanico y Geotecnico, Cantera Abasticos	LOCALIZACION:	Vereda Alto De La Cruz, Municipio De Chipaque, Cundinamarca								
FECHA:	28/11/2017	TIPO DE ROCA:	Sedimentarias	X	Igneas:		Metamorfica:		HOJA:		DE
Descripción geomorfológica del sector:	Los datos son tomados en azimuth de buzamiento..		Descripción litológica:		Intercalación de líticas, limolitas y arenitas						
$RMR = P(UCS) + P(RQD) + P(s) + P(JC) + P(WC)$											
VAR.	DESCRIPCION	EVALUACION			PUNTAJE	VALOR	OBSERVACION				
P(X)	Es el puntaje asociado al paramento x				56						
UCS	Es la resistencia de compresion uniaxial de la roca "intacta".	Resistencia baja			4,976298	40,90 MPa	Resistencia a compresion de la roca. Tabla Anexo B8				
RQD	Calidad de la roca definida por deere et al. (1967)	BUENA Calidad Geotecnica			16,088	82,00 %	Calidad de la roca Tabla Anexo B9				
s	Espaciamentino entre estructuras	JUNTO			9,96	400 mm	Espaciamentino de las discontinuidades Tabla Anexo B10				
JC	Condicion de las estructuras	Estructuras continuas. Estructuras pulidas o abiertas(apertura de 1 a 5mm) o con rellenos blandos de salbanda arcillosa (espesor de 1 a 5mm)			10		Tabla Anexo B11				
WC	Condicion de las Aguas.	Condicion completamente seca			15		Tabla Anexo B12				
A	Ajuste al puntaje total por orientacion de la estructura	Taludes			25	Regular	Tabla Anexo B13				
<b>RMR</b>	<b>31</b>										

**Tabla 6.**

*Tabla de resultado de la Evaluación Índice RMR*

<b>Estación</b>	<b>Evaluación Calidad del macizo rocoso</b>
1	23,96
2	13,9
3	31

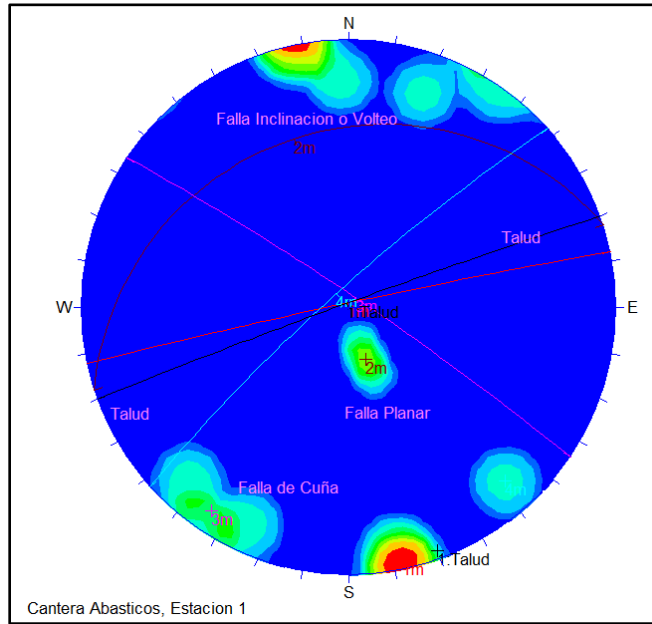
## 7.2 Análisis de las discontinuidades

- **Software Dips (Rocscience):** *DIPS es un programa diseñado para el análisis interactivo de datos geológicos basados en la orientación.* (Rocscience Inc, 2002)

Las discontinuidades o juntas de la roca se analizan por medio de estereogramas, donde se representan las juntas por medio de polos para clasificarlas en familias predominantes y ocasionales. Esta representación se hace con el software Dips (Rocscience), los datos de entrada se encuentran en el formato de campo (Anexo A). A continuación, se presentan los estereogramas con la ubicación de los polos y la calificación de las familias presentes en los puntos de estudio de los macizos rocosos.

**Figura 38.**

*Análisis de familias predominantes, Estación 1*



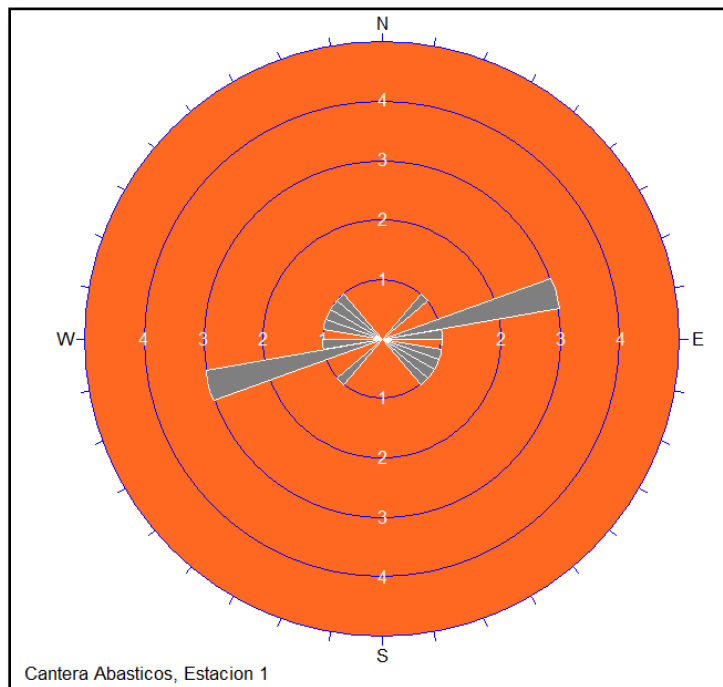
*Nota.* Elaborado con base en el software Dips

**Figura 39.**

*Familias predominantes Estación 1*

	ID	Type	Dip	DipDir	Color	Label
1	1	Set (unweighted)	88	348		Familia 1
2	2	Set (unweighted)	23	342		Familia 2
3	3	Set (unweighted)	85	34		Familia 3
4	4	Set (unweighted)	82	318		Familia 4

*Nota.* Elaborado con base en el software Dips

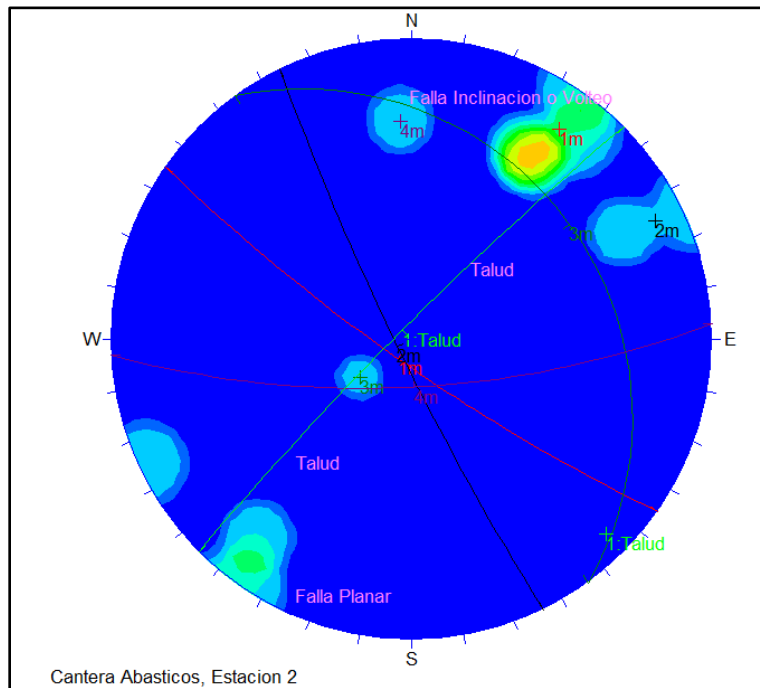
**Figura 40.***Rosetas, Estación 1*

*Nota.* Elaborado con base en el software Dips.

En la estación N° 01 se presentan cuatro familias de las cuales una predominante y tres familias ocasionales, también se puede analizar que en el macizo se identificaron tres fallas, Planar, Cuña y Volteo. Lo anterior tiene una dependencia directa de la inclinación del talud actual que es de  $85^\circ$ , el macizo rocoso tiene un Azimut de  $340^\circ$  y un buzamiento de  $30^\circ$ .

**Figura 41.**

*Familias predominantes, Estación 2*



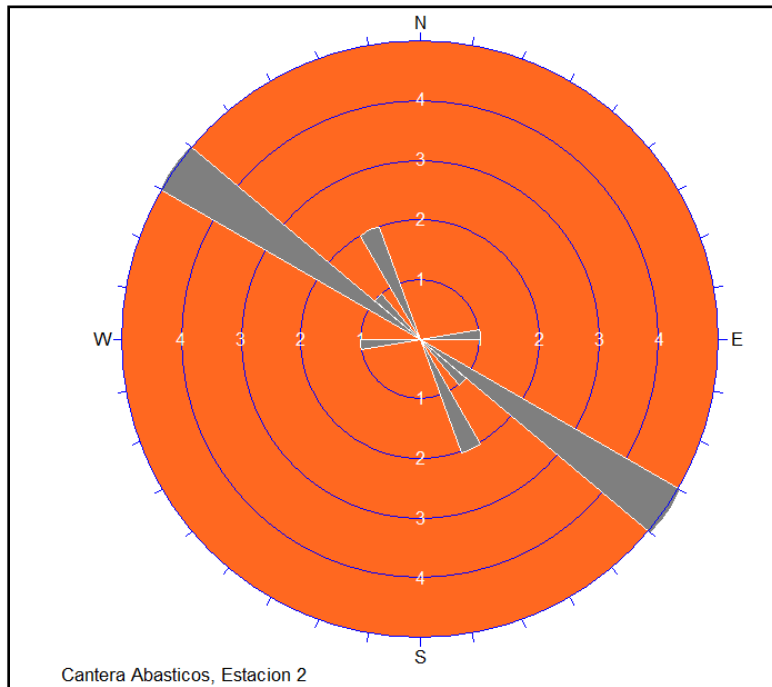
Nota. Elaborado con base en el software Dips

**Figura 42.**

*Angulo de las familias, Estación 2*

	ID	Type	Dip	DipDir	Color	Label
1	1	Set (weighted)	81	215		Famila 1
2	2	Set (weighted)	84	244		Famila 2
3	3	Set (weighted)	24	54		Famila 3
4	4	Set (weighted)	72	177		Famila 4

Nota. Elaborado con base en el software Dips

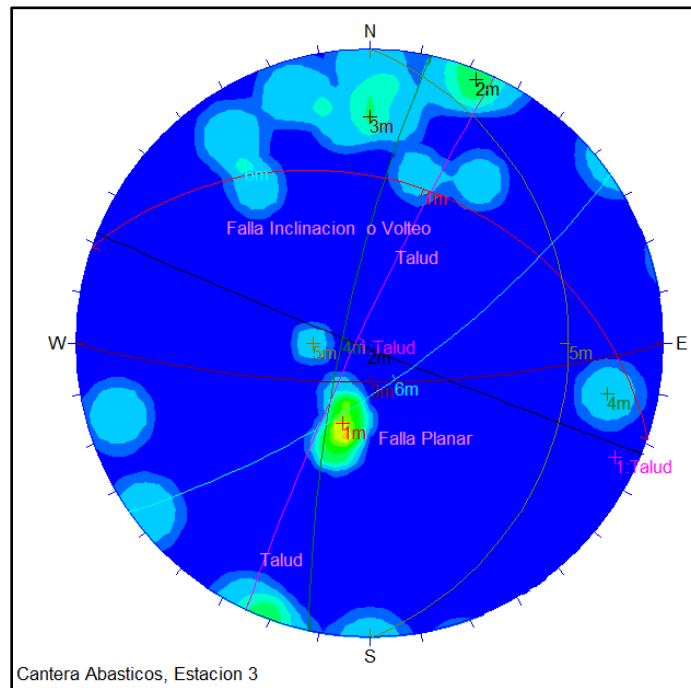
**Figura 43.***Rosetas, Estación 2*

*Nota.* Elaborado con base en el software Dips

En la estación N° 02 se presentan cuatro familias de las cuales dos predominantes y dos familias ocasionales, también se puede analizar que el macizo se identificaron dos fallas, Planar y Volteo con respecto al talud. Lo anterior tiene una dependencia directa de la inclinación del talud actual que es de  $88^\circ$ , el macizo rocoso tiene un Azimut de  $315^\circ$  y un buzamiento de  $23^\circ$ .

**Figura 44.**

*Familias predominantes, Estación 3*



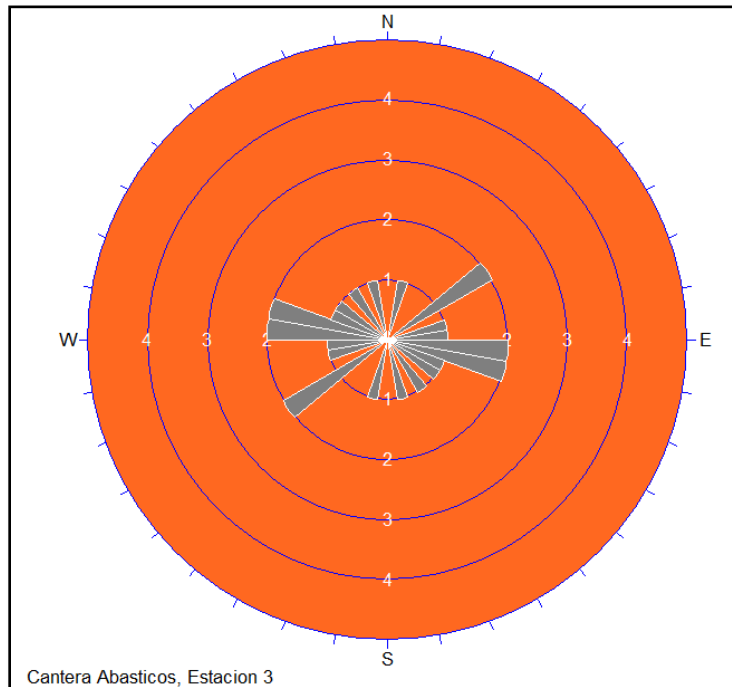
Nota. Elaborado con base en el software Dips

**Figura 45.**

*Familias predominantes. Estación 3*

	ID	Type	Dip	DipDir	Color	Label
1	1	Set (weighted)	32	19		Familia 1
2	2	Set (weighted)	88	202		Familia 2
3	3	Set (weighted)	75	180		Familia 3
4	4	Set (weighted)	79	282		Familia 4
5	5	Set (weighted)	22	90		Familia 5
6	6	Set (weighted)	73	145		Familia 6

Nota. Elaborado con base en el software Dips

**Figura 46.***Roseta, Estación 3*

*Nota.* Elaborado con base en el software Dips

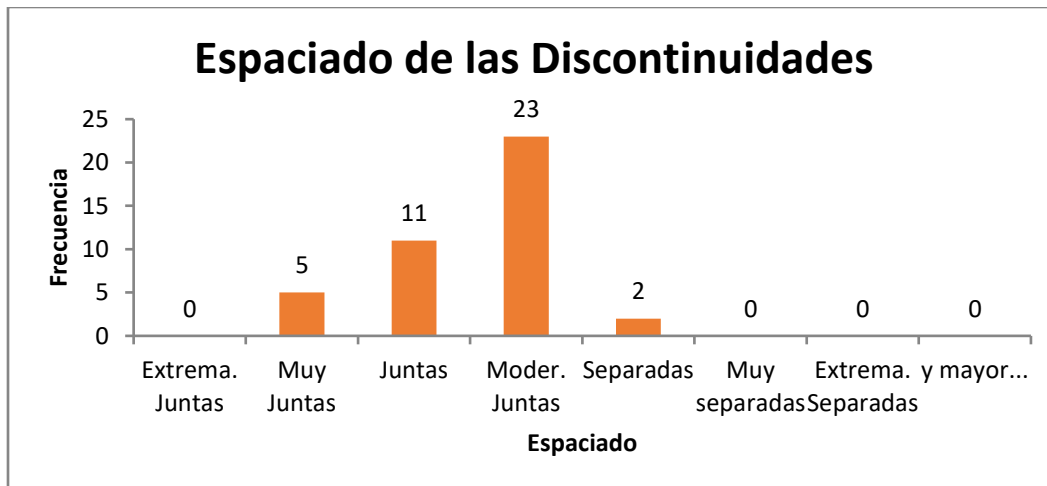
En la estación N° 03 se presentan seis familias de las cuales una predominantes y cinco familias ocasionales, también se puede analizar que el macizo se identificaron dos fallas, Planar y Volteo con respecto al talud. Lo anterior tiene una dependencia directa de la inclinación del talud actual que es de  $86^\circ$ , el macizo rocoso tiene un Azimut de  $292^\circ$  y un buzamiento de  $16^\circ$ .

Para tener una mejor interpretación de la caracterización de las discontinuidades presentes en el macizo rocoso, se interpretan los datos en un análisis estadístico por medio de Histogramas utilizando el software Dips, se analizan los siguientes parámetros: Espaciado, Continuidad, Abertura, Rugosidad, Rellenos y Espesor.

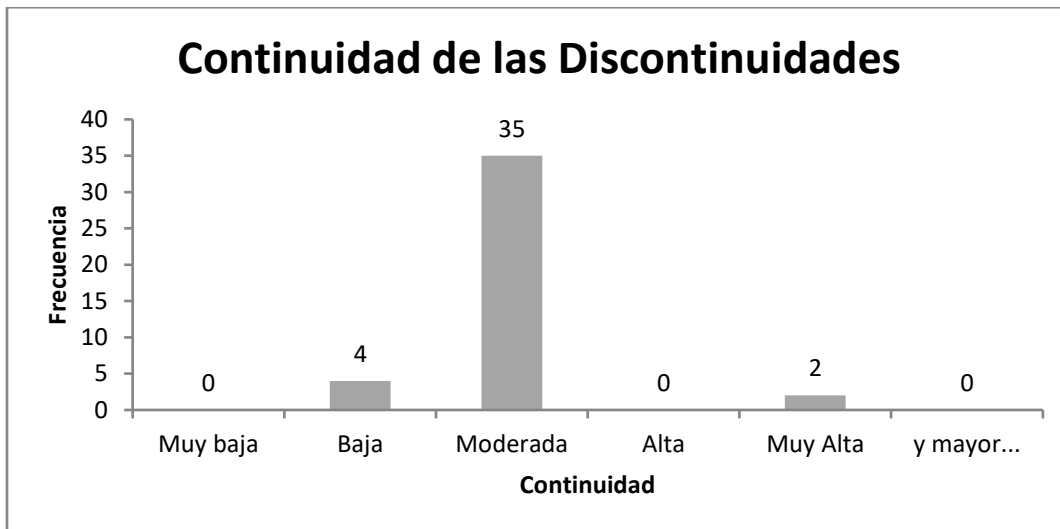
En la siguiente grafica representa el espacio que existe entre las juntas o discontinuidades, representando a si las dimensiones de los bloques existentes en todo el talud de la mina.

