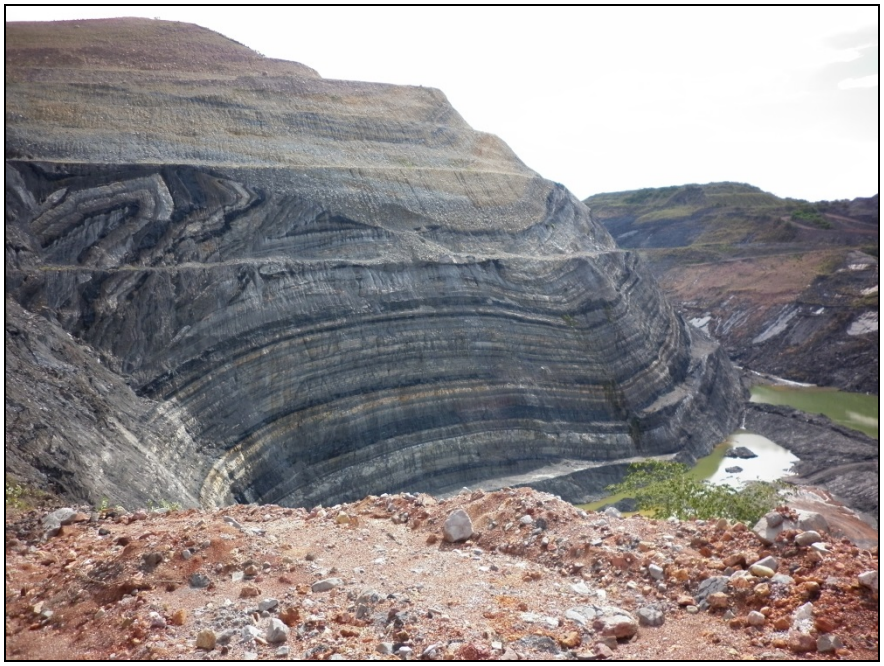
CI AMBIENTAL
Ingeniería Geotécnica y Ambiental
con énfasis en Amenazas Geológicas y de Riesgos

ESTUDIO GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN EN EL DESLIZAMIENTO DEL TALUD NORTE DE LA MINA CERRO LARGO



ORDEN DE COMPRA N°

No.500001016 DEL 10 JULIO DE 2014

BOGOTÁ, COLOMBIA

ISO 9001: 2008
ISO 14001: 2004
BUREAU VERITAS Certification
N° CO236185 / N° CO236186
ONAC
ACREDITADO ISO/IEC 17021:2006 10-CSG-007

NORCARBON S.A.S.

CI AMBIENTAL
Ingeniería Geotécnica y Ambiental

CONSULTORES EN INGENIERÍA Y MEDIO AMBIENTE –
CI AMBIENTAL SAS

ESTUDIOS GEOTÉCNICOS Y DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO DE TALUDES ZONA PERTURBADA

ORIGINAL

SEPTIEMBRE DE 2014
Bogotá, Cundinamarca

Tabla de Contenido

INTRODUCCIÓN **7**

1. GENERALIDADES **8**

1.1 OBJETIVOS 8

1.1.1 Objetivo General 8

1.1.2 Objetivos Específicos 8

1.2 LOCALIZACIÓN 8

1.3 METODOLOGÍA 9

1.4 RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE 9

2. GEOLOGÍA **11**

2.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL 11

2.2 GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO 13

2.2.1 ESTRUCTURAS 13

2.2.2 DISCONTINUIDADES 13

2.2.3 ZONAS DE TALUD NORTE 16

2.2.4 MOVIMIENTOS EN MASA 17

2.2.5 Análisis de la Información de los perfiles geológicos 19

3. ANÁLISIS HIDROLOGÍA e HIDRÁULICA **22**

3.1 Generalidades. 22

3.2 Localización. 22

3.3 ÁREA DE ESTUDIO 23

3.3.1 Investigación de Campo 24

3.3.2 Inventario Información Hidrológica 24

3.3.3 Comportamiento del Clima 25

3.3.4 Temperatura 25

3.3.5 Humedad Relativa 25

3.3.6 Evaporación 26

3.3.7 Brillo Solar 27

3.3.8 Viento 28

3.3.9 Comportamiento de la Precipitación 29

3.3.10 Número de días de lluvia 31

3.3.11 Precipitación Máxima en 24 Horas 32
3.3.12 Curvas IDF 33
3.4 ESCORRENTÍA SUPERFICIAL 34
3.5 CAUDALES DE DISEÑO 36
3.6 DISEÑO DE CUNETAS 38
4. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO Y ENSAYOS DE LABORATORIO 42
4 PERFORACIONES MECÁNICAS POR ROTACIÓN. 42
4.1 ENSAYOS DE REFRACCIÓN SÍSMICA 45
4.2 ENSAYOS DE LABORATORIO 54
4.2.1 Ensayos de Clasificación 55
4.2.2 Ensayos de Resistencia 56
5. EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD Y DISEÑO DE TALUDES FINALES 61
5.1 Evaluación estabilidad actual del talud norte. 61
5.2 CONSIDERACIONES SOBRE EFECTOS DEL AGUA Y SISMO EN EL SISTEMA DE TALUD 63
5.3 PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EMPLEADOS PARA LA MODELACIÓN 64
5.4 MODELACIÓN ANÁLISIS CINEMÁTICO DE ESTABILIDAD DE TALUDES 64
5.5 MODELACIÓN ESTABILIDAD DE TALUDES Y DISEÑO FINAL 68
6. INSTRUMENTACIÓN Y MONITOREO 71
7. CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES 74
8. BIBLIOGRAFÍA 76

Lista de Tablas

Tabla 3. 1 Coordenadas de estaciones meteorológicas 24
Tabla 3. 2 Temperatura Media Mensual Multianual [°C] 25
Tabla 3. 3 Humedad Relativa Media Mensual Multianual [%] 26
Tabla 3. 4 Evaporación Media Mensual Multianual [mm] 27
Tabla 3. 5 Distribución Anual de Brillo Solar [h] 27
Tabla 3. 6 Precipitación Media Mensual Multianual [mm] 29
Tabla 3. 7 Número de días de Precipitación media mensual multianual 31
Tabla 3. 8 Precipitación Máxima en 24h [mm] 32
Tabla 3. 9 Intensidades máximas para una duración de 10min 34
Tabla 3. 10 Coeficientes de Escorrentía. 36
Tabla 3. 11 Caudales para los diferentes períodos de retorno 37
Tabla 3. 12 Diseño de cunetas y canal de recolección 39

Tabla 4. 1 Características de los sondeos mecánicos ejecutados en el Talud norte 43

Tabla 4. 2 Ubicación líneas de refracción sísmica realizadas en la zona 46
Tabla 4. 3 Velocidades Ondas P (LNC-01) 52
Tabla 4. 4 Velocidades Ondas S (LNC-01) 53
Tabla 4. 5 Estratos identificados 54
Tabla 4. 6 Humedad Natural de los materiales según la profundidad de estos. 56
Tabla 4. 7 Resumen parámetros Geomecánicos materiales, incluye análisis estudios anteriores 60

Tabla 5. 1 parámetros geomecánicas empleados en la modelación para la condición actual 64

Tabla 6. 1 Ubicación instrumentos recomendados 72

Lista de Figuras

Figura 1. 1 Localización Zona de estudio 9

Figura 2. 1 Vista general de los estratos de la formación los Cuervos donde se observan varias capas de carbón 13
Figura 2. 2 Ubicación toma de datos por estación de diaclasas. 14
Figura 2. 3 formato toma de levantamiento de datos de Diaclasamientos. 15
Figura 2. 4 Imagen Google Earth de enero de 2013 y fotografía Panorámica de la zona de talud norte del sector norte donde actualmente se presentan procesos de inestabilidad 16
Figura 2. 5 Panorámica general del movimiento que afecta el sector sur oriental del frente de explotación donde el material se desplaza de manera lenta pero permanente afectando las vías de acceso a las terrazas superiores 17
Figura 2. 6 Detalle de las grietas de longitud, profundidad y abertura variables que se presentan sobre niveles de roca muy triturada y en materiales de descapote; las grietas facilitan la infiltración del agua de escorrentía. 18
Figura 2. 7 Flanco oriental del movimiento donde se observan por lo menos tres pulsos del movimiento que desplaza materiales heterogéneos muy sueltos. 18
Figura 2. 8 Ubicación en planta perfiles geológicos 19
Figura 2. 9 Perfil geológico D-D' 20
Figura 2. 10 Perfil geológico E-E' 21

Figura 3. 1 Ubicación de las Estaciones 24
Figura 3. 2 Régimen de Temperaturas 25
Figura 3. 3 Humedad Relativa 26
Figura 3. 4 Evaporación 27
Figura 3. 5 Distribución Anual de Brillo Solar 28
Figura 3. 6 Rosa de los Vientos 28
Figura 3. 7 Histogramas de Precipitación 30
Figura 3. 8 Comparación Precipitación, Humedad y Evaporación 30
Figura 3. 9 Número de días con Lluvia 31
Figura 3. 10 Precipitación Máxima en 24h 32
Figura 3. 11 Curvas IDF, método de Bell 34
Figura 3. 12 Delimitación de Cuencas sobre DEM 35
Figura 3. 13 Posible variación del Qt con el coeficiente de escorrentía 38