**Figura 47.**

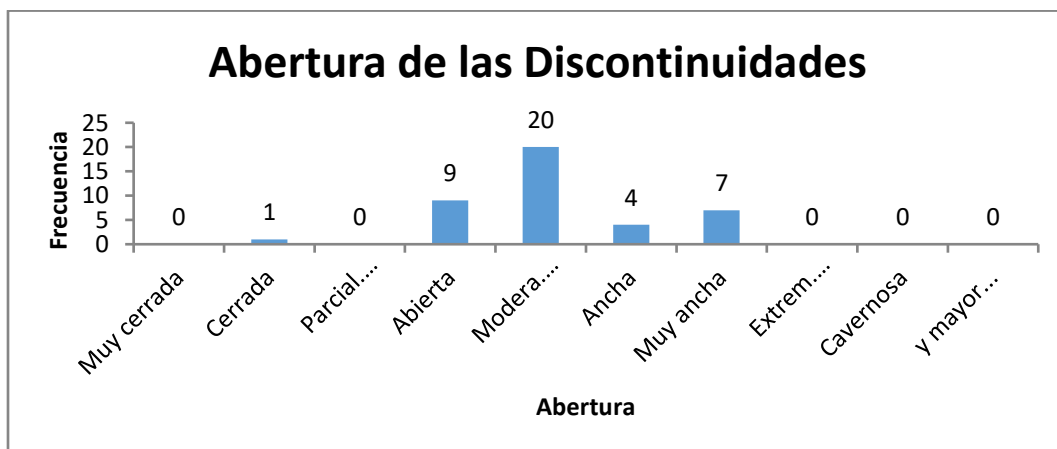
*Espaciado de las discontinuidades*



La continuidad de las juntas nos indica que tan pronunciada o marcada esta la discontinuidad en todo el talud. Para este talud se encuentra moderada.

**Figura 48.***Continuidad*

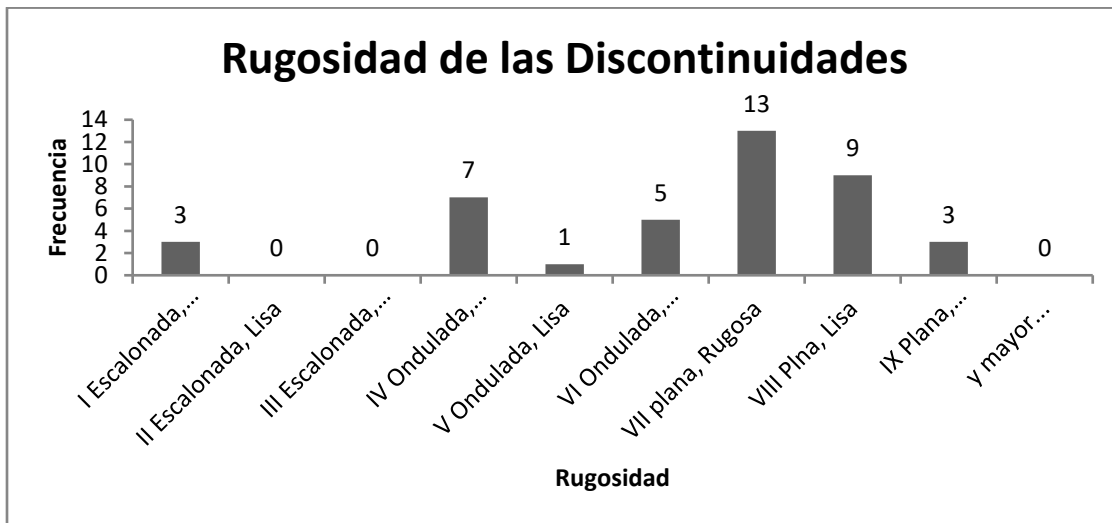
Las aberturas de las juntas nos indican que tan marcada se encuentra la roca, influyendo así su comportamiento geo mecánico en la estabilidad del talud.

**Figura 49.***Abertura*

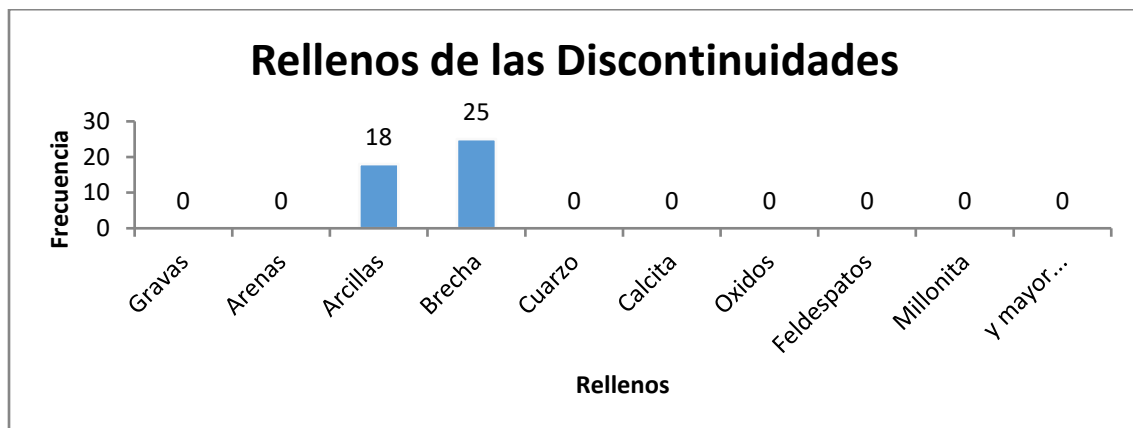
Una característica muy importante en las juntas es su rugosidad, debida a que esta condición es muy importante para calcular los parámetros geotécnicos de las discontinuidades y posterior realizar el modelo del talud.

**Figura 50.**

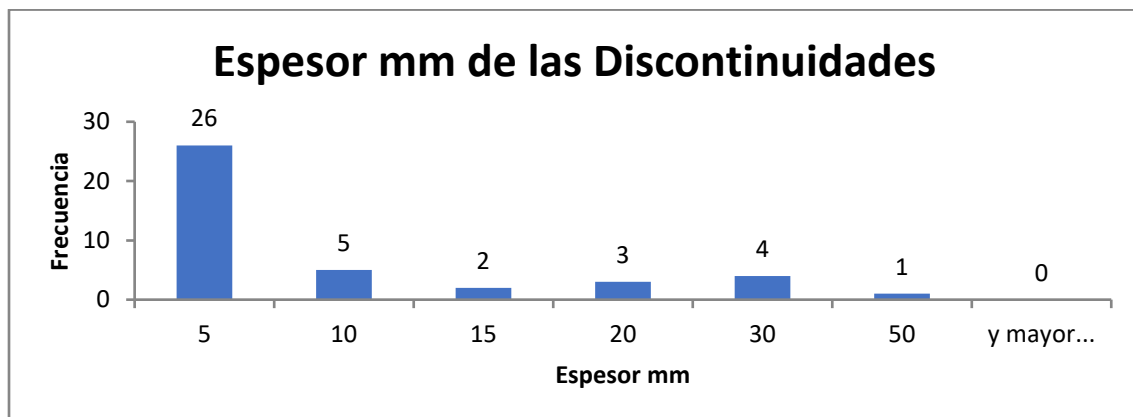
*Rugosidad*



Los rellenos en las juntas son materiales que se van acumulando a través del tiempo, haciendo esta una característica que ayuda a la fracturación de la roca. A continuación, se presentan los rellenos de las juntas en el macizo rocoso.

**Figura 51.***Rellenos*

La medición del espesor de las juntas, es un parámetro geo mecánico para el modelo de las discontinuidades en el talud de roca.

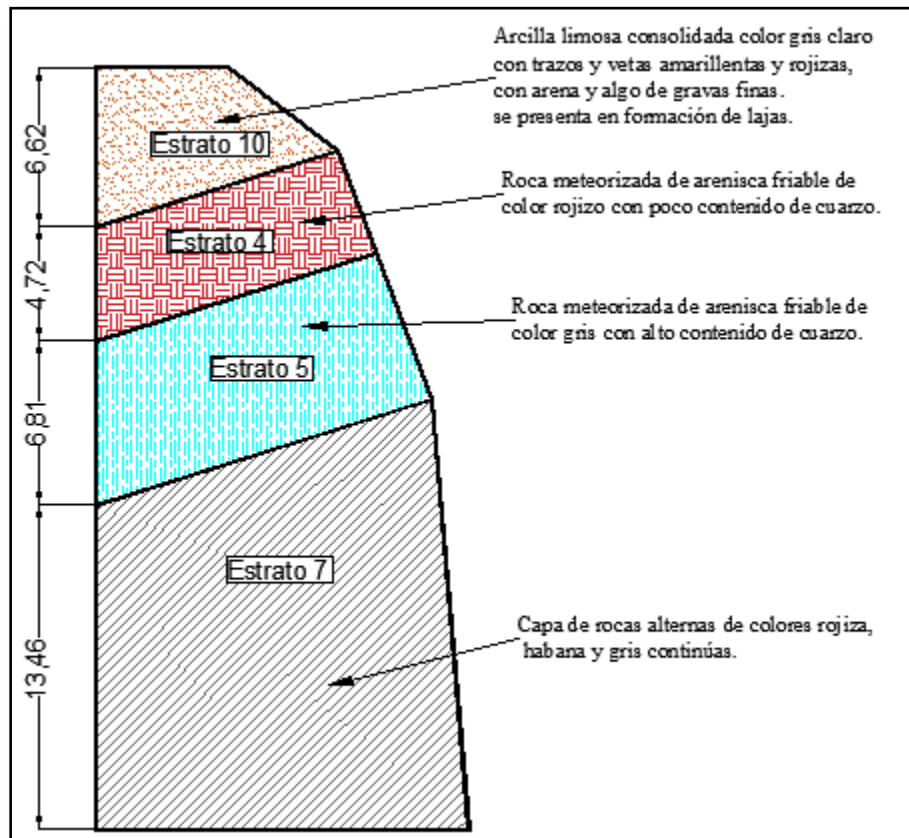
**Figura 52.***Espesor mm*

### 7.3 Parámetros Geotécnicos y Geomecánicas

La solución para este proyecto es diseñar el talud final de la mina abasticos, para este fin de seleccionar el punto de estudio en la estación N° 01, en este sitio se encuentran localizados los tres macizos rocosos o estratos de la mina que está explotando, se hace un perfil del terreno en este punto con ayuda del plano topográfico y el reconocimiento de campo de los estratos de suelo y roca existente en el lugar. A continuación, se presenta el talud con sus estratos de roca y suelo a estudiar.

**Figura 53.**

*Perfil de terreno, talud de estudio*



Con las muestras recogidas de suelo y roca en la mina, se llevaron al laboratorio, para realizar su clasificación y caracterización, con el objetivo de estimar los parámetros y propiedades de los estratos presentes en el talud de la mina que se va a diseñar. (Anexo D).

A continuación, se presentan los cuadros de las propiedades y parámetros de los estratos del talud.

**Tabla 7.**

*Clasificación del estrato de suelo.*

<b>CLASIFICACION ESTRATOS DE SUELO</b>	
Gravas %	9,70%
Arena %	35,70%
Finos %	54,70%
Límite líquido %	30,48%
Límite Plástico %	17,80%
índice de plasticidad	12,68%
Clasificación U. S. C. S.	CL-ML
Descripción	Limos y arcillas, arcillas inorgánicas de baja y media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas y arcillas pobres. Limos orgánicos, polvo de roca, limos arenosos, ligeramente plásticos.
Referencia	Ensayo de laboratorio Anexo A

**Tabla 8.**

*Parámetros del estrato de suelo.*

<b>Parámetros de estrato de Suelo</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Referencia</b>
Módulo de Young (MPa)	32.5	Tabla Anexo B1
Poisson	0.25	Tabla Anexo B5
Angulo de fricción interna (deg)	28	Tabla, Anexo B2, B3
Cohesión (MPa)	0.035	Tabla Anexo B2

Parámetros de estrato de Suelo		
Parámetro	Valor	Referencia
Esfuerzo Normal (MPa)	0.109	Anexo B3, B4.

#### 7.4 Parámetros de los Macizos rocosos.

Con las evaluaciones de la calidad de los macizos rocosos: métodos GSI, índice Q y RMR, se realizan ensayos de campo (Esclerómetro) y la toma de muestras del estrato de roca se llevan a laboratorio para estimar los parámetros de la roca (Anexo D). También se utilizó el software RocData (Rocscience), para la estimación de parámetros de los macizos rocosos presentes en la mina.

- **RocData (Rocscience):** Es un programa de computación que permite determinar los parámetros de resistencia del macizo rocoso, de acuerdo al criterio de rotura generalizado de Hoek – Brown. (Rocscience Inc, 2004)

#### Tabla 9.

*Parámetros de los estratos de roca*

Parámetros de los estratos de Roca (Macizos rocosos)				
Parámetro	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 7	Referencia.
Índice. GSI	25	35	45	Tabla 4.
Peso específico (Mpa)	0.026	0.026	0.026	Anexo B2
Poisson	0.3	0.3	0.3	Anexo B5
Rebotes del martillo Schmidt	31	41	41	tablas 5,6,7
Resistencia a la compresión simple (Mpa)	60	90	90	Anexo B6, B10
Módulo de deformación Ei (Mpa)	16500	24750	24750	Anexo B7, B8, B9
Módulo de deformación Em (Mpa)	416	812	1255	Anexo B7, B8, B9

Parámetros de los estratos de Roca (Macizos rocosos)				
Parámetro	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 7	Referencia.
mb	0.08	0.164	0.334	Anexo B7, B8, B9
s	3.73E-06	1.97E-05	0.0001	Anexo B7, B8, B9
a	0.531	0.516	0.508	Anexo B7, B8, B9
Cohesión (Mpa)	0.765	1.726	2.409	Anexo B7, B8, B9
Angulo de fricción	9.84°	13.76°	18.27°	Anexo B7, B8, B9

### 7.5 Parámetros De Las Juntas o Discontinuidades De Los Macizos Rocosos.

En el sitio de estudio las juntas o discontinuidades hacen parte de la estructura del macizo rocoso, estas juntas determinan el grado de estabilidad o inestabilidad del talud en la mina. Para la modelación y diseño del talud final se tienen en cuenta tres familias de discontinuidades por cada estrato de roca. Para el cálculo de los parámetros de las discontinuidades se describen a continuación las siguientes ecuaciones:

**Tabla 10.**

*Ecuaciones para el cálculo de los parámetros de las juntas o discontinuidades.*

Parámetro	Ecuación	Variables
Módulo de rigidez normal (MPa)	$k_n = \frac{E_i E_m}{L(E_i - E_m)}$	kn = Rigidez normal de la junta Em = Módulo de masa de roca Ei= Módulo de roca intacta. L = Separación media entre juntas (Phase2, 2017)
Módulo De Rigidez Cortante (Mpa)	$k_s = \frac{G_i G_m}{L(G_i - G_m)}$	ks = Rigidez de corte de la junta Gm = módulo de corte de masa roca Gi= módulo de corte roca intacta. L = separación media entre juntas (Phase2, 2017)

Parámetro	Ecuación	Variables
Angulo De Fricción Residual (Dec)	$\phi_r = (\phi_b - 20) + 20(r/R)$	$\phi_r$ = Angulo de fricción residual .r= Numero de rebote del martillo Schmidt en superficies húmedas y erosionadas. R= Numero de rebote del martillo Schmidt en superficies aserradas secas y no erosionadas. $\phi_b$ = Angulo de fricción básico de la superficie de falla. (Ramirez Oyangueren & Monge, 2004, pág. 87)
Rugosidad De La Junta JRC (0-20)	Superficie ondulada y rugosa. (3)	Anexo: Tabla B10, Tabla E5
Resistencia A La Compresión JCS (Mpa)	$JCS = \frac{\sigma n}{5}$	(Ramirez Oyangueren & Monge, 2004, pág. 97).
Dip	Angulo de inclinacion de la junta.	Datos de campo, familias predominantes.
Módulo de la masa roca	Calculo software Rocdata	(Rocscience Inc, 2017)
Módulo de la roca intacta	Calculo software Rocdata	(Rocscience Inc, 2017)

Nota. Elaborado basado en las ecuaciones de Barton-Bandis, Referencia documentación Phase2 V8.0, Artículo evaluación del módulo de deformación en macizos rocosos y el proyecto de grado “Resistencia de las discontinuidades rocosas al esfuerzo cortante”.

A continuación, se presentan los parámetros y propiedades de las juntas que se utilizaron en este estudio.

**Tabla 11.**

*Parámetros De La Juntas o Discontinuidades*

Parámetro	Parámetros de las discontinuidades			Referencia
	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 7	
Inclinación (Disp)	84°, 24°, 72°	88°, 23°, 82°	88°, 22°, 32°	Tabla: Familias predominantes
Angulo Básico	35°	35°	35°	Anexo B11.

Parámetro	Parámetros de las discontinuidades			Referencia
	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 7	
Angulo residual	33°	33°	33°	Tabla 36
JCS (MPa)	12	28	28	Tabla 36
JRS (0-20)	14	14	14	Tabla 36
Separación media entre Juntas (mm)	100	200	400	Tabla 36.
Módulo de Rigidez (MPa/m)	4267	4197	3305	Tabla 36
Módulo de Rigidez cortante (MPa/m)	1641	1612	1269	Tabla 36

## 8. Modelación Del Talud

**Phase2 V8.0 (Rocscience):** Programa bidimensional de elementos finitos 2D de plástico para calcular tensiones y desplazamientos alrededor de las aberturas subterráneas, y se puede utilizar para resolver una amplia gama de problemas de minería e ingeniería civil, que involucran: (Rocscience Inc, 2017)

- Deformación plana o asimetría
- Materiales Elásticos o Plásticos.
- Excavaciones escalonadas (hasta 50 etapas)
- Múltiples materiales
- Soporte (pernos y hormigón proyectado)
- Estrés de campo CONSTANTE o GRAVEDAD.
- Roca articulada.