Figura 3. 14 Sección Transversal Cuneta Tipo I 40
Figura 3. 15 Sección Transversal Canal de Recolección 40
Figura 3. 16 Localización de Canales 41

Figura 4. 1 Ubicación sondeos realizados 42
Figura 4. 2 Perfil Estratigráfico PG–01 44
Figura 4. 3 Localización de las lineas de Refracción Sismica. 45
Figura 4. 4 Sismógrafo Seistronix RAS-24 ***Figura 4. 5 Geófonos*** 46
Figura 4. 6 Medición en Campo 47
Figura 4. 7 Mosaico pantallazos ondas S (LNC-01) 48
Figura 4. 8 Pantallazo Rayfract, LNC-01(Ondas P) 49
Figura 4. 9 Pantallazo Rayfract, LNC-01(Ondas S) 49
Figura 4. 10 Timebreaks y Dromocronas, Ondas P (LNC-01) 50
Figura 4. 11 Timebreaks y Dromocronas, Ondas S (LNC-01) 51
Figura 4. 12 Tomografía del Terreno, Velocidades de Onda Plana (Vp), LNC-01 53
Figura 4. 13 Tomografía del Terreno, Velocidades de Onda Plana (Vs), LNC-01 54
Figura 4. 14 BNC-1301 – M3 Prof. 9.95 a 10.15 m 56
Figura 4. 15 figura envolvente de falla para la condición pico, BNC-1303- Muestra 6 57
Figura 4. 16 figura envolvente de falla para la condición residual, BNC-1303- Muestra 6 58
Figura 4. 17 ensayo de triaxial consolidado no drenado estático BNC –1302 – M20 Prof. 31.50 a 33.00 m . 59

Figura 5. 1 Ubicación perfil D-D' en la zona del talud norte 62
Figura 5. 2 Modelo Perfil D-D’ geológico 62
Figura 5. 3 Formato para levantamiento de discontinuidades 65
Figura 5. 4 Análisis cinemático de estabilidad para generación de cuñas. 66
Figura 5. 5 Análisis cinemático de estabilidad para volcamiento flexural. 66
Figura 5. 6 Análisis cinemático de estabilidad para deslizamientos planares. 67
Figura 5. 7 Análisis cinemático de estabilidad para volcamiento 67
Figura 5. 8 Análisis condición actual con aceleración horizontal. 68
Figura 5. 9 Análisis condición con medidas de mitigación alternativa 1 con aceleración horizontal. 69
Figura 5. 10 Nomograma de factor de seguridad esperado vs inclinación de talud. 70

Figura 6. 1 Ubicación instrumentación propuesta 73

INTRODUCCIÓN

El presente informe "**ESTUDIOS GEOTÉCNICOS Y DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO DE TALUDES ZONA PERTURBADA NORCARBON SAS** y Consultores en Ingeniería Geotécnica y Ambiental - **CI Ambiental SAS**., la cual tiene como objeto realizar el diseño de los taludes finales del sector del movimiento detectado en la zona perturbada.

La metodología empleada para la realización del presente proyecto comprende los trabajos de campo que incluyeron: levantamiento topográfico (realizado por NORCARBON, y suministrado a C.I. AMBIENTAL S.A.S), exploración del subsuelo realizado mediante seis (6) perforaciones mecánicas por rotación de sesenta metros de profundidad aproximadamente, en diámetro HQ realizada por el solicitante, procesamiento y análisis de la información recolectada, y finalmente diseño de los taludes finales.

Este documento comprende siete (7) capítulos, distribuidos de la siguiente manera:

1. ***Generalidades:*** Describe de manera general la importancia de realizar el presente estudio, los objetivos específicos y la metodología en general empleada, así como el análisis de la información suministrada por Norcarbon.
2. ***Geología:*** Describe las formaciones geológicas presentes en la zona de estudio.
3. ***Análisis hidrológico e hidráulico:*** Se presenta un análisis de la información hidrológica de la zona de estudio, con el fin de entrar a diseñar los canales en el sector de interés.
4. ***Exploración del Subsuelo:*** Se presentan los perfiles estratigráficos obtenidos en las perforaciones realizadas por Norcarbon, y que contó con el apoyo del geólogo José Jiménez. De igual forma, se presentan los resultados de laboratorio de las muestras obtenidas en campo.
5. ***Evaluación de Estabilidad y Diseño de Taludes Finales:*** Se presentan los análisis de estabilidad realizados en diferentes secciones, así como la configuración final que garantice la estabilidad del talud.
6. ***Conclusiones y/o recomendaciones:*** Se presentan las recomendaciones propuestas por los resultados arrojados durante el análisis geotécnico e hidráulico de la zona en estudio.
7. ***Bibliografía.***

1. GENERALIDADES

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General

Realizar el diseño de los taludes finales del sector de Talud norte.

1.1.2 Objetivos Específicos

- ✓ Realizar el levantamiento topográfico de la zona de estudio y generar el plano a escala 1:1000 (actividad realizada por NORCARBON).
- ✓ Realizar la caracterización geológica del sector donde se encuentra ubicado el proceso.
- ✓ Realizar la caracterización geomecánica basada en los resultados de ensayos obtenidos de la exploración del subsuelo desarrolladas para el presente proyecto y la información suministrada.
- ✓ Diseñar los taludes finales que garanticen la estabilidad de los taludes.

1.2 LOCALIZACIÓN

El proyecto minero Cerro Largo se encuentra al oriente del casco urbano del municipio de la Jagua de Ibirico a una distancia de 7 kilómetros en línea recta, se accede al lugar a través de un carreteable de longitud aproximada de 10 Km que se desprende de la vía nacional ver Figura 1. 1

El sector comprende parte del piedemonte de la Serranía del Perijá donde las alturas varían entre 300 m.s.n.m. y los 400 m.s.n.m, en una zona de morfología colinada generada por procesos de origen Denudacional y estructural donde el patrón de drenaje es de tipo dendrítico y la corriente principal está constituida por el caño Canime.

La cobertura vegetal está conformada principalmente por vegetación de tipo herbácea, arbustiva, rastrojo y relictos de bosques de galería que se restringen a las márgenes del caño Canime, corriente intermitente de poco caudal que discurre en dirección sur norte por el costado oriental de la zona de talud norte de los estériles.

La explotación minera actualmente se realiza en el costado norte de Cerrolargo y los estériles que resultan de las actividades mineras son dispuestos en el sector norte del área donde se presentan evidencias de movimientos en masa.



Figura 1. 1 *Localización Zona de estudio*

1.3 METODOLOGÍA

La metodología empleada para el presente estudio consistió en una fase de campo y una de oficina. Se inició con el levantamiento topográfico suministrado por Norcarbon, seguida de una exploración del subsuelo conformada por 6 perforaciones mecánicas por rotación, en diámetro HQ, con una profundidad de 60.0 metros aproximadamente.

Con la anterior información se procede a la realización de ensayos de resistencia, particularmente cortes directos drenados y de compresión inconfinada. Todas estas pruebas se realizan sobre los núcleos muestreados.

A partir de la anterior información se procede a realizar los respectivos análisis de estabilidad. En este orden de ideas, se realiza un análisis para la condición actual, es decir cuál sería el comportamiento del depósito en el evento de lluvias fuertes y un sismo, y posteriormente, se realiza un nuevo análisis para la condición futura con obras de mitigación. Cabe resaltar que los depósitos que se encuentran en movimiento son suelos residuales y en menor medida suelos aluviales, provenientes del macizo rocoso de la formación los cuervos a nivel superficial.

1.4 RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE

Para la elaboración del presente estudio se realizó un análisis de la información existente, que son básicamente estudios realizados por la firma Rocas y Minerales. A continuación presentaremos algunos de los aspectos más relevantes de los anteriores estudios:

- Análisis de estabilidad del coluvión de pared alta (2009). Rocas y Minerales. El estudio tiene por objeto evaluar la estabilidad del depósito coluvial que cubre los mantos de

carbón y que es necesario remover con el fin de llegar a los mantos de interés. Los autores muestran que en estos depósitos se habían presentado problemas de inestabilidad que afectaban los frentes de explotación. Para solucionar el problema realizan ensayos de laboratorio sobre muestras reconstituidas y posteriormente proceden a evaluar la estabilidad del talud mediante equilibrio límite. Finalmente los autores proponen que la estabilidad del talud se garantiza para taludes finales con inclinación de 34^0, bermas de 4.0 metros, cortes de 10.0 metros, para un talud final de inclinación de 28°.

- Diseño De Estructuras Hidráulicas Para El Manejo De Las Aguas Lluvias Y De Escorrentía Para La Mina De Cerro Largo (2012). SGI LTDA CONSULTORÍA E INGENIERÍA. Contiene el estudio hidrológico, hidráulico y diseño de obras de drenaje, el cual hace parte de los estudios generales para el manejo de las aguas de escorrentía en la mina Cerrolargo localizada en el Municipio de La Jagua de Ibirico en el departamento del Cesar.

  El alcance de los estudios comprende el análisis hidrológico, fundamentado en la evaluación de lluvias y obtención de los caudales máximos en el sitio descrito anteriormente y en cada una de las estructuras que se encuentran dentro del sector estudiado.

- Análisis Geotécnico de Estabilidad de Taludes de Explotación de la Mina Cerro Largo (2010). Rocas y Minerales. El estudio tiene por objeto establecer una geometría intermedia y final geotécnicamente estable. Para solucionar el problema realizan ensayos de laboratorio sobre muestras predominantemente rocosas compuestas por areniscas, arcillolitas y una matriz aluvial arcillo limosa y posteriormente proceden a evaluar la estabilidad del talud mediante análisis cinemáticos de estabilidad y caída de bloques sobre el macizo rocoso finalizando con la verificación de estabilidad ante una falla circular de todo el talud. Finalmente los autores proponen que la estabilidad del talud se garantiza para taludes finales con inclinación no mayor a 55° y para el análisis de estabilidad del corte del material aluvial recomiendan no más de 28° de inclinación final. Por ultimo hacen especial énfasis en que estas geometrías recomendadas dependen altamente en un control adecuado (los autores se refieren como drásticamente) de las aguas tanto de escorrentía como superficiales.

2. GEOLOGÍA

2.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

Las características tectónicas presentes en el área son el producto de la combinación de esfuerzos de tensión y depositación diferencial de sedimentos Jurásicos y Cretácicos, procesos de subsidencia y posterior generación de esfuerzos debidos al levantamiento cordillerano, con periodos erosivos (discordancias que se le asignan edades desde el Mioceno hasta el Reciente). La sedimentación del terciario ocurrió en una cuenca más extensa de la actual, con depositación de rocas de mayor espesor en lo que es actualmente la parte más profunda de la Cuenca. Su ambiente de depósito es en el área principalmente continental con alguna influencia marina en un ambiente restringido y paludal. Ambiente definido en algunos casos como lagunar anóxico con abundante vegetación seguido por enterramiento de turbas.

La cuenca y su estratigrafía en su configuración actual están afectadas por fallas inversas, en su gran mayoría, de alto ángulo y con inclinación hacia el oriente. Trenes de fallas con orientación N 20-30 E son bien definidos en el área

La Zona Carbonífera Cesar pertenece a la denominada cuenca del Cesar- Ranchería, la cual se encuentra limitada al norte, por la Falla Oca de dirección este- oeste y de desplazamiento lateral derecho; al oeste- sureste, por el sistema de fallas de Bucaramanga- Santa Marta, principalmente, de rumbo e inclinación hacia el oriente; el complejo ígneo-metafórico de la Sierra Nevada de Santa Marta, al noreste y la Serranía Perijá o de los Motilones, al sureste.

Estratigrafía regional

De acuerdo a los estudios realizados en la zona la geología está constituida por rocas con edades desde el Paleozoico hasta el Cuaternario, rocas que fueron depositadas sobre el basamento cristalino constituido por rocas metamórficas e ígneas.

Las sedimentitas, que constituyen el Paleozoico, están representadas por sedimentos marinos y continentales afectados en algunos casos por metamorfismo e intrusiones ígneas; estos estratos afloran en la Serranía del Perijá.

Las rocas del Jurásico están representadas por la Formación La Quinta, conformada predominantemente por capas rojas, depositadas en un ambiente continental y que alternan con rocas volcánicas.

El Cretáceo está representado por una secuencia marina, en su gran mayoría, la cual varía de edad desde el Neocomiano al Maastrichtiano; el ambiente de depositación gradualmente cambia de las condiciones ambientales del jurásico, a ambientes transicionales y, finalmente a condiciones marinas, en el Cretáceo temprano.

La unidad geológica que contiene los carbones que son explotados es la formación Los Cuervos que en la cuenca Carbonífera del Cesar, reposa conformemente en contacto transicional, sobre la Formación Barco. Está constituida por una secuencia sedimentaria muy variable, la cual se ha dividido en tres conjuntos:

Conjunto Inferior, (Tpcl3): compuesto por arcillolitas y limolitas de color gris a gris medio, intercaladas con bancos de areniscas, cintas y mantos de carbón.

Conjunto Medio (Tpcl2), conforma, básicamente, el nivel carbonífero productivo, y está constituido por una secuencia de arcillolitas, limolitas, arenitas y hasta 60 capas y mantos de carbón.

El Conjunto Superior, se compone de arenitas de color gris claro a medio, grano fino a medio, cuarzosas, intercaladas con limolitas y arcillolitas.

La Formación Los Cuervos tiene espesores que varían desde 245m hasta 1600m; los mantos de carbón se presentan, aproximadamente, a 300m sobre la base de formación.

La formación Cuesta reposa, inconformemente, sobre los conjuntos Medio y Superior de la formación Los Cuervos. Está constituida en general, por una secuencia de estratos arenosos y conglomeráticos, friables, localmente ferruginoso. El espesor de esta unidad, varía entre 60m y los 650m. Existen, además depósitos de terraza, del Pleistoceno y aluviones recientes (Geología del Departamento del Cesar INGEOMINAS).

Tectónica

En la zona carbonífera del Cesar se han identificado tres áreas desde el punto de vista estructural: La Jagua de Ibirico. El Alto de Becerril, donde afloran rocas cretáceas de las formaciones Molino y La Luna. La Loma, donde se presenta una secuencia sedimentaria terciaria con un basamento del Cretáceo, que a su vez conforman una serie de anticlinales y sinclinales de dirección noreste-suroeste, ocasionalmente interrumpidos por fallas. Las principales estructuras corresponden a sinclinales denominados: El Descanso, La Loma y El Boquerón.

Estas estructuras se encuentran separadas por fallas diversas de dirección noreste- sureste, conocidas como: Falla El Hatillo, que separa los sinclinales El Descanso con el de La Loma y la Falla El Tigre, que separa el Sinclinal La Loma del Sinclinal El Boquerón.

2.2 GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO

El yacimiento de la Mina La Divisa está conformado por una secuencia sedimentaria de arcillolitas, limolitas, carbón y lentes de areniscas que hacen parte de la Formación Cuervos (Tlc); la cual está cubierta por un depósito aluvial (Qal) que alcanza hasta los 150 metros de espesor (KISC 2011)



Figura 2. 1 Vista general de los estratos de la formación los Cuervos donde se observan varias capas de carbón

2.2.1 ESTRUCTURAS

La secuencia sedimentaria que está presente en la mina La Divisa hace parte del flanco Oeste del Anticlinal de la Jagua, que presenta una orientación promedio N54ºE / 27ºSE y está limitada al Sureste por la Falla Cerrolargo (Zona Perturbada) y al Oeste por la Falla Marjeva. Adicionalmente, se presentan una serie de fallas de poco desplazamiento con un rumbo similar al de la Falla Cerrolargo, como es el caso de la Falla El Hobo (KISC 2011).

2.2.2 DISCONTINUIDADES

Debido a la actividad tectónica por las fallas regionales y locales, se presentan plegamientos y discontinuidades, las cuales se pueden auscultar debido a la explotación minera. En particular se tomaron dos estaciones para la toma de datos de Diaclasamientos las cuales se muestran en la figura 2.2. En la figura 2.3 se muestra el formato de toma de discontinuidades levantado en campo. Los resultados se presentan en el anexo 2.

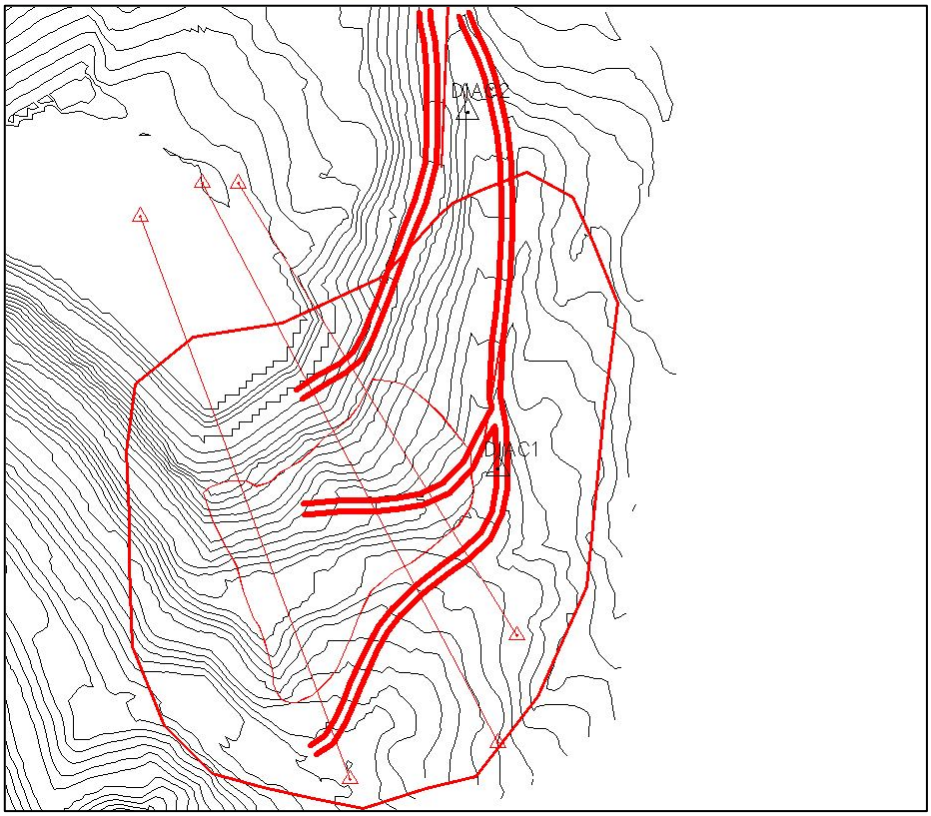


Figura 2. 2 Ubicación toma de datos por estación de diaclasas.