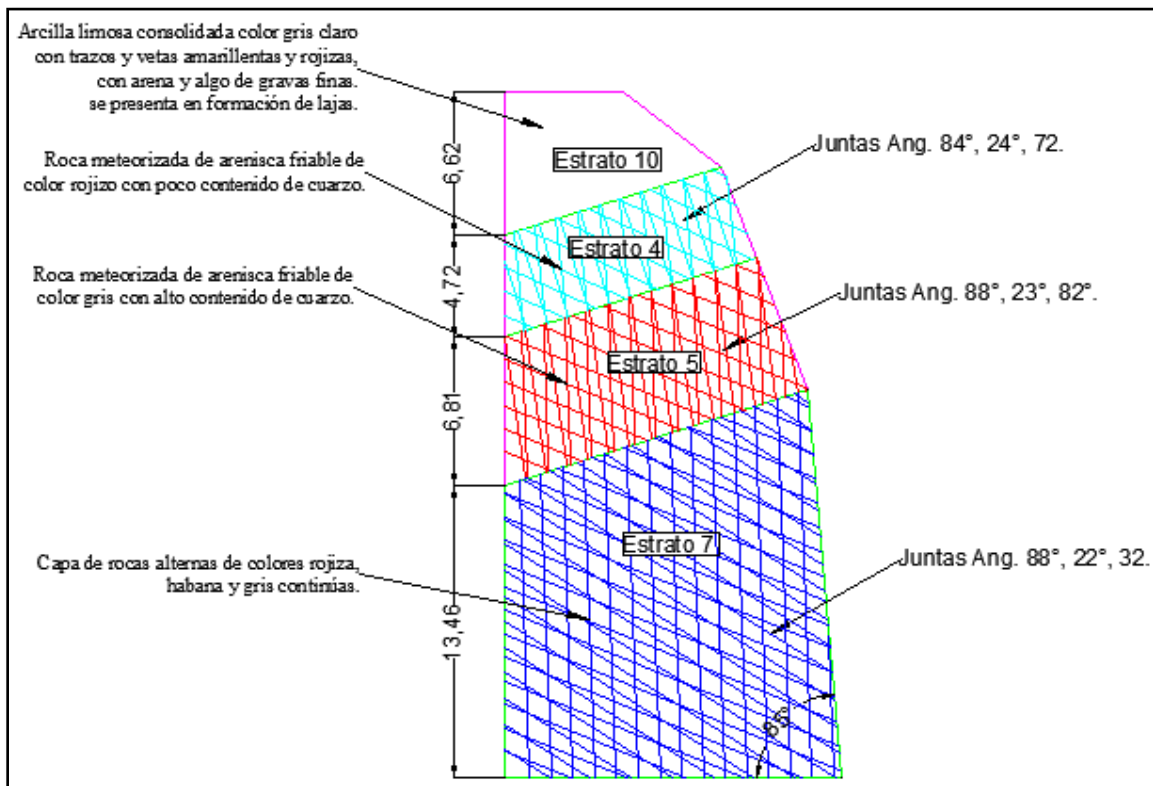
- Agua subterránea (incluya la presión intrusiva en el análisis)

### 8.1 Modelación Talud Mina Abasticos

Par hacer el modelo geotécnico del talud en la mina Abasticos se tiene en cuenta todos los parámetros necesarios y condiciones actuales del sitio, como son: ángulo de inclinación del talud, estratos de roca y suelo, calidad de los macizos rocosos y juntas o discontinuidades. También se tiene en cuenta la dirección donde van a quedar conformado el diseño final del talud, para el caso de estudio se tomó el sitio de la estación N° 1. A continuación se presenta un el perfil del talud.

**Figura 54.**

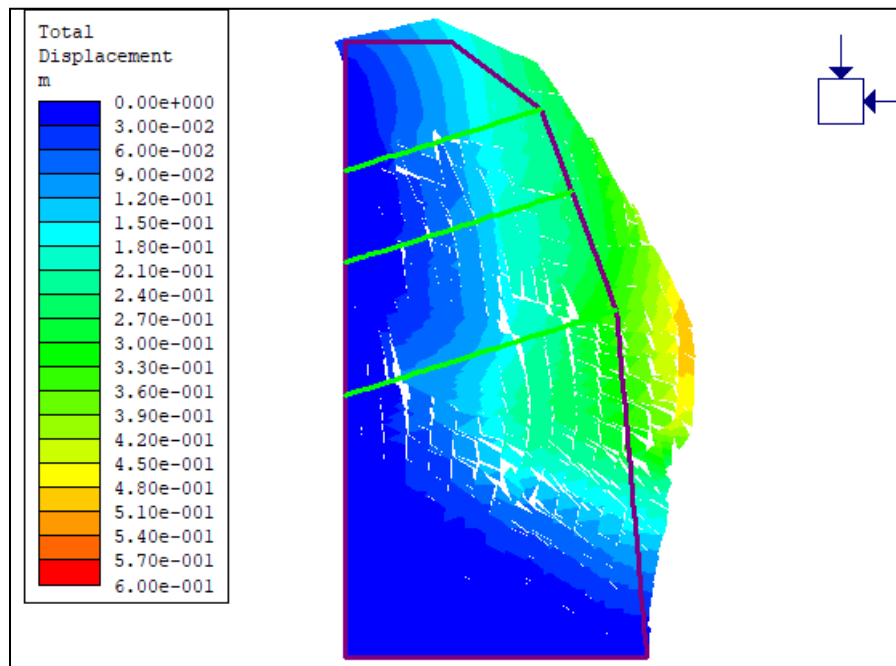
*Perfil del talud inicial*



Una vez se tiene el perfil de terreno se realiza la Modelación del talud en el software Phase2 V8.0, con los parámetros del macizo rocoso de los estratos presentes y las discontinuidades o juntas (tablas 21, 22 y 23). Para este primer análisis se hace una simulación estática con el fin de conocer su estado del talud actual. A continuación, se presentan el modelo con sus deformaciones y su factor de seguridad.

**Figura 55.**

*Deformación Total del Talud*



*Nota.* Elaborado con base al Software Phase2.

Para el cálculo del factor de seguridad se tiene en cuenta los siguientes criterios:

- En enfoque clásico utilizado en el diseño de estructuras de ingeniería es considerada la relación entre la resistencia o soporte a la carga del sistema y la demanda o carga calculada actuando sobre el sistema. El factor de seguridad (FS) es una medición determinística de la relación

entre las fuerzas residentes (capacidad) y las fuerzas actuantes (demanda). (Huamán Aparicio & Ardiles Velasco, 2017)

$$FS = \frac{C}{D}$$

FS= Factor de seguridad

C= Capacidad de soporte de carga del sistema

D= Demanda sobre el sistema o fuerzas actuantes

Existen tres posibles escenarios:

1. Cuando  $C > D$ , luego  $C/D > FS > 1.0$ , el sistema es estable.
2. Cuando  $C < D$ , luego  $C/D < FS < 1.0$  el sistema es inestable
3. Cuando  $C = D$ , luego  $C/D = FS = 1.0$  el sistema esta en equilibrio limite.

El concepto de probabilidad de falla se emplea tomando en cuenta la variabilidad de las características de la resistencia del macizo rocoso por tratarse de un material heterogéneo, no lineal y no elástico, son difíciles de ser representados por un único valor y por tanto el criterio de aceptación obtenido de un factor de seguridad tiene implícito un riesgo e incertidumbre y puede conducir a recomendaciones incorrectas. (Huamán Aparicio & Ardiles Velasco, 2017)

Hay dos opciones de uso de la probabilidad de falla PF:

1. Reconoce al FS como una variable al azar y busca la probabilidad de ser igual o menor que 1.0

$$PF = P (FS) \leq 1.0$$

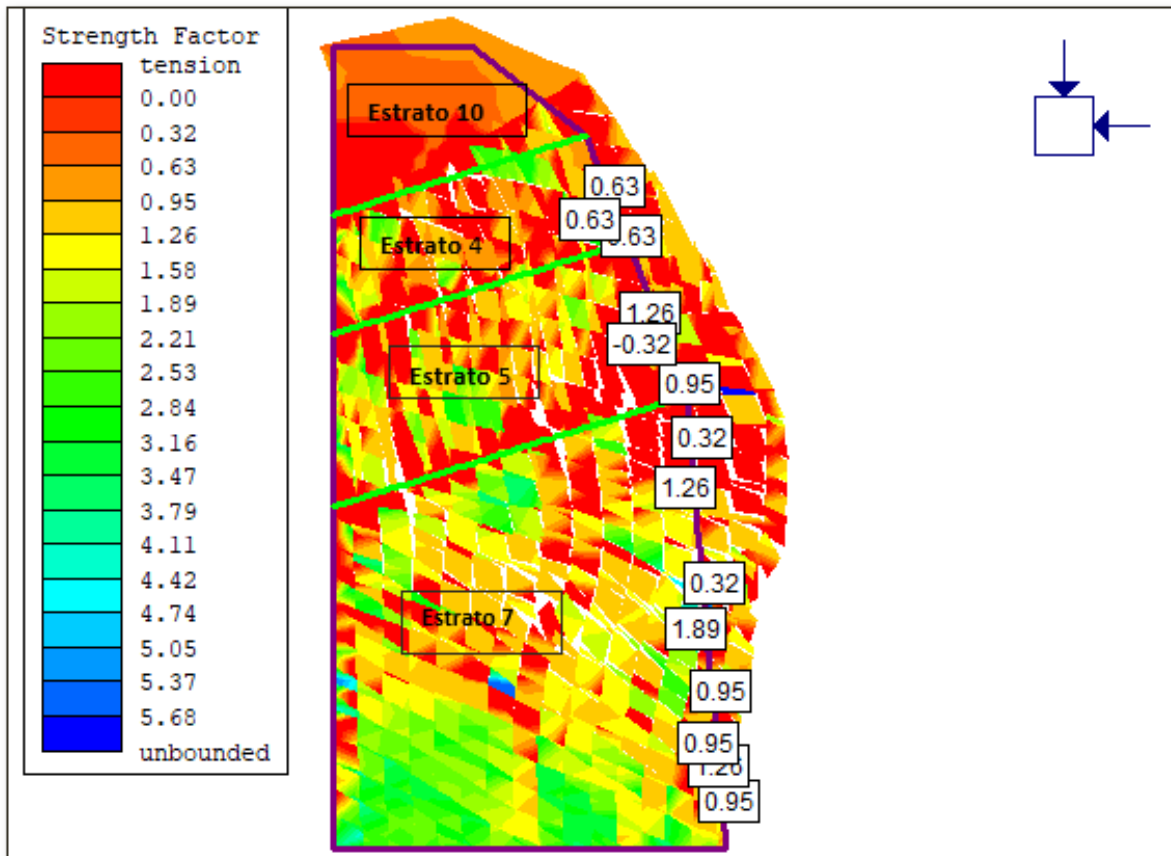
2. La probabilidad de la demanda (D) exceda la capacidad:

$$PF = (C - D) \leq 0.0$$

Para nuestro caso de estudio se toma la primera opción donde se toma el promedio factor de seguridad del bloque de roca presentes en la pared del talud. A continuación, se muestra la imagen con los factores de seguridad en los bloques del talud.

**Figura 56.**

*Factor de seguridad, Talud inicial*



*Nota.* Elaborado con base al Software Phase2.

Para el cálculo del factor de seguridad promedio del talud actual en la mina se presenta la siguiente tabla con los valores obtenidos en la modelación.

**Tabla 12.***Datos de los factores de seguridad del talud inicial*

<b>Factores de Seguridad - Talud inicial</b>			
<b>N° Datos</b>	<b>Estrato 4</b>	<b>Estrato 5</b>	<b>Estrato 7</b>
1	0.95	0.95	0.32
2	0.95	0.32	0.63
3	0.63	0.95	1.26
4	0	0.95	0.00
5	0.63	1.26	0.63
6	0	0.95	0.63
7	0	1.89	1.26
8	0.63	0.32	1.89
9	0.95	1.58	0.95
10	0.63	0	0.63
<b>PFS</b>	<b>0.54</b>	<b>0.92</b>	<b>0.82</b>

*Nota.* Elaborado con base a los resultados de Phase2.

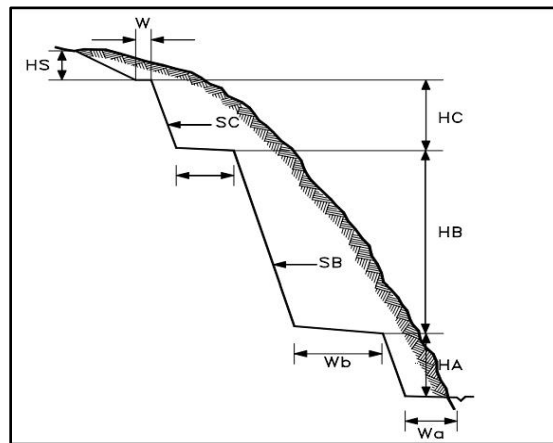
Se toman registro de los factores de seguridad en los tres estratos de roca del talud por separado, debido a que las características y condiciones de estos estratos son diferentes. El sistema del talud es inestable donde el  $FS > 1.0$ .

## **8.2 Diseño del Talud final**

Para la geometría del talud y su dimensionamiento se toman como referencia los criterios para el diseño de taludes en roca de (West Virginia U.S.A.), Imagen 12 y en la tabla 20. (Suarez, 1998)

**Figura 57.**

*Detalle de la geometría del talud en roca (West Virginia U.S.A)*



*Nota.* Deslizamiento Y Estabilidad De Taludes En Zonas Tropicales, Capitulo 12, 1998.

**Tabla 13.**

*Crterios para el diseño de taludes en roca (West Virginia U.S.A)*

Tipo de Roca	Alturas		Anchos		Taludes	
	Ha	Hb - Hc	Wa	Wa - Wb	Sa	Sb - Sc
Cortes en Lutita intercalados con areniscas	2 a 6	6 a 10	0 a 10	6 a 12	1/2: 1	1/4: 1 a 1
<b>Areniscas</b>	<b>3 a 10</b>	<b>10 a 14</b>	<b>0 a 6</b>	<b>6 a 10</b>	<b>1/4: 1</b>	<b>1/4: 1</b>
Areniscas sobre lutitas (cortes altos)	3 a 10	10 a 14	0 a 8	6 a 12	1/4: 1	1/4: 1 a 1
Areniscas y Lutitas, cortes moderados	3 a 14	6 a 14	0 a 6	6 a 10	01:01	1/4 : 1
Cortes de lutita	3 a 8	6 a 10	0 a 10	6 a 10		1/2 : 1 a 2:1

*Nota.* Deslizamiento Y Estabilidad De Taludes En Zonas Tropicales, Capitulo 12, 1998

Para el diseño del talud final de la mina se consideran cargas gravitacionales o estáticas y cargas generadas por eventos sísmicos, para este análisis se toman como referencia las tablas de la Norma Sismo Resistente 2010, parámetros sísmicos del sitio Titulo A (Asociacion Colombia de Ingenieria Sismica, 2010)), y los Factores de Seguridad Mínimos Directos Titulo H ( (Asociacion

Colombia de Ingeniería Sísmica, 2010)). A continuación, se presentan los parámetros sísmicos y los Factores de Seguridad mínimos:

**Tabla 14.**

*Parámetros de sísmicos*

Parámetro Sísmico	Caqueza	Chipaque	NSR2010
Aa	0,25	<b>0,2</b>	Apéndice A-4
Av	0,25	<b>0,25</b>	Apéndice A-4
Ae	0,15	0,11	Apéndice A-4
Ad	0,06	0,05	Apéndice A-4
Zona Sísmica	Alta	Alta	Apéndice A-4
Valores Kas/Amaz RQD<50%		0,80	Tabla H 5.2-1
Clasificación de los perfiles del suelo		Tipo B	Tabla A 2.4-1

*Nota.* Elaborado con base en Título A y Título H. NSR 2010

**Tabla 15.**

*Factores de Seguridad Mínimos Directos*

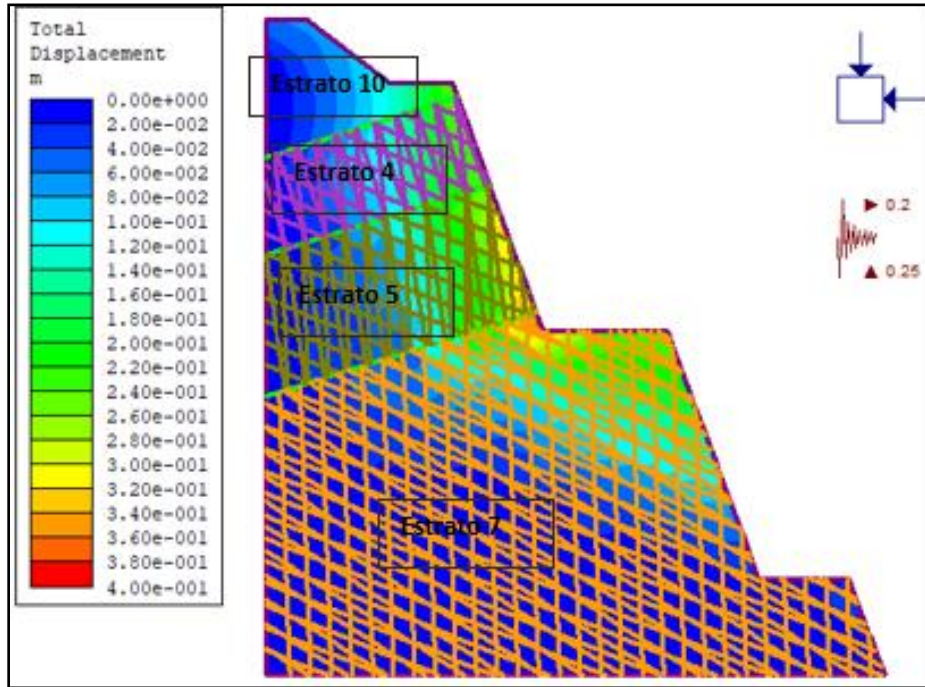
Condición	FSBM		FSBUM	
	Diseño	Construcción	Diseño	Construcción
Taludes - Condición Estática Y Agua Subterránea Normal.	<b>1,50</b>	1,25	<b>1,80</b>	1,40

*Nota.* Elaborado basadas en la NSR10. Tabla H.4.2.1.

Para obtener el diseño final del talud se realizan varios modelos, donde la pendiente del talud es variable, que son: 50°, 60°, 65°, 70°, 75° y 80°. Esto se hace para analizar el comportamiento de los macizos con respecto a la inclinación del talud y poder obtener el diseño final del talud en la mina “Abásticos”. A continuación, se presenta un modelo con la inclinación talud a analizar.

**Figura 58.**

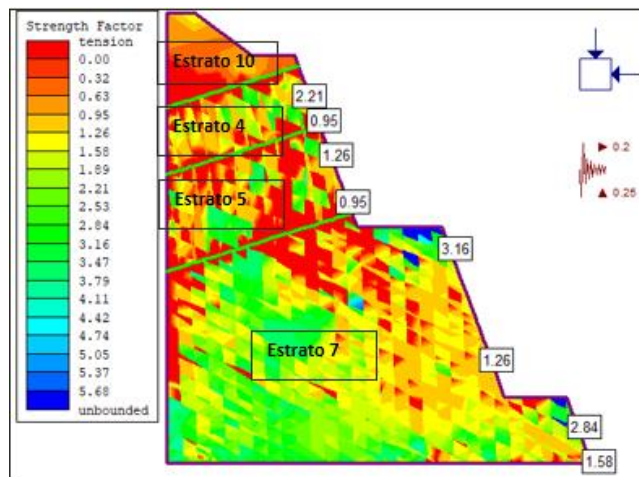
*Modelo, desplazamiento total, talud con una inclinación de 70°.*



*Nota.* Elaborado con base al software Phase2.

**Figura 59.**

*Modelo. Factor de seguridad, Talud inclinación 70°*



*Nota.* Elaborado con base al software Phase2.

A continuación, se presentan los resultados de factor de seguridad obtenidos en las modelaciones con un talud de inclinación variable, los ángulos de inclinación son: 50°, 60°, 65°, 70°, 75° y 80°.

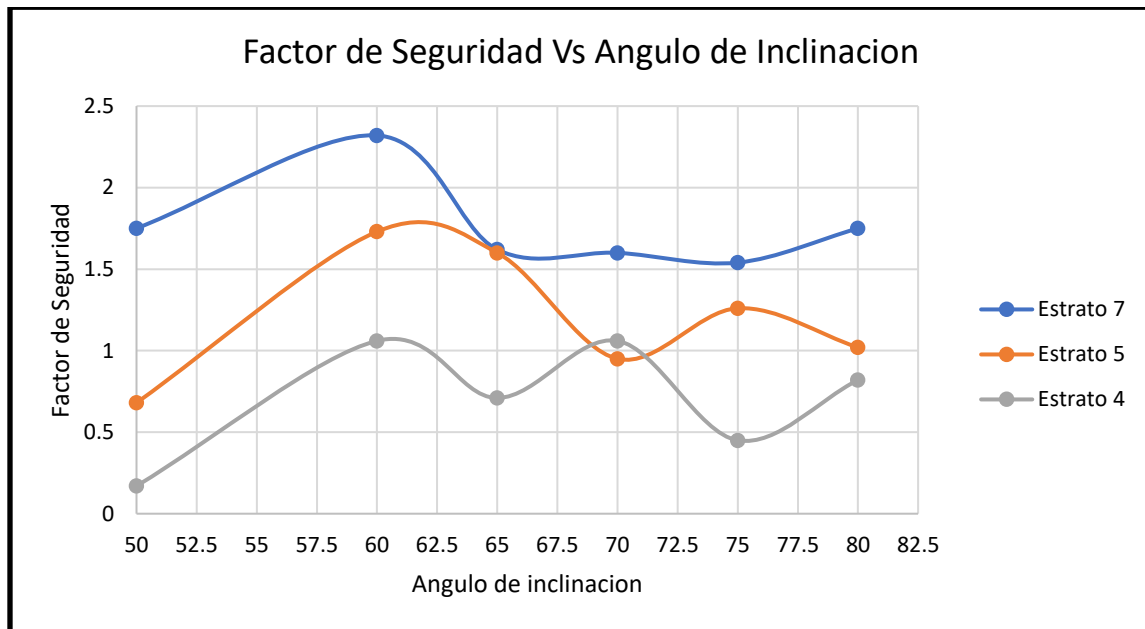
**Figura 60.**

*Valores de Factor de seguridad del modelo con ángulo de inclinación variable.*

		FACTOR DE SEGURIDAD																	
N°	Angulo	EST. 5	EST. 4	EST. 7	EST. 5	EST. 4	EST. 7	EST. 5	EST. 4	EST. 7	EST. 5	EST. 4	EST. 7	EST. 5	EST. 4	EST. 7	EST. 5	EST. 4	EST. 7
		50°	50°	50°	60°	60°	60°	65°	65°	65°	70°	70°	70°	75°	75°	75°	80°	80°	80°
1		0.95	0.00	1.26	0.32	0	1.58	1.26	1.26	2.84	1.58	0.32	1.58	0	0.63	1.26	0.95	0	0.32
2		0.95	0.32	1.89	2.53	0	2.21	1.58	0.63	1.26	0.95	0.95	2.21	2.21	0	1.26	0.63	0.95	0.32
3		0.95	2.21	4.11	1.26	0.63	3.16	1.26	0.95	0	2.84	2.21	1.89	1.26	0.95	1.58	0.95	0.63	1.89
4		0	0.00	3.47	3.16	0.32	1.58	1.26	0.95	2.53	1.26	1.26	3.16	1.58	0.63	2.84	0.95	0.95	4.74
5		1.26	0.00	1.26	1.58	0.95	3.47	3.79	2.53	1.58	1.26	0.95	2.84	1.26	0	1.26	1.26	3.47	4.42
6		0.32	0.00	0.95	1.26	2.21	2.21	0.95	0	1.58	0	1.26	0.95	0.95	0.63	0.95	0.32	1.26	2.84
7		0.32	0.00	1.26	1.89	1.58	4.11	1.58	0	2.53	1.26	1.58	0.95	1.26	0.95	1.89	0.95	0.95	1.89
8		0.32	0.00	0.95	1.89	2.53	0.95	1.58	0	1.26	2.84	0.95	0.95	1.26	0.63	1.26	1.26	0.32	1.26
9		0.32	0.00	1.58	0.32	2.21	1.89	1.89	0.63	1.58	0.63	0	1.26	3.16	0	1.26	1.58	0.63	1.58
10		0	0.00	1.89	2.21	1.58	2.21	2.21	1.26	1.26	0.32	0.95	1.26	1.26	0.95	2.21	0.63	0.95	1.26
11		0.95	0.00	2.53	3.16	1.58	1.89	1.58	0.95	0.95	0.32	1.26	1.58	1.26	0.32	2.21	1.89	0.95	1.26
12		0.32	0.00	1.89	0.95	0	2.21	1.26	0.63	1.26	1.26	0.95	0.95	1.26	0.95	0.32	1.26	0.32	1.26
13		0	0.00	0.95	1.26	0.63	2.89	1.58	0	2.21	0	0.95	1.58	2.21	0	1.89	1.26	0.63	0.32
14		0	0.00	0.95	2.53	0.32	2.84	2.21	0	2.21	0	1.58	3.16	0	0	2.21	1.89	0.95	3.16
15		3.47	0.00	0.95	1.89	0.95	4.11	0.32	0.95	1.26	0.63	0.32	0.32	0.63	0.63	1.26	0.32	0.95	1.26
16		1.26	0.00	2.21	1.58	1.89	1.58	1.26	0.63	0.95	0.95	1.26	2.21	1.26	0.32	0.95	0.95	0	0.95
17		0.63	0.00	1.58	1.58	0.63	0.52	1.58	0.63	2.21	0	1.26	0.32	0.63	0	1.58	0.32	0	0.95
<b>FS</b>		<b>0.68</b>	<b>0.17</b>	<b>1.75</b>	<b>1.73</b>	<b>1.06</b>	<b>2.32</b>	<b>1.60</b>	<b>0.71</b>	<b>1.62</b>	<b>0.95</b>	<b>1.06</b>	<b>1.60</b>	<b>1.26</b>	<b>0.45</b>	<b>1.54</b>	<b>1.02</b>	<b>0.82</b>	<b>1.75</b>

**Figura 61.**

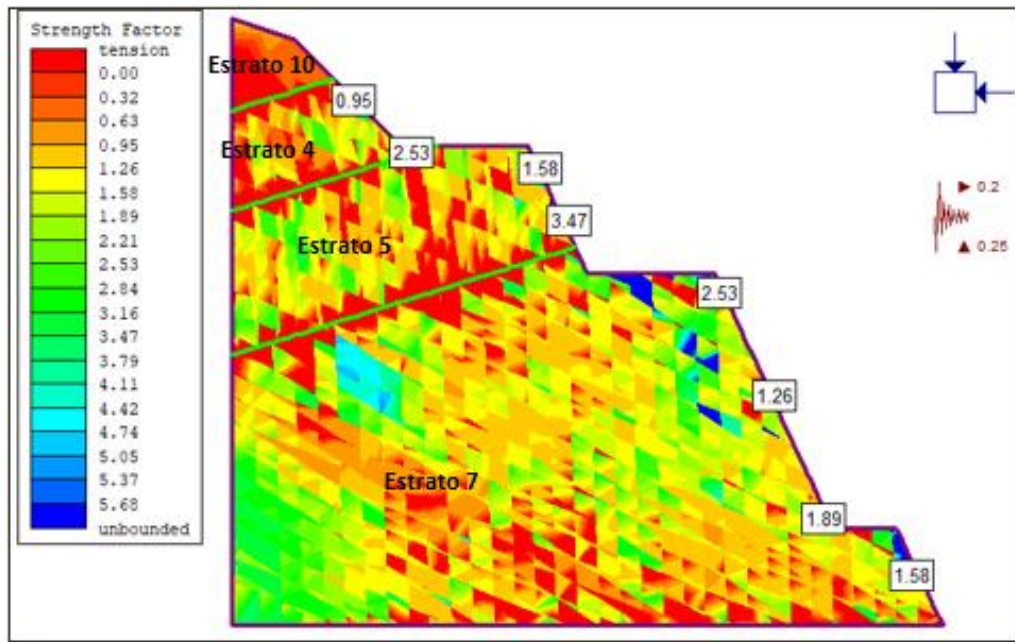
*Promedio del Factor de Seguridad Vs. Ángulo de Inclinación*



En la anterior grafica se observa el comportamiento de inclinación del talud respecto al Factor de seguridad de cada estrato, se analiza que el estrato N° 4, que es una roca muy meteorizada y de mala calidad que para las condiciones del talud propuesto es inestable en casi todos los casos del modelo. Para solucionar este caso se asume este estrato como un suelo, dándole una inclinación de 45° y reduciendo la altura del talud a 6 m. Los estratos 5 y 7 el ángulo de inclinación del taludes de 63°, en donde se busca llegar a un factor de seguridad de 1,80, valor mínimo para cumplir con la NSR10. A continuación se presenta el modelo final del talud en la mina “Abásticos”.

**Figura 62.**

*Factor de seguridad, inclinación del talud 63°*



*Nota.* Elaborado con base en el Software Phase2.

**Tabla 16.**

*Valores del Factor de Seguridad para el talud final*

N°	Factor de Seguridad		
	Angulo	EST. 5	EST. 4
		EST. 5	EST. 7
		63°	45°
		63°	63°
1		1.58	0.95
2		0.95	0.95
3		0.95	0.32
4		1.89	1.26
5		0	2.84
6		0.95	3.709
7		1.26	2.21
8		2.53	2.53
9		3.79	1.58
10		0.95	2.53

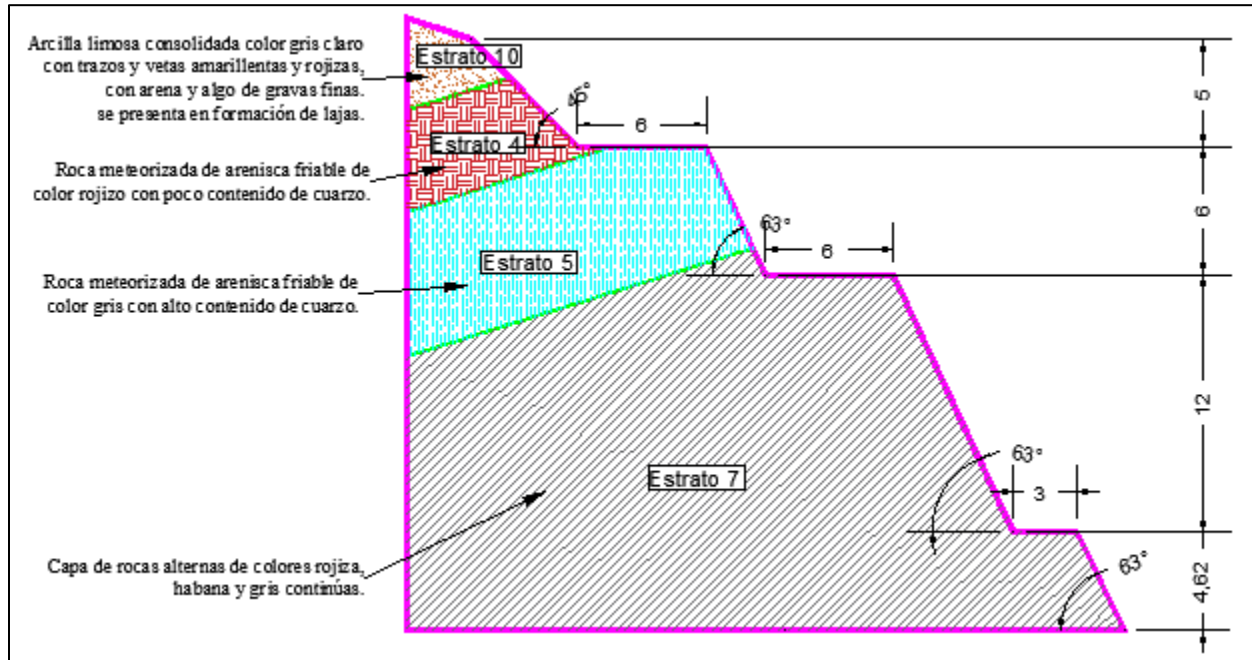
N°	Angulo	Factor de Seguridad		
		EST. 5	EST. 4	EST. 7
11		3.47	0.63	2.53
12		1.26	2.21	1.26
13		1.26	2.53	1.26
14		3.16	1.58	0.95
15		1.58	2.21	1.26
16		2.84	0.95	2.84
17		2.53	1.58	1.26
<b>FS</b>		<b>1.82</b>	<b>1.80</b>	<b>1.86</b>

**Tabla 17.**

*Cuadro comparativo del Factor de Seguridad del talud final con la NSR10.*

Condicion	FSBUM		
	Dieño	NSR10	Cumple
Estrato 4: Angulo de 45°	<b>1.8</b>	1,80	SI
Estrato 5: Angulo de 63°	<b>1.82</b>	1,80	SI
Estrato 7: Angulo de 63°	<b>1.86</b>	1,80	SI

*Nota.* Elaborado con base a la tabla H4.2.1. NSR10.

**Figura 63.***Diseño del talud final de la mina Abásticos*

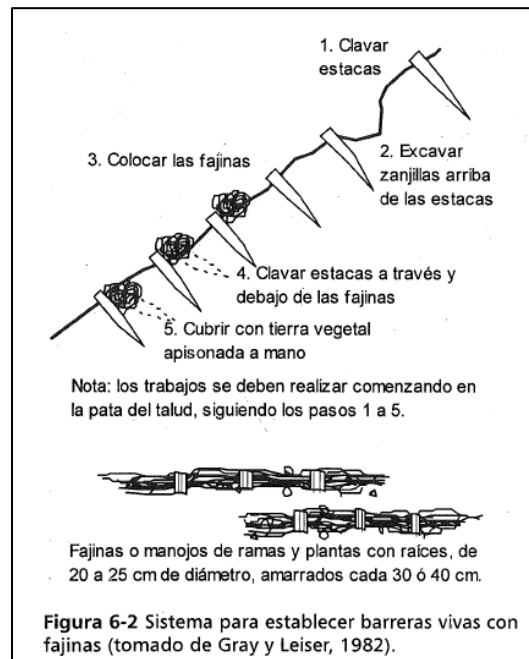
## 9. Recomendaciones

Una vez terminada la explotación, se debe empezar a conformar los taludes; se debe comenzar desde la parte superior hacia la parte inferior de la mina y al mismo tiempo se tiene que ir protegiendo la superficie.

Para la protección de la superficie existen muchas formas y métodos ya establecidos, dentro de estos se encuentra la empedización y reforestación, el objetivo de la empedización es buscar que las raíces penetren la superficie y fijar en mayor grado la masa del terreno potencialmente inestable

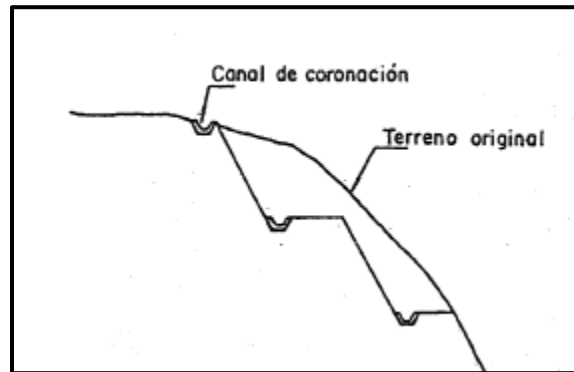
**Figura 64.**

*Ejemplo, sistema para establecer barreras vivas con fajinas.*



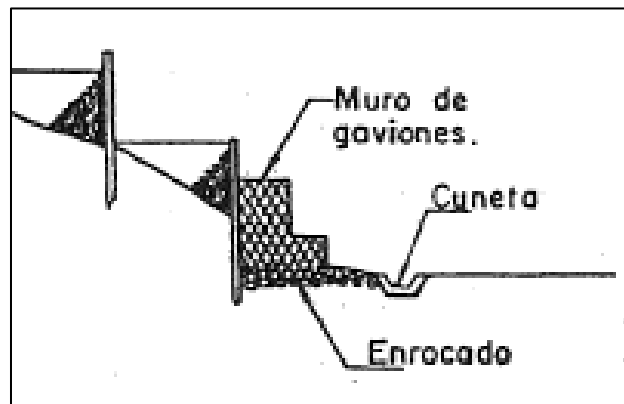
*Nota:* Manual de estabilidad de taludes. Pag. 191(Tomado de Gray y Leiser, 1982)

El manejo de agua es importante para la estabilidad del talud ya que es un factor de deslizamiento e inestabilidad; se deben construir cunetas de coronación que recojan las aguas en toda la parte superior del talud y cunetas de pata, estas cunetas se pueden hacer con recubrimiento con geotextil, material en saco o en recubrimiento en concreto y si fuera necesario, colocar cunetas de desagüe o vertimiento con disipadores de energía lateral.