FORMATO DE LEVANTAMIENTO DE DISCONTINUIDADES

FECHA: 25 / 7 / 2014 | N° ESTACION: 1 | LOCALIZACION GEOGRAFICA: | PAG. 1 DE 3

COORDENADAS: N 1547916 | E 1089236 | 322msnm | PROFESIONAL (ES): JC

ESTRATIFICACION: 132 / 50 | ORIENTACION TALUD: 308 / 75 | ALTURA TALUD (m): 5 | ANCHO TALUD (m): 20 | ORIENTACION FOTOGRAFIA:

UNIDAD GEOLOGICA: FM CUERVOS | DESCRIPCION: Areniscas cuarzosas grises claras en estratos de espesor variable, intercaladas con lodolitas de poco espesor, En general estan muy fracturadas

ALTURA DE MEDICION(m): 1 | TIPO DE ESTACION: MINA X | AFLORAMIENTO

NATURALEZA Y ORIENTACION DE DISCONTINUIDADES

DISTANCIA ENTRE DIACLASAS (m)	TIPO	BUZAMIENTO	DIRECCION DE BUZAMIENTO	PERSISTENCIA	TERMINACIONES	ABERTURA	TIPO DE RELLENO	ESFUERZO COMPORESIVO DEL RELLENO	RUGOSIDAD DE LA SUPERFICIE	FORMA DE LA SUPERFICIE	COEFICIENTE RUGOSIDAD JRC	Ja	FLUJO DE AGUA EN LA SUPERFICIE (JW)	FACTOR DE REDUCCION DE ESFUERZOS	OBSERVACIONES
0	2	62	12	2	2	4	3	R2	1	2	12-14		2		
0.35	2	80	28	1	2	3	3	R2	1	2	12-14		2		
0.48	2	72	252	2	2	8	3	R2	1	2	12-14		2		
0.1	2	78	226	1	2	5	3	R2	1	2	12-14		2		
0.22	2	72	260	2	2	5	3	R2	1	2	12-14		2		
0.21	2	65	258	2	2	4	3	R2	1	2	12-14		2		
0.14	2	65	258	2	2	4	3	R2	1	2	12-14		2		
0.16	2	68	267	1	2	2	3	R2	1	2	12-14		2		
0.11	2	80	265	2	2	4	3	R2	1	2	12-14		2		
0.35	2	74	262	2	2	4	3	R2	1	2	12-14		2		
0.2	2	80	16	2	2	7	3	R2	1	2	12-14		2		
0.07	2	68	6	1	2	2	3	R2	1	2	12-14		2		
0.2	2	68	358	1	2	3	3	R2	1	2	12-14		2		
0.47	2	82	260	2	2	4	3	R2	1	2	12-14		2		
0.49	2	62	252	2	2	7	3	R2	1	2	12-14		2		
0.35	2	70	262	2	2	4	3	R2	1	2	12-14		2		
0.15	2	65	268	1	2	8	3	R2	1	2	12-14		2		
0.2	2	62	8	2	2	6	3	R2	1	2	12-14		2		
0.46	2	85	278	2	2	7	3	R2	2	2	8-10		2		
0.3	2	70	268	1	2	4	3	R2	1	2	12-14		2		

TIPO
0. Zona de Falla
1. Falla
2. Diaclasa
3. Clivaje
4. Esquistosidad
5. Cizalla
6. Fisura
7. Grieta de tension
8. Foliación
9. Estratificación

PERSISTENCIA

1. Muy baja	< 1 m	
2. Baja	1-3 m	
3. Media	3-10 m	
4. Alta	10-20 m	
5. Muy alta	> 20 m	

TERMINACIONES
0. No hay terminación visible
1. Una terminación visible
2. Ambas terminaciones visibles

SFR: es un factor por fallamiento, por relación resistencia/esfuerzo, en rocas duras masivas por procesos fluyentes o expansivos

ABERTURA

1. Muy estrecha	< 0,1 mm
2. Estrecha	0,1-0,25 mm
3. Parcialment abierta	0,25 - 0,5 mm
4. Abierta	0,5 - 2,5 mm
5. Moderamaente amplia	2,5 - 10 mm
6. Amplia	> 10 mm
7. Muy amplia	1 - 10 cm
8. extermadamente amplia	10 - 100 cm
9. Cavernosa	> 1 m

RUGOSIDAD DE LA SUPERFICIE
1. Rugosa
2. Suave
3. Pulida
4. Estrias de falla

ESPACIAMIENTO

1. Extremadamente cerrado	< 20 mm
2. Muy cerrado	20-60 mm
3. Cerrado	60-200 mm
4. Moderado	200-600 mm
5. Amplio	600-2000 mm
6. Muy amplio	2000-6000 mm
7. Extremadamente amplio	>6000 mm

TIPO DE RELLENO
1. Limpia
2. Superficie teñida
3. No cohesivo
4. Matriz arcillosa inactiva
5. Matriz arcillosa expansiva
6. Cementada
7. Clorita, talco o yeso
8. Otra (especifique)

FORMA DE LA SUPERFICIE
1. Escalonada
2. Ondulada
3. planar

COMPRESIVIDAD DEL RELLENO
S1 Arcilla muy suave
S2 Arcilla suave3
S3 Arcilla firme
S4 Arcilla compacta
S5 Arcilla muy compacta
S6 Arcilla dura
R0 Roca extremadamente debil
R1 Roca muy debil
R2 Roca debil
R3 Roca mediamente fuerte
R4 Roca fuerte
R5 Roca muy fuerte
R6 Roca extremadamente fuerte

FLUJO AGUA (DIACLASA ABIERTA)
0. No hay posibilidad de flujo de agua
1. Discontinuidad seca sin evidnecia de flujo de agu
2. Discontinuidad seca pero muestra evidencia de flujo de agua (manchas de o
3. Discontinuidad húmeda, sin flujo de agua presente
4. Disconinuidad muestra goteo, no hay flujo continuo de agua
5. Discontinuiida con flujo continuo de agua (Estime el flujo y describa la presión: baja, media o alta)

FLUJO AGUA (DIACLASA RELLENA)
6, Los materiales del relleno esta muy consolidados y secos, baja permeabilidad
7. Los materiales de relleno estan humedos sin presencia de agua libre
8. Los materiels de relleno estan humedos y ocasionalmente goteo de agua
9. Los materiels de relleno muestran flujo continuo de agua. Estimar l/min
10. Los materiels de relleno estan lavados localmente, salida de agua, estime l/min y describa la presión: baja, media o alta

Figura 2. 3 formato toma de levantamiento de datos de Diaclasamientos.

2.2.3 ZONAS DE TALUD NORTE

Constituidos por materiales removidos durante las actividades de explotación de los mantos de carbón, están compuestos principalmente por fragmentos angulares de areniscas de grano fino, lutitas grises y lodolitas de color oscuro en una matriz lodosa arenosa fina, muy porosos y permeables debido a la baja compactación de los materiales al momento de su disposición. Los tamaños de los materiales varían desde limolitas, gravas hasta bloques donde se pueden diferenciar materiales de color variable desde ocre hasta amarillo con algunos niveles más arcillosos.

Los materiales se encuentran dispuestos formando terrazas con ancho de berma variable, con baja pendiente donde la escorrentía fluye hacia el oriente y ha generado procesos de carcavamiento que en algunos sectores se ha profundizado generando procesos de socavación y arrastre de los materiales de tamaño más pequeño que son arrastradas hasta la laguna de decantación y el cauce del caño Canime. Estos procesos de arrastre de material contribuyen a la generación de procesos de inestabilidad que son acentuados por la falta de obras para el manejo de aguas de escorrentía que al circular por materiales con bajo grado de compactación se infiltran arrastrando las partículas finas; la perdida de la matriz genera posteriormente el colapso de los materiales que por empuje han desplazado el cauce del caño Canime hacia el oriente y elevado el nivel base del caño cuyas aguas divagan sobre materiales de relleno.