**Figura 65.***Cuenta de coronación*

*Nota.* Tomado de: Manual de estabilidad de taludes. Pag. 306

En la parte inferior de la mina es necesario realizar unas obras de contención para mitigar el desprendimiento de rocas y sedimentos por causa de la erosión y el agua lluvia, estas obras pueden ser trincheras en madera, muros en piedra o gaviones y muros en concreto.

**Figura 66.***Trincheras y gaviones*

*Nota.* Tomado de: Manual de estabilidad de taludes. Pag. 306

Durante su explotación se debe tener en cuenta las vías internas como las vías externas de la zona, a estas vías se debe realizar un mantenimiento periódico para mantenerlas en buen estado.

## 10. Conclusiones

Los resultados de los índices de la calidad de los macizos rocosos indican que tienen una calidad regular, la estación uno tiene bloques medianos con algo de meteorización, La estación dos es la más débil y muestra una fragmentación fuerte con bloques pequeños con algo de meteorización y por último la estación tres muestras bloques medianos y es muy resistente con poca meteorización.

Las características de las discontinuidades presentes en la cantera Abasticos son: en los macizos rocosos prevalecen discontinuidades con espesores de 26 mm, tiene un relleno del 41% en arcilla y el 59% restante son brechas, el tipo de rugosidad que más predomina es de tipo VII Plana - Rugosa, su espaciamiento es moderadamente abierta, su continuidad es moderada y su espaciamiento es modernamente Junto.

Para hacer una modelación del talud se tiene en cuenta las características geomecánicas de los suelos, rocas y juntas de las rocas, estas últimas características son las más importantes del modelo, debido a ser estas las causantes de las fallas o deslizamientos en un talud en roca o macizo rocoso.

En la cantera Abasticos se encontraron capas de suelo superficiales GW que son gravas limpias con arena y arcilla, que corresponde al Frente 2, conforma la parte alta de la cantera con

una profundidad de 2 metros en promedio, continua con unos estratos de roca tipo arenisca de calidad regular intercalados con una capa de arcilla tipo CI-ML limo arcillosa. El frente N° 1 tiene un suelo superficial tipo CL-ML limo arcilloso con un espesor de dos metros en promedio, continúa con capa de roca tipo arenisca de calidad regular intercaladas con un estrato de arcilla tipo CL limos y arcillas orgánicas.

Para la modelación del talud se tomó el perfil topográfico del sitio en la estación N° 1, debido a que esta caracterización del macizo rocoso tiene mayor presencia en la mina Abásticos y se encuentra representado en el sector o corte del talud final, además este frente abarca los estratos de roca donde se caracterizaron los tres macizos rocosos.

La inestabilidad de los taludes de roca está relacionada directamente con las discontinuidades o juntas, se modelaron las discontinuidades de los macizos rocosos en los tres estratos de roca del perfil topográfico.

Como resultado del análisis del talud actual en la mina, arrojó un talud inestable con los siguientes factores de seguridad: para el estrato 4 **FS=0,54**, estrato 5 **FS=0,92**, y para el Estrato 7 **FS= 0,82**.

Para analizar el comportamiento de los macizos rocosos en el talud, se toman los criterios de dimensionamiento (West Virginia U.S.A), para hacer una simulación del talud variando el ángulo de inclinación, los ángulos que se modelaron fueron: 50°, 60°, 65°, 70°, 75° y 80°. Como resultado de esta simulación se observó que los estratos tienen variaciones diferentes, esto debido a su composición, juntas o discontinuidades y a su grado de meteorización.

El ángulo de inclinación del talud final se determinó en la gráfica 10 (Factor de seguridad Vs el ángulo de inclinación), donde los estratos de roca 5 y 7 cumplen con un ángulo de 63° el

factor de seguridad mínimo de la tabla H4.2.1. (NSR10), y para el estrato 4 su comportamiento es similar a la de un suelo, se diseña un ángulo de  $45^\circ$ , con una altura del talud máximo de 6 metros.

Se hace la modelación del talud final donde el factor de seguridad promedio es: Estrato 4 **FS= 1,80**, estrato 5 **FS=1,82** y para el estrato 7 **FS=1,86**. Cumpliendo con el factor de seguridad mínimos directos que es de 1,80.

Para futuros estudios sobre esta mina, se recomienda verificar la posibilidad de hacer un análisis considerando la presencia de nivel freático dentro del macizo.

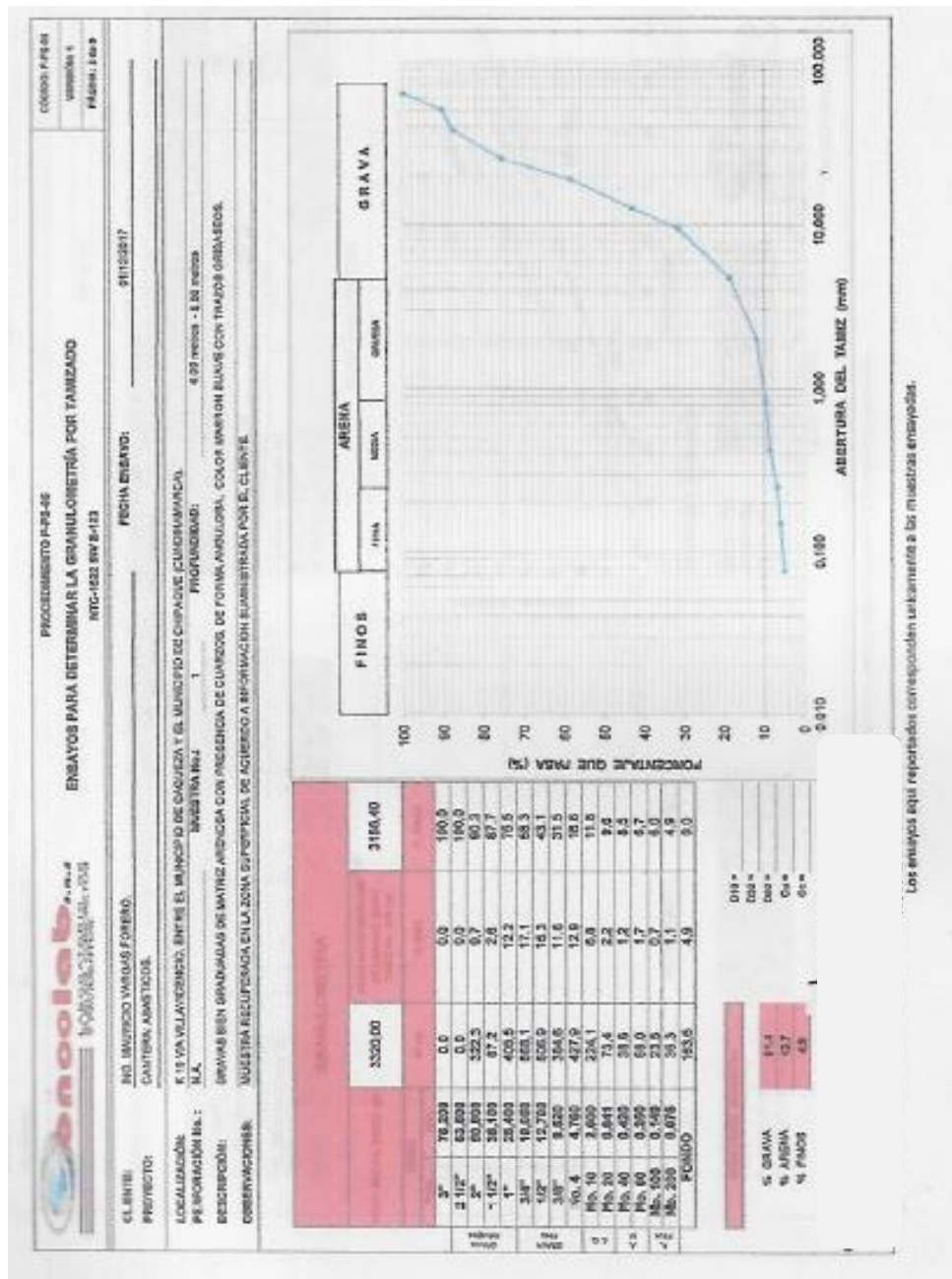
**Referencias Bibliográficas**

- Acosta, J. E., & Ulloa, C. E. (2002). *Mapa Geologico Departamento de Cundinamarca*. Bogota D.C.: Ingeominas, Revisado Editorial Mrgaret Mercado.
- Asociacion Colombia de Ingenieria Sismica. (2010). Titulo A: Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente. En A. C. Sismica, *Norma Colombiana De Construccion Siemo Resistente 2010* (págs. A-163). Bogota D. C.: Asociacion Colombia de Ingenieria Sismica.
- Asociacion Colombia de Ingenieria Sismica. (2010). Titulo H: Estudio Geotecnico. En A. C. Sismica, *Reglamneto Colombiano de Construccion Sismo Resitente* (págs. H-7). Bogota D.C.: Asociacion Colombia de Ingenieria Sismica.
- Bongiorno, F. (2000). *Indice de la calidad de la roca RQD, Clasificacion de los macisos rocosos segun, Barton, Bieniawski*. Bogota D. C.: Universidad de los Andes.
- Ceccarelli N., C., De Agrela N., J. A., & García Ruiz, R. (2021). *Análisis numérico a modelos físicos de deformación de túneles*. Caracas: Universidad Católica Andrés Bello.
- Duque Escobar, G. (2017). Macizo Rocozo. En G. Duque Escobar, *Manual de Geologia para Ingenieros* (págs. 307, 308). Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Escobar Portes, C. E., & Duque Escobar, G. (2017). Analisis para la estabiliad de taludes. En C. E. Escobar Portes, & G. Duque Escobar, *Geotecnia para el tropico Andino* (págs. 173, 174). Manizales: Universidad Nacional de Colombia.

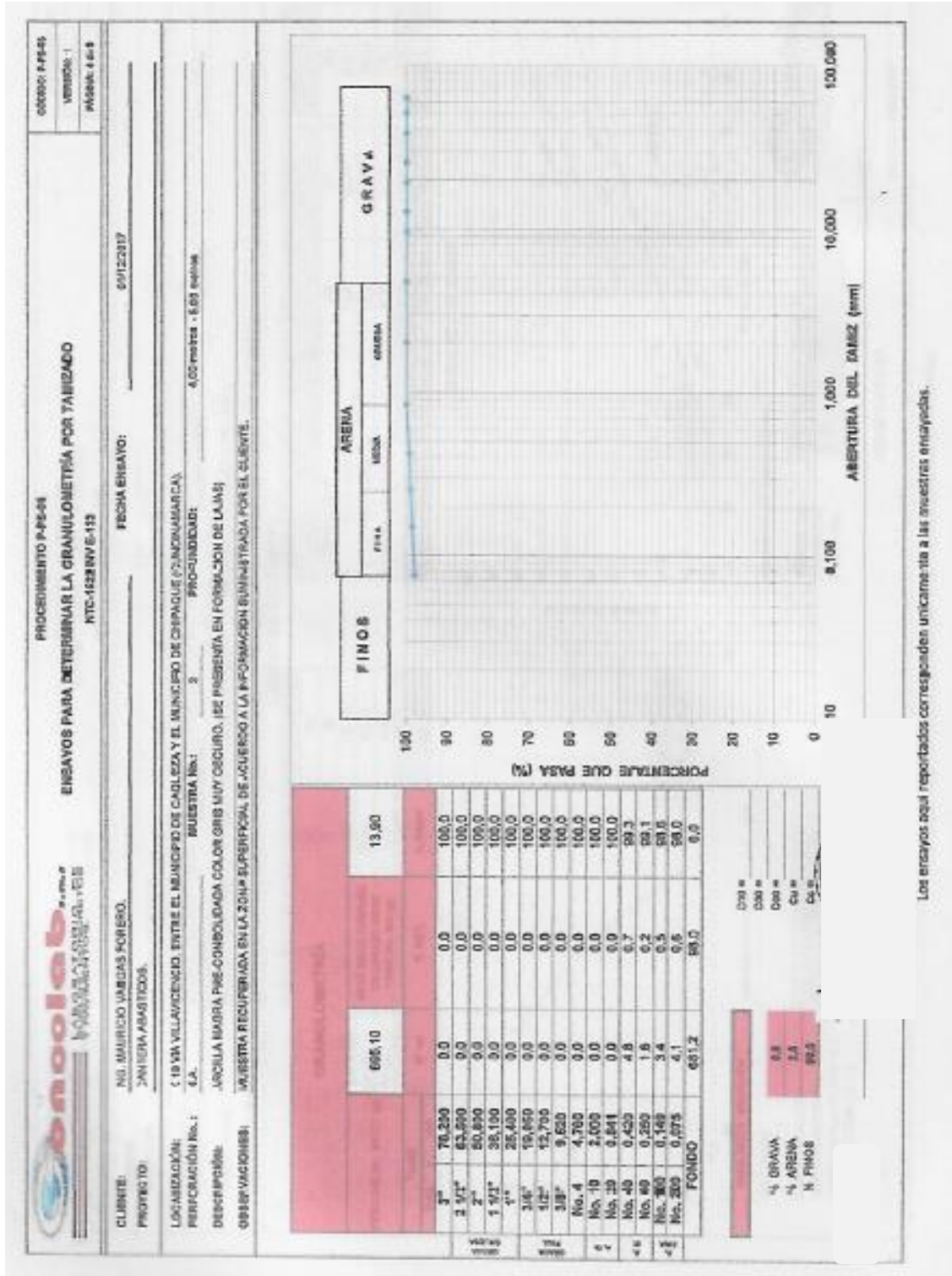
- Huamán Aparicio, A., & Ardiles Velasco, R. (2017). *Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción y supervisión y cierre de labores subterráneas*. Lima: Editado: Osinergmin, Impreso: Inversiones IAKOB S.A.C.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC. (15 de Agosto de 2018). *Datos abiertos cartografía y geografía*. Obtenido de <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-cartografia-y-geografia>
- INVIAS, García López, M., Moya Barrios, J., & Cañón Barriga, J. (1998). *Manual de estabilidad de taludes, Geotecnia Vial*. Bogotá D. C.: Escuela Colombia de Ingeniería.
- Phase2, T. (2017). *Estimación de la rigidez de las Articulaciones*. Obtenido de Estimación de la rigidez de las Articulaciones: [file:///C:/Program%20Files/Rocscience/Phase2%208.0/WebHelp/theory/Estimating\\_Joint\\_Stiffness.htm](file:///C:/Program%20Files/Rocscience/Phase2%208.0/WebHelp/theory/Estimating_Joint_Stiffness.htm)
- Ramírez Oyangüeren, P., & Monge, L. A. (2004). Criterios de rotura de juntas de Barton. En P. Ramírez Oyangüeren, & L. A. Monge, *Mecánica de Rocas* (pág. 92). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Ramírez Oyangüeren, P., & Monge, L. A. (2004). *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería en Taludes*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Rocscience Inc. (2002). *Guía del Usuario Dips*. Toronto: Rocscience Inc.
- Rocscience Inc. (2004). *Rocdata: Guía del Usuario*. Toronto: Rocscience Inc.
- Rocscience Inc. (2017). *Phase 2 V8.0*. Toronto: Rocscience Inc.
- Suárez, J. (1998). *Deslizamiento y Estabilidad de Taludes*. Bucaramanga,: Publicaciones UIS.

Apéndices

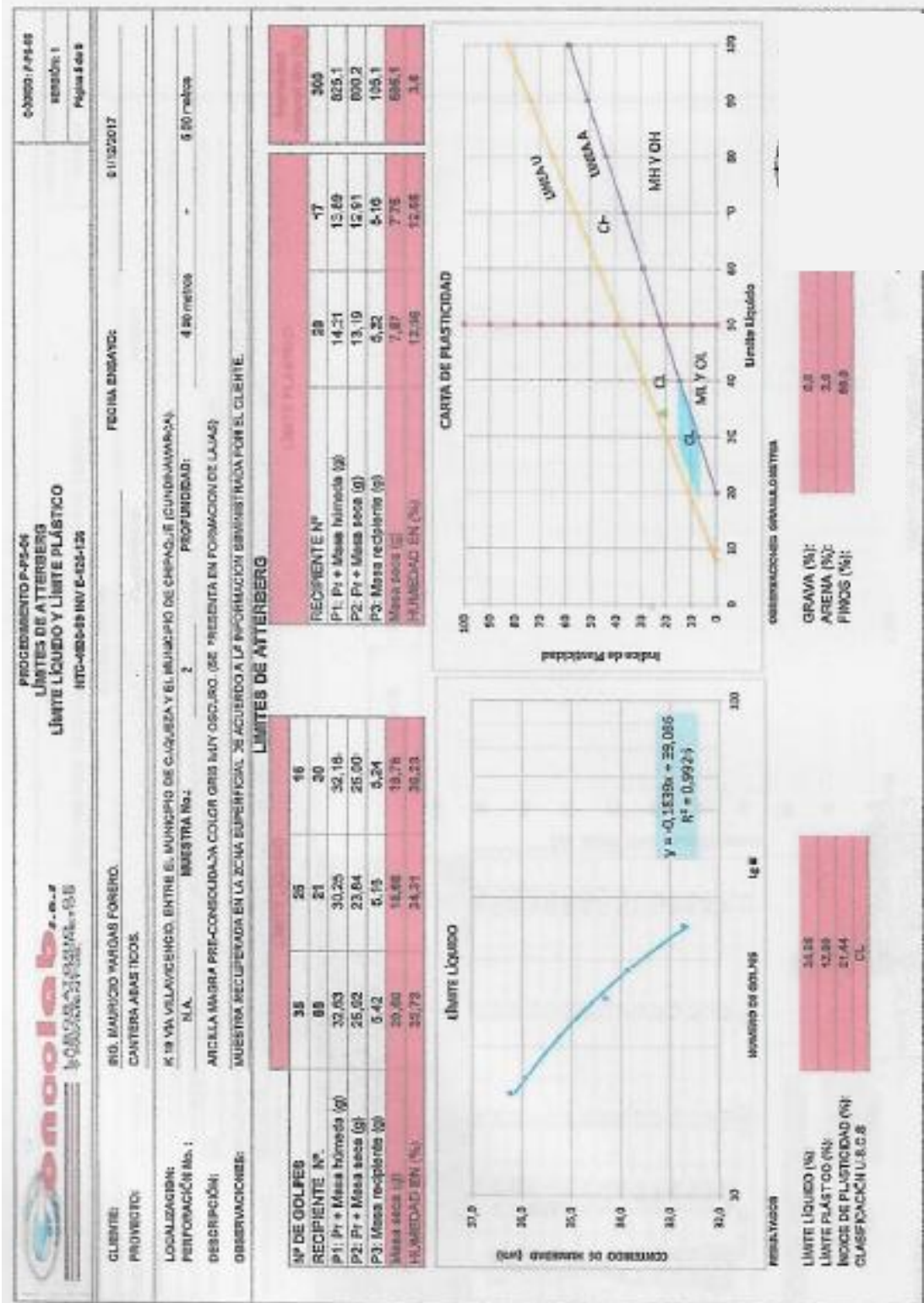
Apéndice A. Resultados de Laboratorio



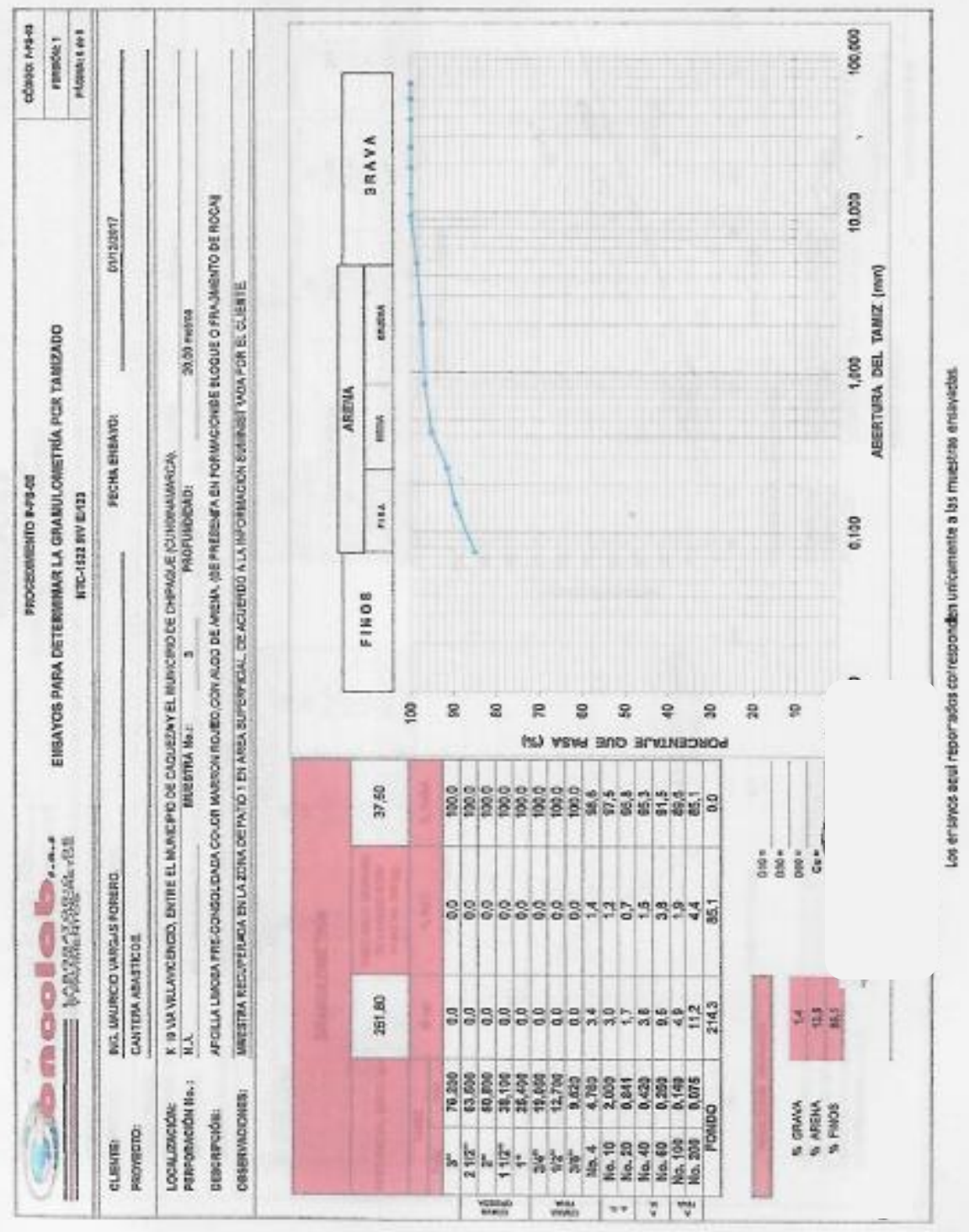


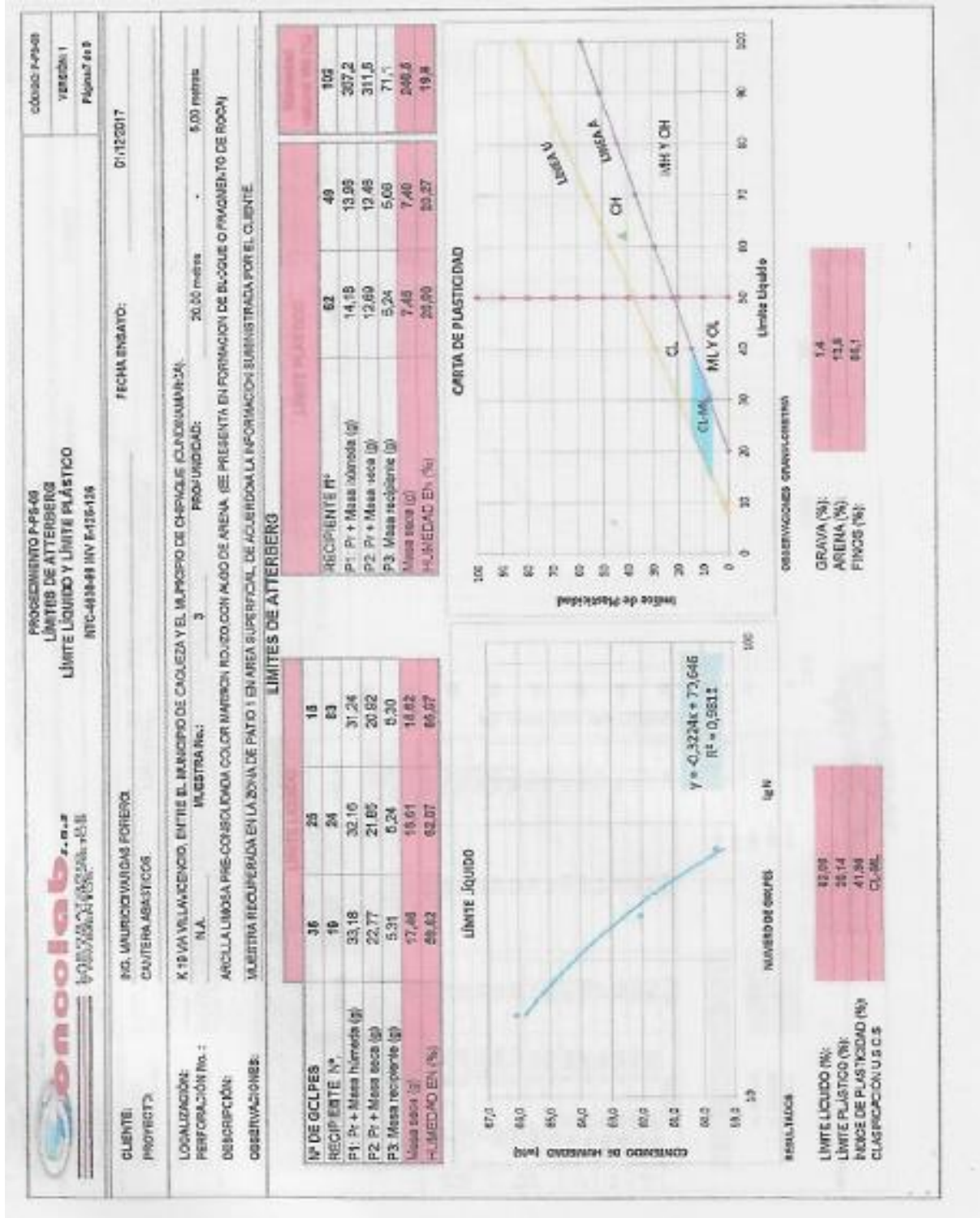


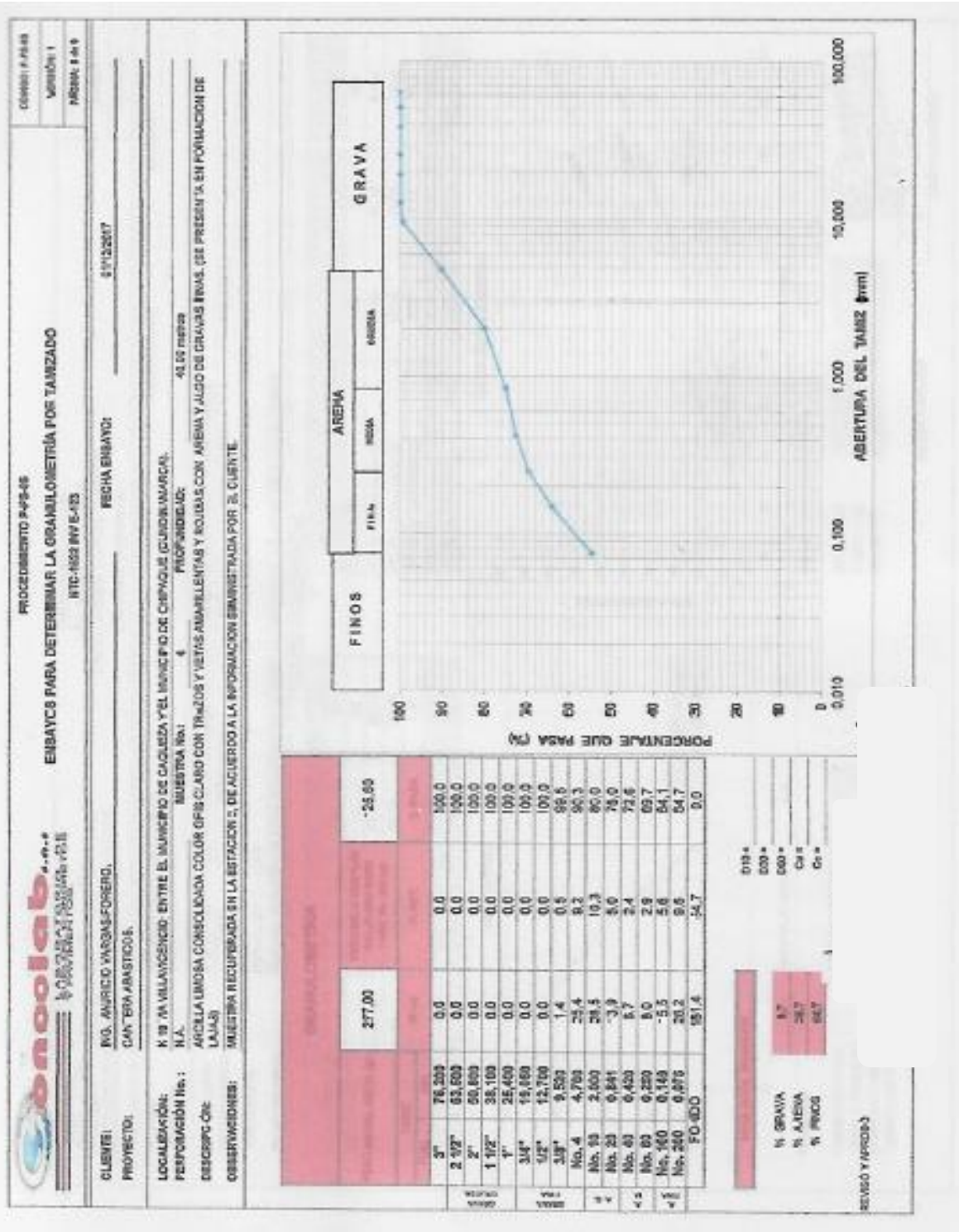
Los ensayos aquí reportados corresponden únicamente a las muestras ensayadas.

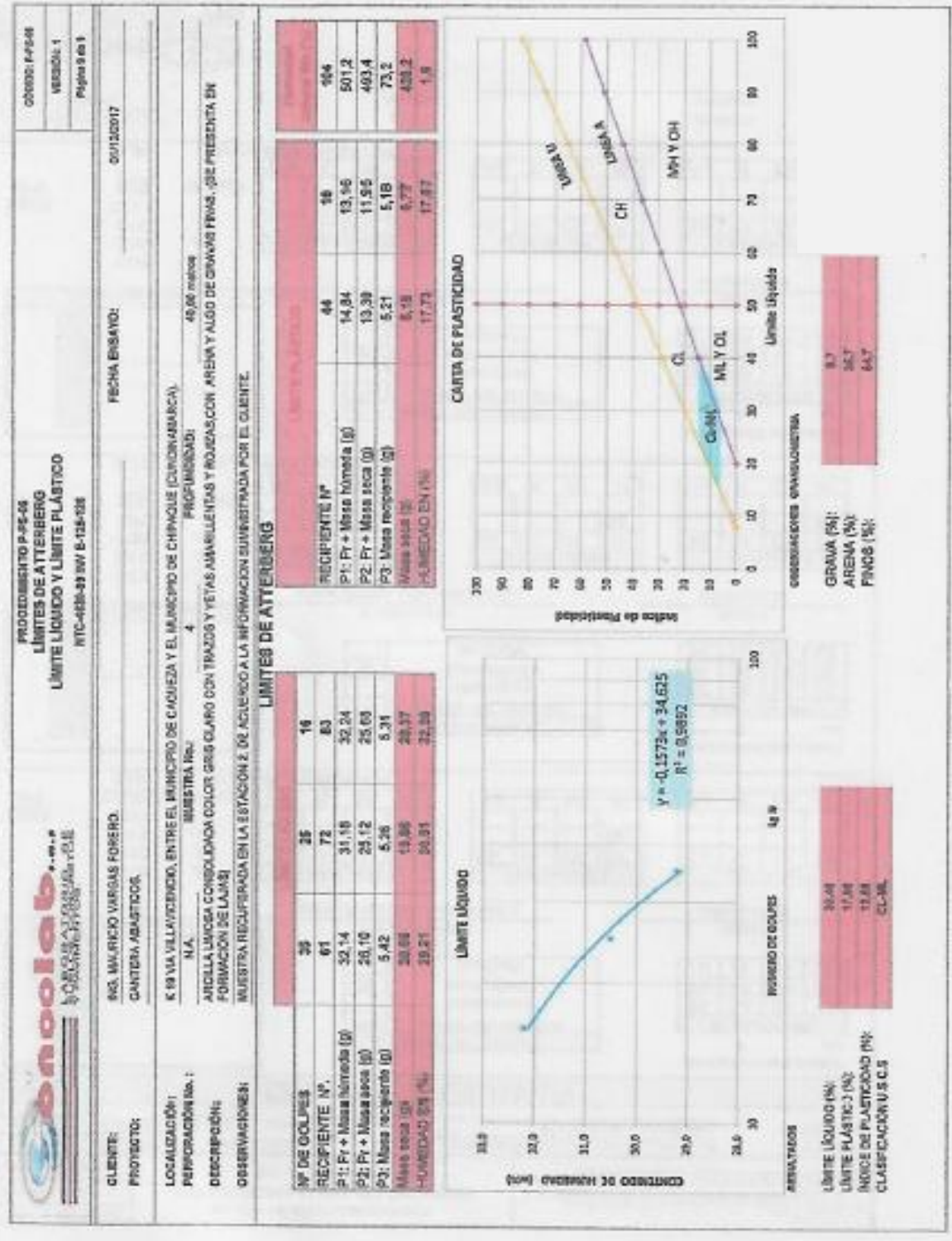



Los ensayos aquí reportados corresponden únicamente a las muestras ensayadas.