Figura 2. 4 Imagen Google Earth de enero de 2013 y fotografía Panorámica de la zona de talud norte del sector norte donde actualmente se presentan procesos de inestabilidad

2.2.4 MOVIMIENTOS EN MASA

En el sector suroriental del frente de explotación se presentan un movimiento de remoción en masa de tipo traslacional que desplaza suelo residual, depósitos de pendiente, depósitos aluviales, material de descapote y roca de la Formación los Cuervos que se encuentra muy triturada y sus estratos cambian el ángulo de buzamiento en distancias muy cortas por efecto de la falla Cerro Largo

Este movimiento fue dinamizado por el desarrollo de las actividades de descapote que involucraron la remoción de gran cantidad de material que mantenía confinado el talud. Otro factor determinante es la falta de manejo de aguas de escorrentía en la parte alta donde la permeabilidad de los materiales facilita la infiltración y profundización del agua que termina saturando y desplazando los materiales hacia las partes bajas.

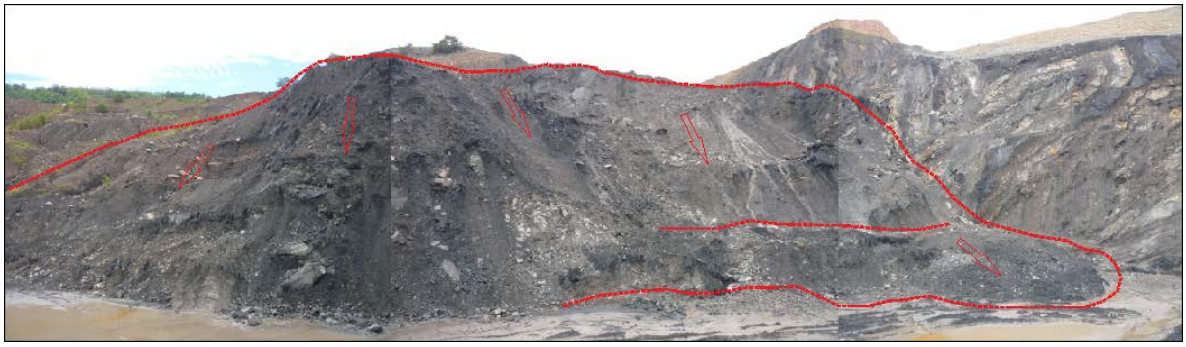


Figura 2. 5 Panorámica general del movimiento que afecta el sector sur oriental del frente de explotación donde el material se desplaza de manera lenta pero permanente afectando las vías de acceso a las terrazas superiores

El movimiento ha destruido un tramo de las terrazas construidas durante los trabajos de descapote del material estéril. A media ladera se observa la presencia de agua que genera pequeños flujos de lodos que se acumulan en una zona plana junto con el agua de escorrentía y la que fluye de los taludes adyacentes; también existen grietas perpendiculares a la dirección del movimiento, estas tienen longitud mayor a 20 metros con abertura y profundidad variables y facilitan la infiltración del agua de escorrentía contribuyendo a acelerar el movimiento. Se estima que el espesor de la masa en movimiento puede superar los 20 metros.



Figura 2. 6 Detalle de las grietas de longitud, profundidad y abertura variables que se presentan sobre niveles de roca muy triturada y en materiales de descapote; las grietas facilitan la infiltración del agua de escorrentía.



Figura 2. 7 Flanco oriental del movimiento donde se observan por lo menos tres pulsos del movimiento que desplaza materiales heterogéneos muy sueltos.

2.2.5 Análisis de la Información de los perfiles geológicos

Con el fin de identificar la variabilidad del depósito en profundidad, se construyeron dos perfiles, ubicados como se ilustra en la Figura 2. 8. A continuación se va a realizar una descripción de los diferentes perfiles analizados, donde se destacan aspectos tales como espesor y perfil estratigráfico.

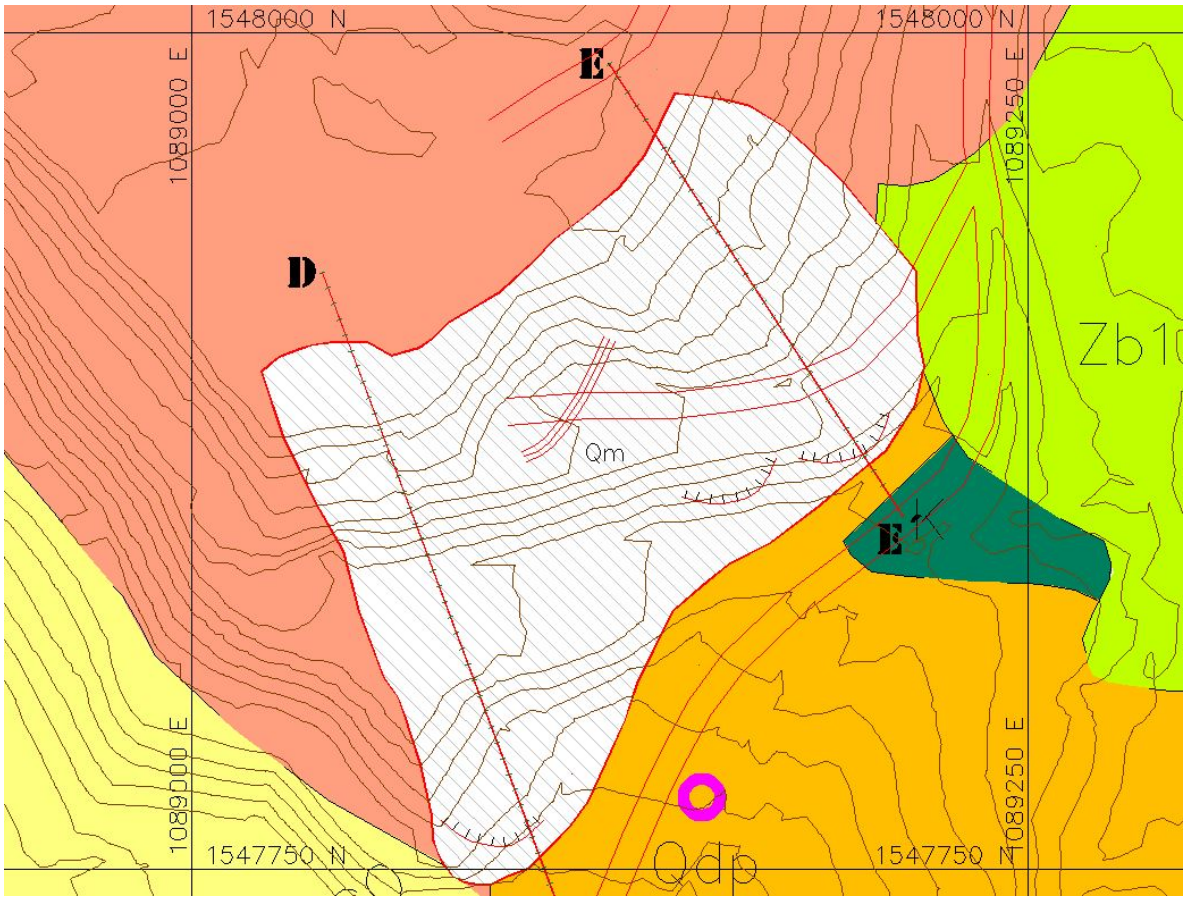


Figura 2. 8 Ubicación en planta perfiles geológicos

PERFIL D-D´

Localizado en el sector suroriental del talud norte, presenta evidencias de movimiento con presencia de fuertes agrietamientos perpendiculares a la dirección del movimiento y se observa la presencia de la falla cerro largo. Los depósitos en movimiento identificados como Qm constituidos por suelos residuales, depósitos de pendiente y rocas de la formación los Cuervos que se encuentra muy fracturada por acción de la falla de Cerro Largo, presentando espesores de aproximadamente 15 metros. El perfil se ilustra en la Figura 2. 9.

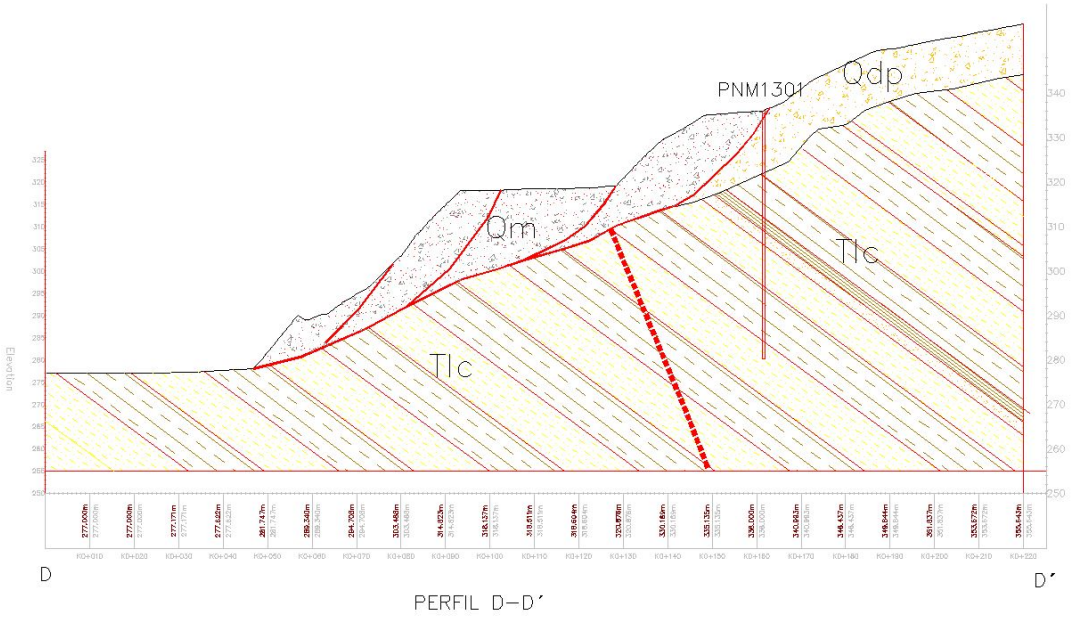


Figura 2. 9 Perfil geológico D-D'

PERFIL E-E´

Localizado en el sector noroccidental del talud norte, presenta evidencias de movimiento con presencia de fuertes agrietamientos perpendiculares a la dirección del movimiento y se observa la presencia de la falla cerro largo. Los depósitos en movimiento identificados como Qm constituidos por suelos residuales, depósitos de pendiente y rocas de la formación los Cuervos que se encuentra muy fracturada por acción de la falla de Cerro Largo, presentando espesores de aproximadamente 8 metros. El perfil se ilustra en la Figura 2. 10.

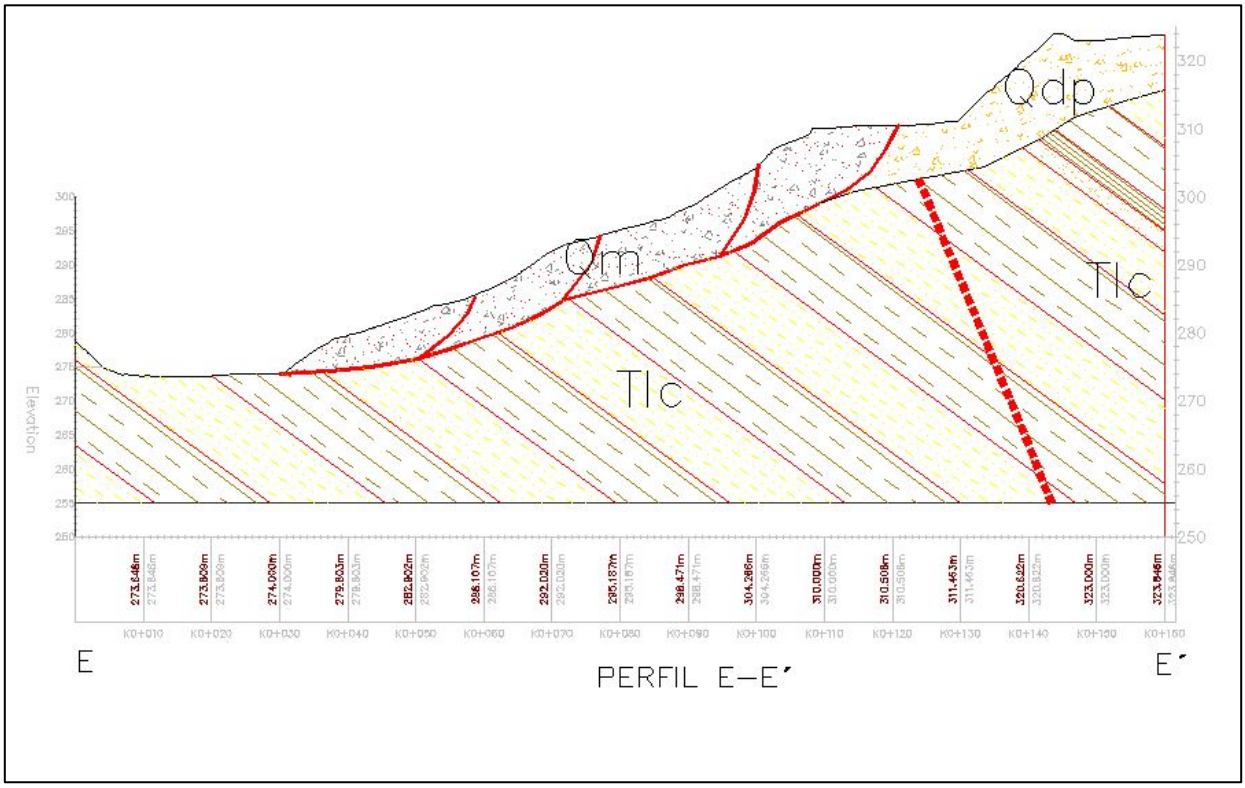


Figura 2. 10 Perfil geológico E-E'

3. ANÁLISIS HIDROLOGÍA e HIDRÁULICA

3.1 Generalidades.

Con el fin de caracterizar las condiciones hidrológicas de la zona de estudio, se evaluó el régimen de lluvias del sector, tendiente a caracterizar uno de los agentes detonantes que pueden afectar la estabilidad del talud norte.

Para tal fin se recolectó la información hidrológica presente en el documento "DISEÑO DE ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS PARA EL MANEJO DE LAS AGUAS LLUVIAS Y DE ESCORRENTÍA PARA LA MINA CERRO LARGO", información relacionada con los datos históricos hidrológicos de la zona de estudio, las cuales fueron procesadas con el fin de obtener las respectivas curvas de intensidad-duración-frecuencia. A partir de la anterior información se procederá a realizar una serie de simulaciones teniendo en cuenta el posible grado de saturación del suelo dada la precipitación, o el aumento del nivel freático, con el fin de evaluar la amenaza por fenómenos de remoción en el talud norte y posteriormente se entrará a diseñar las respectivas medidas de mitigación.

Con el fin de dar un marco de referencia a los aspectos hidrológicos e hidráulicos particulares de la zona en estudio, se presenta inicialmente el resultado de la consulta de fuentes secundarias, las cuales permiten visualizar características principales respecto al clima de la zona, y posteriormente el análisis de la información primaria para la caracterización final hidrológica de la zona.

3.2 Localización.

"El proyecto minero se encuentra en un área que comprende un sector del piedemonte de la Serranía del Perijá ubicado aproximadamente a 2 km partiendo del casco urbano del municipio de la Jagua de Ibirico por la vía nacional desde donde se desvía tomando un carreteable de 10 kilómetros de longitud. El área de explotación minera está ubicada a una altura promedio sobre el nivel del mar entre los 300 m.s.n.m. y los 400 m.s.n.m. y sobre una morfología ondulada. Desde el punto de vista hidrográfico el área de estudio se localiza en la subcuenca del río Sororia y la microcuenca del Caño Canime"[1].

El área de estudio se encuentra al interior de las subcuencas del Río Sororia, Río Calentirutas Río Tucuy. El proyecto de explotación minera se realiza en el costado norte de Cerrolargo el cual separa el proyecto con el cauce del Río Sororia, no obstante el caño Canime, previo a su paso por el proyecto minero del Sinclinal de la Jagua se convierte en el cauce colector de las aguas de escorrentía del PIT Norte, al igual que el Arroyo Santa Cruz el cual recibe el agua de la escorrentía del PIT Sur.

[1] DISEÑO DE ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS PARA EL MANEJO DE LAS AGUAS LLUVIAS Y DE ESCORRENTÍA PARA LA MINA CERRO LARGO, Página 3.

El área evaluada forma parte de la cuenca del Cesar en el departamento del Cesar. En esta zona la influencia de la convergencia intertropical (ZCIT) es notoria, interviniendo en el régimen pluviométrico. El área de estudio corresponde a microcuencas de piedemonte de la Serranía del Perijá. En el sector oriental las microcuencas ubicadas directamente sobre la Serranía del Perijá presentan una distribución dendrítica muy densa controlada principalmente por las características estructurales y litológicas de las unidades. Los drenajes son abundantes, y forman cuencas como las de los ríos Sororia y Tucuy, las principales cuencas del estudio.

En general esta zona se caracteriza por presentar valores altos y continuos de lluvia, así como temperatura media cercana a los 30 grados centígrados. Esto es consecuencia directa de la presencia de la Serranía del Perijá la cual origina un microclima con descarga de lluvias y humedad permanente durante periodos de tiempo que abarcan gran parte del año (lluvias de tipo orográfico).

La clasificación climática por el método de Holdridge se basa en parámetros térmicos y pluviométricos de la región (IGAC, 1988). Según la clasificación, el área de estudio se encuentra en una zona de vida cuyas características bióticas están relacionadas con la presencia de Bosque seco tropical: por cuanto la biotemperatura es mayor de 24 C, los promedios anuales de precipitación se encuentran entre los 1.000 y 2.000 mm. y la altura oscila entre los 40 y 800 m.s.n.m. Adicionalmente predomina el relieve ligeramente ondulado con unidades intermedias entre sabanas, colinas y planicies.