	PROCEDIMIENTO: P-PS-10 <b>ENSAYO DE ESCLEROMETRIA</b> INV E 413 - 07	CODIGO: F - PS - 09 VERSION: 0 PAGINA: 3 de 4
	CLIENTE: <b>ING. MAURICIO VARGAS FORERO</b> PROYECTO: <b>CANTERA ARABATICOS</b>	FECHA IMP.: <b>12/12/2017</b> LAB.: <b>J.F.M.Q.</b>

ESCLEROMETRO																																																												
<b>TOMA DE MUESTRA No 1</b>			<b>FORMA DE TOMA</b>																																																									
<b>DATOS PICO</b>			Angulo de toma (°)																																																									
<table border="1" style="width:100%; text-align: center;"> <tr><td>41</td><td>40</td><td>40</td><td>42</td></tr> <tr><td>40</td><td>40</td><td>42</td><td>42</td></tr> <tr><td>40</td><td>41</td><td>41</td><td>41</td></tr> </table>			41	40	40	42	40	40	42	42	40	41	41	41	<table border="1" style="width:100%; text-align: center;"> <tr><td>Inclinado</td><td></td></tr> <tr><td>Horizontal</td><td>X</td></tr> <tr><td>Vertical</td><td></td></tr> </table>			Inclinado		Horizontal	X	Vertical																																						
41	40	40	42																																																									
40	40	42	42																																																									
40	41	41	41																																																									
Inclinado																																																												
Horizontal	X																																																											
Vertical																																																												
TALUD ELEMENTO			ESTACION 1 LOCALIZACIÓN ESPÉCIMEN																																																									
<b>PRIMERAS L</b>			<b>SEGUNDAS L</b>			<b>TERCERAS L</b>			1L 370 2L 555 3L 210 Σ 1135																																																			
<table border="1" style="width:100%; text-align: center;"> <tr><td>41</td><td>41</td><td>41</td><td>41</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>% 41</td><td>X</td><td>(°)</td><td></td></tr> </table>			41	41	41	41									% 41	X	(°)		<table border="1" style="width:100%; text-align: center;"> <tr><td>42</td><td>42</td><td>42</td><td>42</td></tr> <tr><td>42</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>% 42</td><td>X</td><td>(°)</td><td></td></tr> </table>			42	42	42	42	42								% 42	X	(°)		<table border="1" style="width:100%; text-align: center;"> <tr><td>40</td><td>40</td><td>40</td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>% 40</td><td>X</td><td>(°)</td><td></td></tr> </table>			40	40	40										% 40	X	(°)		Kg/cm <sup>2</sup> <b>375,33</b> PROMEDIO IMPACTOS <b>40,8</b>		<b>5405</b> PSI	
41	41	41	41																																																									
% 41	X	(°)																																																										
42	42	42	42																																																									
42																																																												
% 42	X	(°)																																																										
40	40	40																																																										
% 40	X	(°)																																																										
<b>TOMA DE MUESTRA No 2</b>			<b>FORMA DE TOMA</b>																																																									
<b>DATOS PICO</b>			Angulo de toma (°)																																																									
<table border="1" style="width:100%; text-align: center;"> <tr><td>32</td><td>34</td><td>32</td><td>32</td></tr> <tr><td>30</td><td>30</td><td>30</td><td>30</td></tr> <tr><td>32</td><td>30</td><td>32</td><td>34</td></tr> </table>			32	34	32	32	30	30	30	30	32	30	32	34	<table border="1" style="width:100%; text-align: center;"> <tr><td>Inclinado</td><td></td></tr> <tr><td>Horizontal</td><td>X</td></tr> <tr><td>Vertical</td><td></td></tr> </table>			Inclinado		Horizontal	X	Vertical																																						
32	34	32	32																																																									
30	30	30	30																																																									
32	30	32	34																																																									
Inclinado																																																												
Horizontal	X																																																											
Vertical																																																												
TALUD ELEMENTO			ESTACION 2 LOCALIZACIÓN ESPÉCIMEN																																																									
<b>PRIMERAS L</b>			<b>SEGUNDAS L</b>			<b>TERCERAS L</b>			1L 238 2L 210 3L 260 Σ 708																																																			
<table border="1" style="width:100%; text-align: center;"> <tr><td>32</td><td>32</td><td>32</td><td>32</td></tr> <tr><td>32</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>% 32</td><td>X</td><td>(°)</td><td></td></tr> </table>			32	32	32	32	32								% 32	X	(°)		<table border="1" style="width:100%; text-align: center;"> <tr><td>30</td><td>30</td><td>30</td><td>30</td></tr> <tr><td>30</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>% 30</td><td>X</td><td>(°)</td><td></td></tr> </table>			30	30	30	30	30								% 30	X	(°)		<table border="1" style="width:100%; text-align: center;"> <tr><td>34</td><td>34</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>% 34</td><td>X</td><td>(°)</td><td></td></tr> </table>			34	34											% 34	X	(°)		Kg/cm <sup>2</sup> <b>230</b> PROMEDIO IMPACTOS <b>31,5</b>		<b>3206</b> PSI	
32	32	32	32																																																									
32																																																												
% 32	X	(°)																																																										
30	30	30	30																																																									
30																																																												
% 30	X	(°)																																																										
34	34																																																											
% 34	X	(°)																																																										
<b>TOMA DE MUESTRA No 3</b>			<b>FORMA DE TOMA</b>																																																									
<b>DATOS PICO</b>			Angulo de toma (°)																																																									
<table border="1" style="width:100%; text-align: center;"> <tr><td>42</td><td>41</td><td>40</td><td>42</td></tr> <tr><td>40</td><td>40</td><td>40</td><td>41</td></tr> <tr><td>42</td><td>41</td><td>40</td><td>42</td></tr> </table>			42	41	40	42	40	40	40	41	42	41	40	42	<table border="1" style="width:100%; text-align: center;"> <tr><td>Inclinado</td><td></td></tr> <tr><td>Horizontal</td><td>X</td></tr> <tr><td>Vertical</td><td></td></tr> </table>			Inclinado		Horizontal	X	Vertical																																						
42	41	40	42																																																									
40	40	40	41																																																									
42	41	40	42																																																									
Inclinado																																																												
Horizontal	X																																																											
Vertical																																																												
TALUD ELEMENTO			ESTACION 3 LOCALIZACIÓN ESPÉCIMEN																																																									
<b>PRIMERAS L</b>			<b>SEGUNDAS L</b>			<b>TERCERAS L</b>			1L 380 2L 350 3L 370 Σ 1100																																																			
<table border="1" style="width:100%; text-align: center;"> <tr><td>42</td><td>42</td><td>42</td><td>42</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>% 42</td><td>X</td><td>(°)</td><td></td></tr> </table>			42	42	42	42									% 42	X	(°)		<table border="1" style="width:100%; text-align: center;"> <tr><td>40</td><td>40</td><td>40</td><td>40</td></tr> <tr><td>40</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>% 40</td><td>X</td><td>(°)</td><td></td></tr> </table>			40	40	40	40	40								% 40	X	(°)		<table border="1" style="width:100%; text-align: center;"> <tr><td>41</td><td>41</td><td>41</td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>% 41</td><td>X</td><td>(°)</td><td></td></tr> </table>			41	41	41										% 41	X	(°)		Kg/cm <sup>2</sup> <b>365</b> PROMEDIO IMPACTOS <b>40,9</b>		<b>5274</b> PSI	
42	42	42	42																																																									
% 42	X	(°)																																																										
40	40	40	40																																																									
40																																																												
% 40	X	(°)																																																										
41	41	41																																																										
% 41	X	(°)																																																										

	PROCEDIMIENTO: P- PS- 10 <b>ENSAYO DE ESCLEROMETRIA</b> INV E 413 - 07	CODIGO P - PS - 05 VERSION: 0 PAGINA: 4 de 4	
	CLIENTE <b>ING. MAURICIO VARGAS FORERO</b>	FECHA INF. <b>12/12/2017</b>	REVISO <b>J.P.C.</b>
	PROYECTO <b>CANTERA ABASTICOS</b>	LAB. <b>J.E.M.Q.</b>	

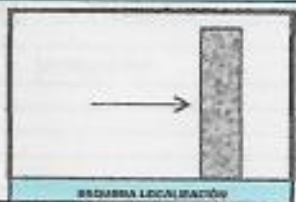
### ESCLEROMETRO

**TOMA DE MUESTRA**  
No **4**

DATOS PICO			
52	54	50	52
54	50	52	52
54	50	50	52

TALUD  
ELEMENTO

FORMA DE TOMA	
Angulo de toma	(0°)
Inclinado	
Horizontal	<b>X</b>
Vertical	



ESQUEMA LOCALIZACIÓN

PRIMERAS L			
52	52	52	52
52			
%	52	X	(0°)

SEGUNDAS L			
54	54	54	
%	54	X	(0°)

TERCERAS L			
50	50	50	50
%	50	X	(0°)

1L	555	
2L	580	
3L	515	
Σ	1650	
Kg/cm <sup>3</sup>	<b>547,92</b>	<b>7827</b>
PROMEDIO IMPACTOS	51,8	PSI

ESTACION 4  
LOCALIZACIÓN ESPÉCIMEN

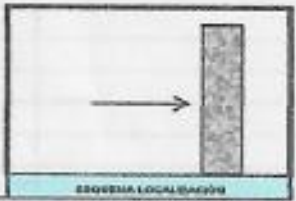
---

**TOMA DE MUESTRA**  
No **5**

DATOS PICO			
12	14	12	10
14	14	14	10
10	12	10	12

TALUD  
ELEMENTO

FORMA DE TOMA	
Angulo de toma	(0°)
Inclinado	
Horizontal	<b>X</b>
Vertical	



ESQUEMA LOCALIZACIÓN

PRIMERAS L			
12	12	12	12
%	12	X	(0°)

SEGUNDAS L			
14	14	14	14
%	14	X	(0°)

TERCERAS L			
10	10	10	10
%	10	X	(0°)

1L	60	
2L	70	
3L	50	
Σ	180	
Kg/cm <sup>3</sup>	<b>60</b>	<b>857</b>
PROMEDIO IMPACTOS	12,0	PSI

ESTACION 5  
LOCALIZACIÓN ESPÉCIMEN


---

**TOMA DE MUESTRA**  
No

DATOS PICO			

TALUD  
ELEMENTO

FORMA DE TOMA	
Angulo de toma	(0°)
Inclinado	
Horizontal	
Vertical	



ESQUEMA LOCALIZACIÓN


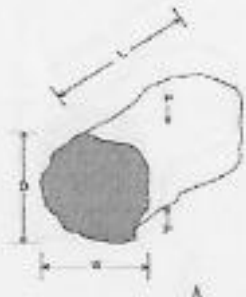
PRIMERAS L			
%	0	X	(0°)



SEGUNDAS L			
%	0	X	(0°)

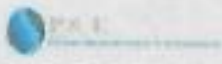
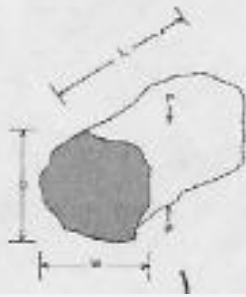
TERCERAS L			
%	0	X	(0°)

1L		
2L		
3L		
Σ		
Kg/cm <sup>3</sup>		
PROMEDIO IMPACTOS		

LOCALIZACIÓN ESPÉCIMEN

	<b>CARGA PUNTUAL METODO DEL I.S.R.M.</b>	Versión 0 Fecha 15-11-2016				
<b>PROYECTO: CANTERA ABASTICOS</b>						
Fecha De Muestreo:		Fecha de Ensayo: 09/12/2017				
Tipo De Muestra: roca		Abscisa:				
Procedencia:	Muestra: estacion 1	Profundidad:				
Descripción: arenisca friable de color habano						
Equipos: Cazueta N°: NA    Horno N°: NA    Balanza N°: NA						
Observaciones:						
<b>CARGA PUNTUAL</b>						
Ensayo	P	D	L	W	Is	OBSERVACIONES
No.	(kgf)	(cm)	(cm)	(cm)	(kg/cm <sup>2</sup> )	
1	184,32	4,4	7,5	5,8	9,5	
2	256,3	4,3	7,2	6,0	13,9	
3	210,08	4,5	6,3	5,3	10,4	
4	195,36	3,6	6,0	5,8	15,1	
5	162,24	3,8	5,4	4,3	11,2	
6	151,2	3,1	6,5	4,6	15,7	
7	173,28	3,5	5,8	5,0	14,1	
8	205,3	4,0	7,6	3,6	12,8	
9	210,4	3,2	8,0	4,6	20,5	
10	211,6	3,6	6,0	5,0	16,3	
<p>Según norma de I.S.M. (1985)</p> <p><math>L &gt; D</math></p> <p><math>0,3W &lt; D &lt; 0,5W</math></p> <p>P = Carga en kgf                  D = Separación entre puntas (cm)  <math>I_s = P/D^2</math>                  L = Dimensión en el sentido mas largo                  W = Dimensión en el sentido ancho</p> 						
***Este informe no deberá reproducirse parcial o totalmente sin aprobación por escrito *** El presente informe afecta únicamente a las muestras referenciadas en el análisis. **** la información no es válida sin sello						
Oficinas y laboratorio: carrera 5a bis este # 257-03, san mateo (soacha, c/moravia) teléfono: 3228583472 email: perforaciones_95@yahoo.com						

	<b>CARGA PUNTUAL METODO DEL I.S.R.M.</b>	Versión 0 Fecha 15-11-2016				
<b>PROYECTO: CANTERA ABASTICOS</b>						
Fecha De Muestreo:		Fecha de Ensayo: 09/12/2017				
Tipo De Muestra: roca		Ahrrisa:				
Procedencia:	Muestra: estacion 2	Profundidad:				
Descripción: arenisca friable de color habano						
Equipos: Cazueta N°: NA    Horno N°: NA    Balanza N°: NA						
Observaciones:						
<b>CARGA PUNTUAL</b>						
Ensayo	P	D	L	W	Is	OBSERVACIONES
No.	(kgf)	(cm)	(cm)	(cm)	(kg/cm <sup>2</sup> )	
1	173,3	3,6	8,0	6,5	13,4	
2	165,6	4,0	6,5	4,6	10,4	
3	157,3	3,8	6,3	5,2	10,5	
4	145,6	3,7	6,8	5,0	10,6	
5	186,6	4,1	7,5	5,0	11,1	
6	156,3	3,3	7,0	4,9	14,4	
7	148,9	3,7	8,0	6,7	10,9	
8	198,6	3,6	7,3	6,0	15,3	
9	136,3	3,2	5,6	3,8	11,3	
10	197,8	3,3	6,5	5,2	18,2	
<p style="text-align: center;">Según norma de I.R.S.M. (1985)</p> <p style="text-align: center;">L&gt;D</p> <p style="text-align: center;">0,2W&lt;D&lt;W</p> <p style="text-align: center;">P = Carga en kgf                      D = Separación entre puntas (cm)                      Is = P/D<sup>2</sup>                      L = Dimensión en el sentido mas largo                      W = Dimensión en el sentido ancho</p> 						
** Este informe no deberá reproducirse parcial o totalmente sin aprobación por escrito						
*** El presente informe afecta únicamente a las muestras referenciadas en el mismo.						
**** La información no es válida sin sello						
Oficinas y laboratorio: carrera 5a bis este # 231-05, san mateo (soacha, c/marca) teléfono: 322511422 email: perforaciones_95@yahoo.com						

	<b>CARGA PUNTUAL METODO DEL I.S.R.M.</b>	Versión 0 Fecha 15-11-2016				
<b>PROYECTO: CANTERA ABASTICOS</b>						
Fecha De Muestra:		Fecha de Ensayo: 09/12/2017				
Tipo De Muestra: roca		Abscisa:				
Procedencia:	Muestra: estacion 4	Profundidad:				
Descripción: arenisca friable de color habano						
equipos: Cazuza N°: NA    Horno N°: NA    Balanza N°: NA						
Observaciones:						
<b>CARGA PUNTUAL</b>						
Ensayo	P	D	L	W	Is	OBSERVACIONES
No.	(kgf)	(cm)	(cm)	(cm)	(kg/cm <sup>2</sup> )	
1	201	4,2	7,2	5,8	11,4	
2	210,3	3,5	6,5	4,5	17,7	
3	183,3	3,9	6,4	4,6	12,1	
4	174,6	4,4	8,0	6,5	9,0	
5	211,5	4,0	7,6	5,3	13,7	
6	194,3	3,4	7,1	6,0	16,8	
7	168,3	3,8	5,9	3,7	11,7	
8	154,6	3,7	5,7	3,9	11,3	
9	132,8	3,6	6,5	4,6	10,2	
10	308,6	4,1	6,2	5,2	15,1	
<p style="text-align: center;">Según norma de I.R.S.M. (1985)</p> <p style="text-align: center;"><math>D &gt; 0</math></p> <p style="text-align: center;"><math>0,7W &lt; D &lt; W</math></p> <p style="text-align: center;">                     P = Carga en kgf                      D = Separación entre puntas (cm)  <math>I_s = P/D^2</math>                      L = Dirección en el sentido más largo                      W = Dimensión en el sentido ancho                 </p> <div style="text-align: right;">  </div>						
**Este informe no deberá reproducirse parcial o totalmente sin aprobación por escrito. *** El presente informe afecta únicamente a las muestras referenciadas en el mismo. **** La validación no es válida sin sello. oficinas y laboratorio: carrera 5a bis este # 25f-08, san mateo (soacha, c/hierna) teléfonos: 328501433 email: perforaciones_85@yahoo.com						

## Apéndice B. Resultados

## Anexo B1: Rango de valores: módulos de deformación de los suelos

Soil	$E_{s1}$ , MPa
Clay	
Very soft	2-15
Soft	5-25
Medium	15-50
Hard	50-100
Sandy	25-250
Glacial till	
Loose	10-150
Dense	150-720
Very dense	500-1440
Loess	15-60
Sand	
Silty	5-20
Loose	10-25
Dense	50-81
Sand and gravel	
Loose	50-150
Dense	100-200
Shale	150-5000
Silt	2-20

\*Value range is too large to use an "average" value for design.

Fuente: Geotechnical and index: laboratory testing, seltements correlations. Pag 125.

## Anexo B2: Propiedades Típicas de suelos y rocas (tomado de Hoek y Bray 1991)

Descripción		Peso unitario (saturado/seco) kN/m <sup>3</sup>	Angulo de fricción (°)	Cohesión (kPa)
Tipo	Material			
Sin cohesión	Arena suelta, tamaño de grano uniforme.	19/14	28-34	
	Arena densa, tamaño de grano uniforme.	21/17	32-40	
	Arena suelta, diferentes tamaños de grano.	20/16	34-40	
	Arena densa, diferentes tamaños de grano.	21/18	38-46	
	Grava, tamaño de grano uniforme.	22/20	34-37	
	Arena y grava, mezcla de tamaños	19/17	48-45	
	Roca fracturada o volada: Basalto	22/17	40-50	
	Roca fracturada o volada: Granito.	20/17	45-50	
	Roca fracturada o volada: Limolita.	19/16	35-40	
	Roca fracturada o volada: Arenisca	17/13	35-45	
	Roca fracturada o volada: Lutitas	20/16	30-35	
Cohesivos	Montmorillonita (bentonita blanda)	13/6	7-13	10-20
	Arcilla orgánica muy blanda.	14/6	12-16	10-30
	Arcilla blanda, ligeramente orgánica.	16/10	22-27	20-50
	Arcilla glaciár blanda.	17/12	27-32	30-70
	Arcilla glaciár rígida.	20/17	30-32	70-150
	Rocas ígneas duras:			
	granito, basalto, pórfidos	25 a 30	35-45	35000-55000
	Rocas metamórficas:			
	cuarcita, neiss, pizarras.	25 a 28	30-40	20000-40000
	Rocas sedimentarias duras:			
	limolita, dolomita, arenisca.	23 a 28	35-45	10000-30000
	Rocas sedimentarias blandas:			
	arenisca, carbón, lutita.	17 a 23	25-35	1000-20000

Fuente: Manual de estabilidad de taludes, Invias, p 111.