3.3 ÁREA DE ESTUDIO

Para el análisis hidrológico del área de estudio, se utilizó información del banco de registros del IDEAM y alguna información climática de estaciones privadas, pero desafortunadamente no se cuenta con mucha información histórica del comportamiento de las precipitaciones en la zona, y además la cobertura de las estaciones no abarca la totalidad de la zona de estudio, teniendo en cuenta la variabilidad de las precipitaciones por la influencia de la Serranía del Perijá.

Sin embargo, para lograr el objetivo del análisis hidrológico, se realizó el análisis con la información existente tal y como se menciona a continuación.

- Para el análisis de los registros de precipitación se empleó información disponible a nivel local de la estación SOCOMBA, la cual comprende un período de registro entre los años de 1995 y 2007. Los datos que se tienen son relacionados con la precipitación media mensual, las precipitaciones máximas de 24 horas y el número de días con lluvia.
- Se cuentan con registros de valores totales mensuales de temperatura, ciento, evaporación, humedad relativa y brillo solar, con el fin de caracterizar el comportamiento climatológico de la zona de estudio a lo largo del año.

3.3.1 Investigación de Campo

Se hizo un recorrido de la zona de interés y con base en la dirección de escurrimiento superficial de las aguas lluvias en las vías se determinó la cuenca para el estudio.

3.3.2 Inventario Información Hidrológica

Para el estudio de la zona de interés fueron consultadas las fuentes oficiales de información. Para tal efecto se realizó la búsqueda y se relacionaron las estaciones más próximas a la zona de estudio, siendo la fuente oficial el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. En la Tabla 3. 1 se presentan las características de las estaciones investigadas para el estudio (ver Figura 3. 1)

Tabla 3. 1 Coordenadas de estaciones meteorológicas

NÚMERO	ESTACIÓN	CÓDIGO	TIPO	MUNICIPIO	COORDENADAS PLANAS BOGOTA		COTA	AÑOS DE REGISTRO
					ESTE	NORTE	[msnm]	
1	CMU	Privada	--	La Jagua de Ibirico	1088240.59	1549890.61	400	1995-2007
2	Socomba	2802508	CP	Becerril	1090803.27	1566395.374	170	1972-2002
3	Carboandes	Privada	--	La Jagua de Ibirico	1089656.56	1552526.75	1300	2006-2007

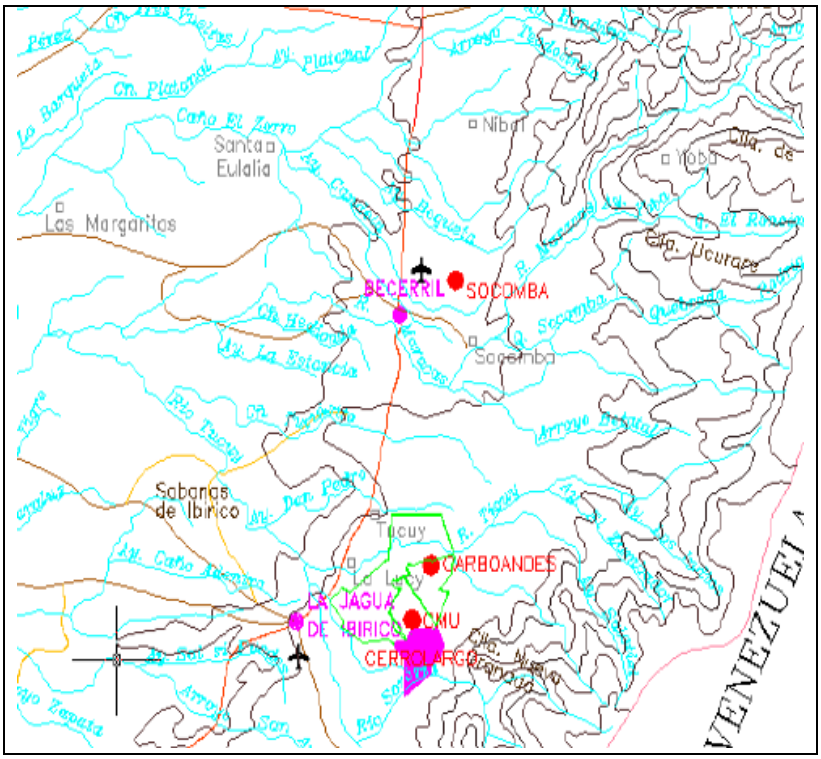


Figura 3. 1 Ubicación de las Estaciones

Los parámetros climatológicos analizados, fueron los registrados en la estación climatológica principal SOCOMBA del IDEAM, la cual, como se observa en la Figura 3. 1, se encuentra al norte del área de estudio, a una elevación de 170msnm (altura cercana a altura promedio del proyecto minero).

3.3.3 Comportamiento del Clima

Se puede definir la zona como una región con un régimen bimodal, con dos períodos definidos de lluvia durante los meses de Mayo y Octubre. La precipitación está cercana a los 2000 mm/año, es decir, una pluviosidad media alta. La Evapotranspiración potencial es del orden de 1950 mm/año, presentando un déficit hídrico en los períodos de tiempo seco; mientras que en los períodos de lluvia se presenta una recarga potencial del orden de 450 mm/año.

3.3.4 Temperatura

En el sector de estudio, las variaciones de temperatura se encuentran directamente relacionadas por el gradiente altitudinal, que en el caso de la estación de análisis, no se presentan ya que las diferencias de alturas son menores de 100m, lo que indica que en términos generales se puede estimar que las variaciones en temperatura de la zona de estudio son iguales más o menos 1°C que las temperaturas registradas en la estación Socomba. En la Tabla 3. 2 se presentan las temperaturas medias multianuales registradas en la estación climatológica (ver Figura 3. 2)

Tabla 3. 2 Temperatura Media Mensual Multianual [°C]

VALOR	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Mínimo	27.3	27.6	27.6	27.4	26.3	26.5	26.6	26.4	26.2	26.1	26.2	26.9
Medio	28.2	28.9	29.0	28.4	27.8	28.0	28.3	28.0	27.3	26.8	27.1	27.7
Máximo	29.1	30.3	30.8	30.3	29.0	29.6	30.1	30.2	28.8	27.9	28.0	28.7

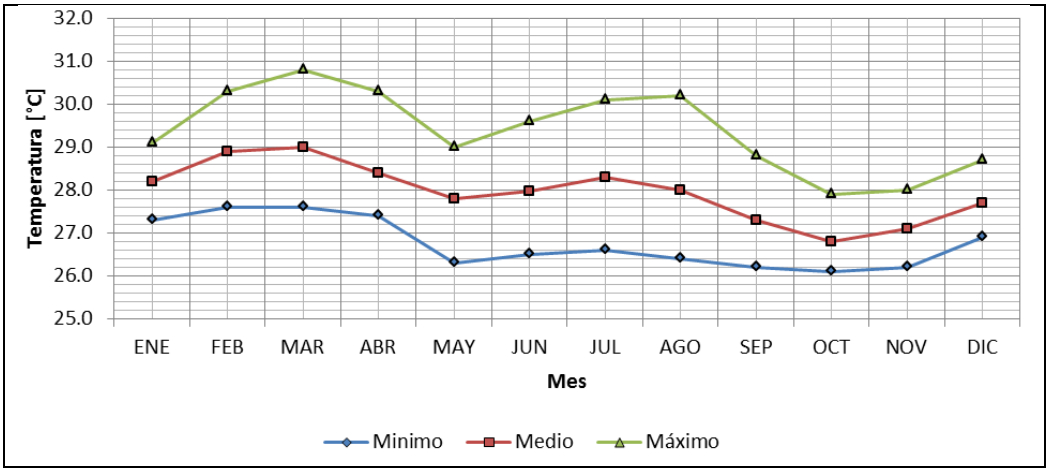


Figura 3. 2 Régimen de Temperaturas

3.3.5 Humedad Relativa

Conocida la humedad relativa como la relación entre la cantidad vapor de agua que contiene una masa de aire y la que podría tener en el caso de encontrarse totalmente saturada, de la estación de análisis se obtuvieron los registros presentados en la Tabla 3. 3 (ver Figura 3. 3)

Tabla 3. 3 Humedad Relativa Media Mensual Multianual [%]

VALOR	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Mínimo	52.0	55.0	58.0	66.0	73.0	68.0	62.0	62.0	70.0	74.0	72.0	60.0
Medio	65.0	66.0	69.0	74.0	79.0	79.0	75.0	77.0	80.0	83.0	81.0	73.0
Máximo	80.0	83.0	78.0	82.0	89.0	87.0	81.0	84.0	88.0	86.0	86.0	80.0