**Anexo B3: Valores típicos de propiedades índice, parámetros de resistencia y deformabilidad de diferentes clases de suelos (Handbook of geotechnical engineering 2002)**

Suelo	Proctor		Compresibilidad oedométrica $E_{oed} = E_0 \cdot \sigma_{at} \left( \frac{\sigma}{\sigma_{at}} \right)^n$		Resistencia al corte			Permeabilidad
	$\gamma_{opt}$	$w_{opt}$	$E_0$	n	$\phi'$	$c'/\sigma'_{vc}$	$\phi'_r$	k
	[T/m <sup>3</sup> ]	%	[-]	[-]	[°]	[-]	[°]	[m/s]
Grava uniforme	1.7 - 1.9	8 - 5	400 - 900	0.6 - 0.4	34 - 42	-	32 - 35	$2 \cdot 10^{-1} - 10^{-2}$
Grava arenosa con pocos finos	2 - 2.25	7 - 4	400 - 1100	0.7 - 0.5	35 - 45	-	32 - 35	$10^{-2} - 10^{-6}$
Grava arenosa con finos limosos o arcillosos que no alteran la estructura granular	2.1 - 2.35	7 - 4	400 - 1200	0.7 - 0.5	35 - 43	0.01 - 0	32 - 35	$10^{-6} - 10^{-8}$
Mezcla de gravas y arenas envueltas por finos	1.9 - 2.2	10 - 5	150 - 400	0.9 - 0.7	28 - 35	0.02 - 0.008	22 - 30	$10^{-7} - 10^{-11}$
Arena uniforme - fina	1.6 - 1.75	15 - 10	150 - 300	0.75 - 0.6	32 - 40	-	30 - 32	$10^{-4} - 2 \cdot 10^{-5}$
Arena uniforme - gruesa	1.6 - 1.75	13 - 8	250 - 700	0.7 - 0.55	34 - 42	-	30 - 34	$10^{-3} - 5 \cdot 10^{-4}$
Arena bien gradada y arena con grava	1.9 - 2.15	10 - 6	200 - 600	0.7 - 0.55	33 - 41	-	32 - 34	$5 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-5}$
Arena con finos que no alteran la estructura granular	2 - 2.2	11 - 7	150 - 500	0.8 - 0.65	32 - 40	0.01 - 0	30 - 32	$2 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-7}$
Arena con finos que alteran la estructura granular	1.7 - 2	19 - 12	50 - 250	0.9 - 0.75	25 - 32	0.03 - 0.01	22 - 30	$2 \cdot 10^{-6} - 10^{-9}$
Limo poco plástico	1.6 - 1.8	22 - 15	40 - 110	0.8 - 0.6	28 - 35	0.01 - 0.003	25 - 30	$10^{-6} - 10^{-7}$
Limo de plasticidad media a alta	1.55 - 1.75	24 - 18	30 - 70	0.9 - 0.7	25 - 33	0.02 - 0.007	22 - 29	$2 \cdot 10^{-6} - 10^{-9}$
Arcilla de baja plasticidad	1.65 - 1.85	20 - 15	20 - 50	1.0 - 0.9	24 - 32	0.04 - 0.015	20 - 28	$10^{-7} - 2 \cdot 10^{-9}$
Arcilla de plasticidad media	1.55 - 1.75	23 - 17	10 - 30	1.0 - 0.95	20 - 28	0.06 - 0.02	10 - 20	$5 \cdot 10^{-8} - 10^{-10}$
Arcilla de alta plasticidad	1.45 - 1.65	27 - 20	6 - 20	1 - 1	12 - 20	0.1 - 0.03	6 - 15	$10^{-9} - 10^{-12}$
Limo o arcilla orgánicos	1.45 - 1.7	27 - 18	5 - 20	1 - 0.9	18 - 26	0.05 - 0.02	15 - 22	$10^{-9} - 10^{-11}$
Turba	-	-	3 - 8	1 - 1	24 - 30	0.025 - 0.008	-	$10^{-6} - 10^{-8}$
Fango	-	-	4 - 10	1 - 0.9	18 - 26	0.025 - 0.008	-	$10^{-7} - 10^{-9}$
$\sigma_{at}$ : presión atmosférica = 101 kPa								
$\sigma'_{vc}$ : esfuerzo efectivo vertical								
$\phi'_r$ : ángulo de fricción residual								

Fuente: Hernandez, Andrei Orland. Selección de alternativas de mitigación del riesgo por procesos de remoción en masa, Bogotá D. C. Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería Civil, 2013, 96

## Anexo B4: Parámetros geo mecánicos determinados dentro de un coluvión.

Unidad geológica	$\gamma_t$ (KN/m <sup>3</sup> )	$C_u$ Lab. (kN/m <sup>2</sup> )	$C$ Lab. (kN/m <sup>2</sup> )	$\Phi'$ Lab. (°)	$C'$ (González, A, 1999) (kN/m <sup>2</sup> )	$\Phi'$ eq (González, A, 1999) (°)	$\Phi'$ (Hatanaka y Uchida, 1996) (°)	$\Phi'$ (Peck, Hanson y Thornburn, 1974) (°)
Depósitos de Deslizamientos Recientes (Scor) - Arena	19	45	34	27	0	37	38	33
Depósitos de Deslizamientos Recientes (Scor) - Limo	19	110	40	25	3	34	40	33
Scor1 - Scor2 Arcilla	19	219	39	26				

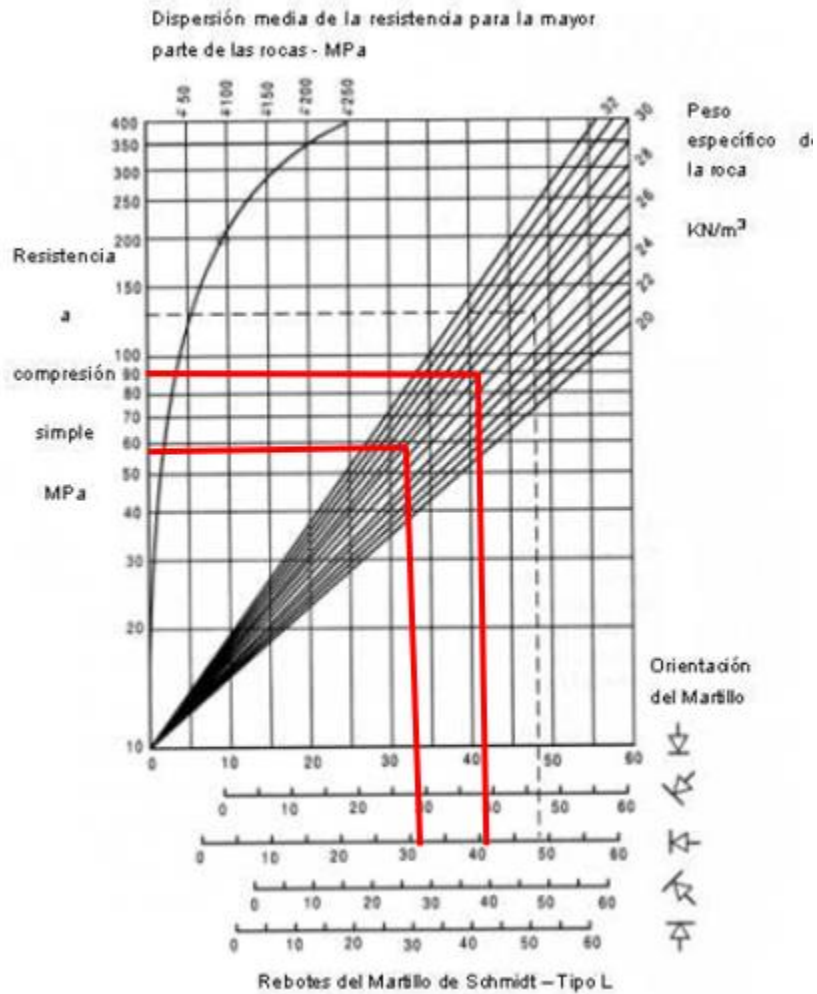
Fuente: Hernandez, Andrei Orland. Selecion de alternativas de mitigación del riesgo por procesos de remoción en masa, Bogota D. C. Universidad Javeriana. Facultad de Ingenieria Civil , 2013, 96 p.

## Anexo B5: Rango de valores de Poisson

Type of soil	$\mu$
Clay, saturated	0.4–0.5
Clay, unsaturated	0.1–0.3
Sandy clay	0.2–0.3
Silt	0.3–0.35
Sand, gravelly sand commonly used	– 0.1–1.00 0.3–0.4
Rock	0.1–0.4 (depends somewhat on type of rock)
Loess	0.1–0.3
Ice	0.36
Concrete	0.15
Steel	0.33

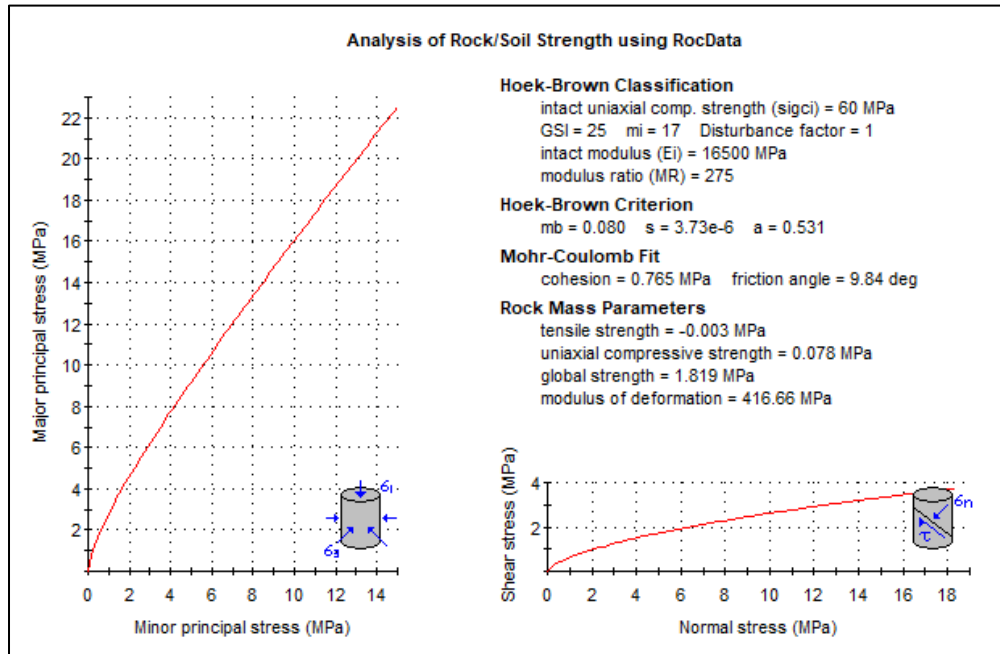
Fuente: Geotechnical and index: laboratory testing, seltements correlations. Pag 123.

Anexo B6: Abaco para la obtención de la resistencia a compresión simple de una roca o de los labios de una discontinuidad partir de las medidas del matillo Schmidt tipo L o esclerómetro. (basado en Miller, 1966)



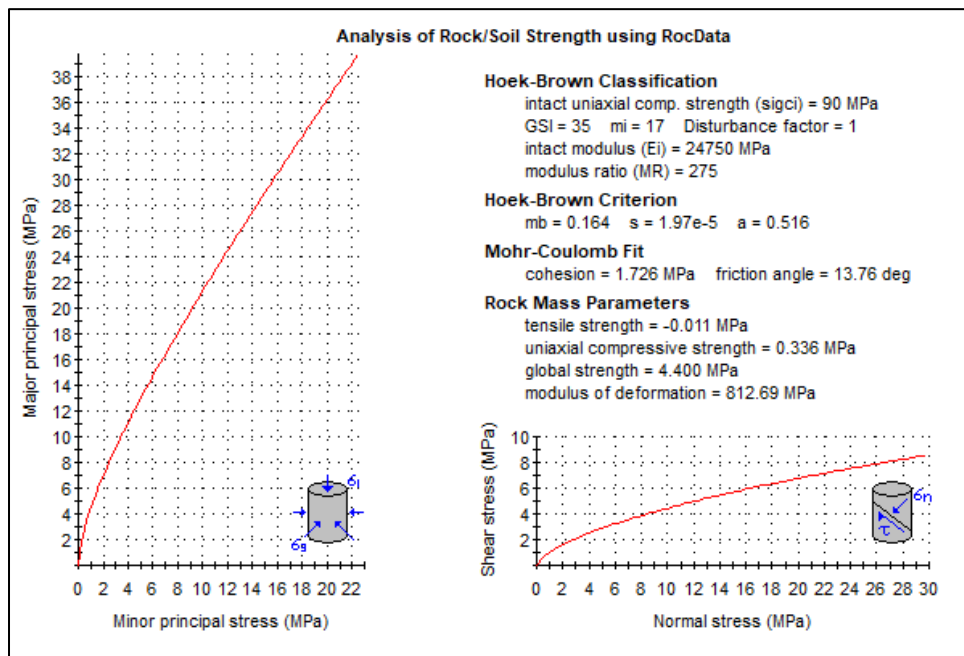
Fuente: Mecánica de rocas: Fundamentos e ingeniería en Taludes, Pedro Ramírez Oyangué, Leando Alejandro Mongue, pag. 92.

Anexo B7: Resultados, Rock Data, Estrato 4.



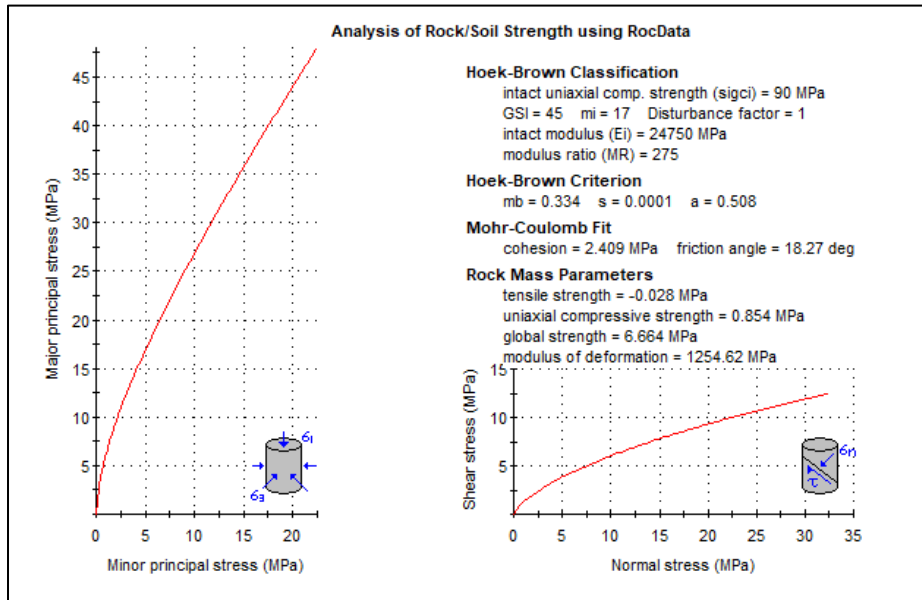
Fuente: Software RocData

Anexo B8: Resultados Estrato 5



Fuente: Software RocData

Anexo B9: Resultados Estrato 7



Fuente: Software RocData

Anexo B10: Estimación de la resistencia media de ciertas rocas según Bieniawski, 1973

Tipo de roca	Resistencia a compresión simple (MPa)		
	Mínima	Máxima	Media
Creta	1	2	1,5
Sal	15	29	22
Carbón	13	41	31
Limolita	25	38	32
Esquisto	31	70	43
Pizarra	33	150	70
Lutita	36	172	95
<b>Arenisca</b>	<b>40</b>	<b>179</b>	<b>95</b>
Marga	52	152	99
Mármol	60	140	112
Caliza	69	180	121
Dolomía	83	165	127
Andesita	127	138	128
Granito	153	233	188
Gneis	159	256	195
Basalto	168	359	252
Cuarcita	200	304	252
Dolerita	227	319	280
Gabro	290	326	298
Taconita	425	475	450
Silice	587	683	635

Fuente: Mecánica de rocas: Fundamentos e ingeniería en Taludes, Pedro Ramírez Oyangué,










Leando Alejandro Mongue, pag. 91.

**Anexo B11: Angulo de fricción básico para varias rocas, a partir de referencias bibliográficas (tomada de Ramírez Oyanguren, at al 1991)**

TIPO DE ROCA	ESTADO DE HUMEDAD	ÁNGULO DE FRICCIÓN BÁSICO $\phi_b$	REFERENCIA
<b>A. ROCAS SEDIMENTARIAS:</b>			
- Arenisca	Seco	26 – 35	Patton, 1966
- Arenisca	Húmedo	25 – 33	Patton, 1966
- Arenisca	Húmedo	29	Ripley & Lee, 1962
- Arenisca	Seco	31 – 33	Krsmanovic ,1967
- Arenisca	Seco	32 – 34	Coulson, 1962
- Arenisca	Húmedo	31 – 34	Coulson, 1962
- Arenisca	Húmedo	33	Richards, 1975
- Pizarra	Húmedo	27	Ripley & Lee, 1962
- Limolita	Húmedo	31	Ripley & Lee, 1962
- Limolita	Seco	31 – 33	Coulson, 1962
- Limolita	Húmedo	27 – 31	Coulson, 1962
- Conglomerado	Seco	35	Krsmanovic ,1967
- Creta	Húmedo	30	Hurchinson, 1972
- Caliza	Seco	31 – 37	Coulson, 1962
- Caliza	Húmedo	27 - 35	Coulson, 1962

Fuente: Fundamentos mecánica de rocas pág. 93

**Anexo B12: Escala intermedia, para observaciones de un metro de longitud (Barton, 1987)**

Descripción	Perfil	$J_r$	JRC 200mm	JRC 1 m
Rugosa		4	20	11
Suave		3	14	9
Pulida		2	11	8
	Escalonada	2	11	8
Rugosa		3	14	9
Suave		2	11	8
Pulida		2	11	8
	Ondulada	1.5	7	6
Rugosa		1.5	2.5	2.3
Suave		1.0	1.5	0.9
Pulida		0.5	0.5	0.4
	Plana	0.5	0.5	0.4

Fuente: Mecánica de rocas, Pag. 191