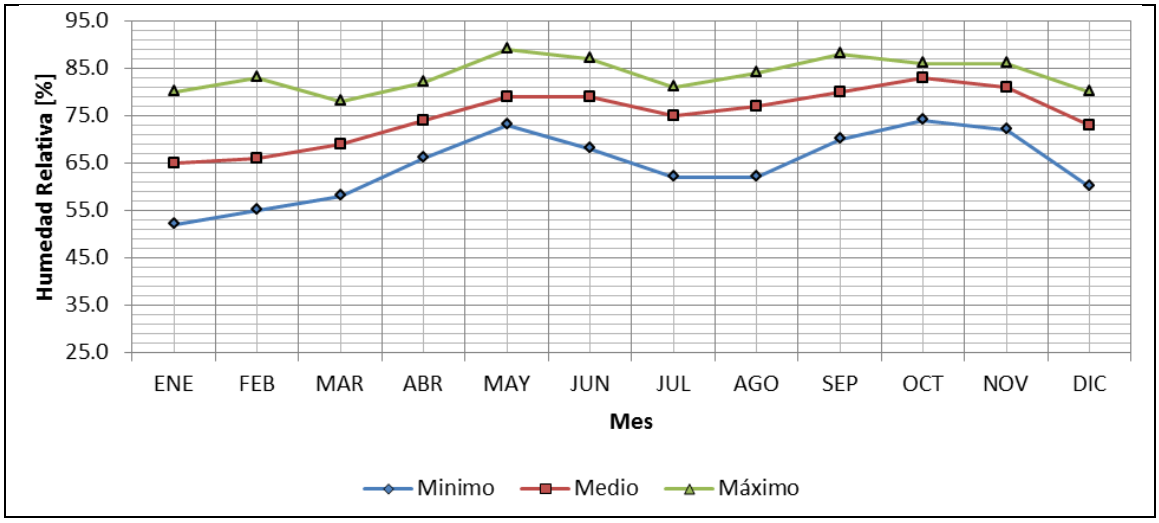


Figura 3. 3 Humedad Relativa

Con el análisis de los registros obtenidos, se puede inferir que la humedad relativa promedio de la zona de estudio se encuentra cerca de 74.4%, pero con variaciones entre 52% y 89%; presentando los valores máximos en los meses de Mayo y durante Septiembre a Noviembre, pero presentando únicamente variaciones cercanas a 8% entre el período seco y el período de lluvias.

3.3.6 Evaporación

Dado que la evaporación es una relación entre la temperatura y la precipitación de un sector de estudio, es importante conocer este valor para determinar los períodos donde se puede presentar un déficit de agua en el volumen de control o por el contrario, cuando la cantidad de agua que entra a la zona de estudio es mayor a la que está saliendo del sistema, activando así, uno de los detonantes para un proceso de remoción en masa.

En la región, la evaporación presente un valor promedio mensual multianual máximo de 211 mm durante el mes de febrero y un valor promedio mensual multianual de 70.0 mm en el mes de septiembre; presentando un promedio multianual aproximadamente de 142 mm.

Es importante hacer la anotación que dado que no se tienen las mediciones en campo para la evaporación, el método para la medición de este parámetro fue un método volumétrico, usando un tanque con dimensiones determinadas y con condiciones controladas, posterior a este cálculo, se asume que aproximadamente el 80% de los valores calculados son correspondientes a los valores de la zona de estudio en la Tabla 3. 4 y en la Figura 3. 4 se presentan los valores calculados.

Tabla 3. 4 Evaporación Media Mensual Multianual [mm]

VALOR	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Mínimo	122.0	114.0	92.0	119.0	103.0	95.0	81.0	111.0	70.0	94.0	81.0	98.0
Medio	166.0	169.0	158.0	153.0	140.0	124.0	144.0	141.0	124.0	120.0	116.0	135.0
Máximo	204.0	211.0	208.0	183.0	168.0	154.0	181.0	205.0	184.0	157.0	188.0	205.0

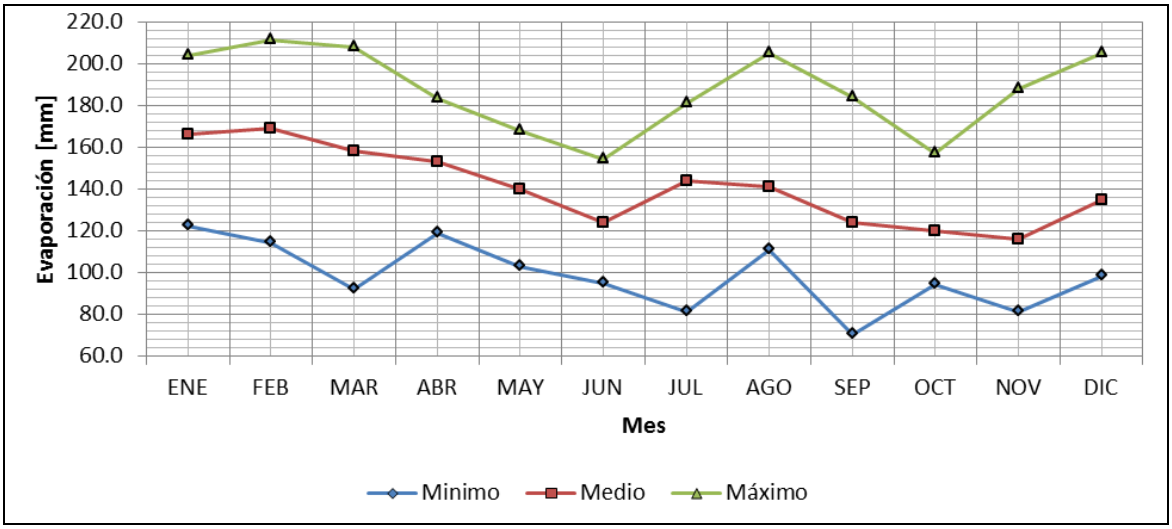


Figura 3. 4 Evaporación

3.3.7 Brillo Solar

El brillo solar medio mensual multianual tiene un promedio de 199 horas que equivales a 7 horas días, presentándose el mayor brillo solar durante el mes de enero, seguido por los meses de Diciembre y Julio, donde se han alcanzado a obtener valores hasta de 10 horas diarias de brillo solar; por otro lado, los meses de menor brillo solar son los meses de octubre y septiembre, con valores promedios cercanos a 5.5 horas (ver Tabla 3. 5 y Figura 3. 5)

Tabla 3. 5 Distribución Anual de Brillo Solar [h]

VALOR	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Mínimo	179.0	162.0	136.0	92.0	137.0	118.0	111.0	101.0	109.0	110.0	133.0	150.0
Medio	260.0	212.0	196.0	180.0	180.0	191.0	207.0	197.0	157.0	168.0	201.0	239.0
Máximo	296.0	258.0	241.0	231.0	221.0	249.0	270.0	266.0	197.0	218.0	237.0	274.0

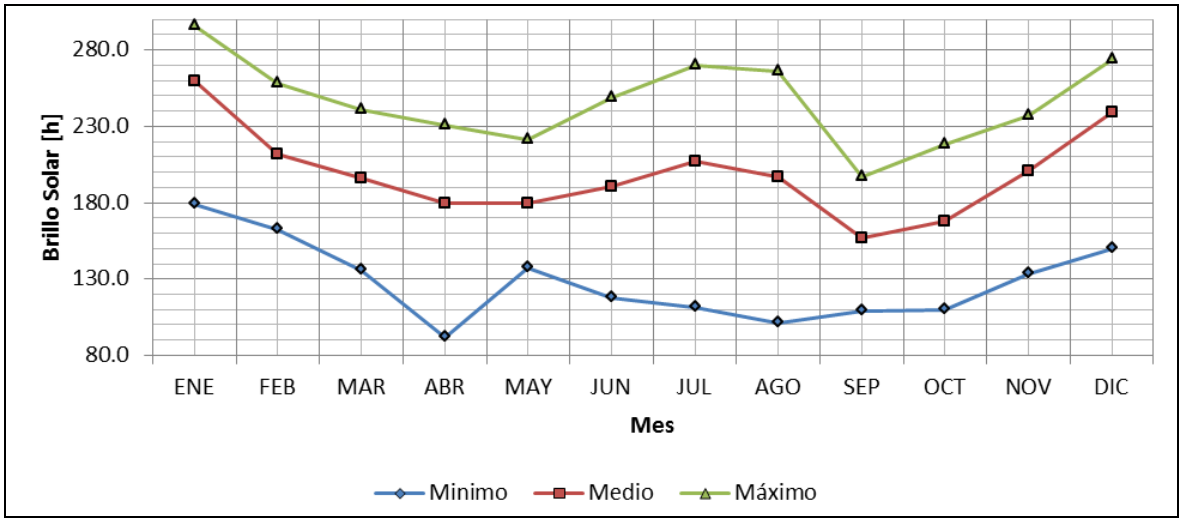


Figura 3. 5 Distribución Anual de Brillo Solar

3.3.8 Viento

A diferencia de los anteriores parámetros climatológicos, los registros referentes al viento, fueron tomados de la estación climatológica CARBOANDES, donde los registros únicamente se tienen con una duración de un año, durante el año 2006 hasta el mes de marzo de 2007. En el documento "DISEÑO DE ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS PARA EL MANEJO DE LAS AGUAS LLUVIAS Y DE ESCORRENTÍA PARA LA MINA CERRO LARGO", desarrollado por la firma S.G.I. Ltda en el años 2012, se realizó un análisis de dicha información, generando una rosa de los vientos como se presenta en la Figura 3. 6.

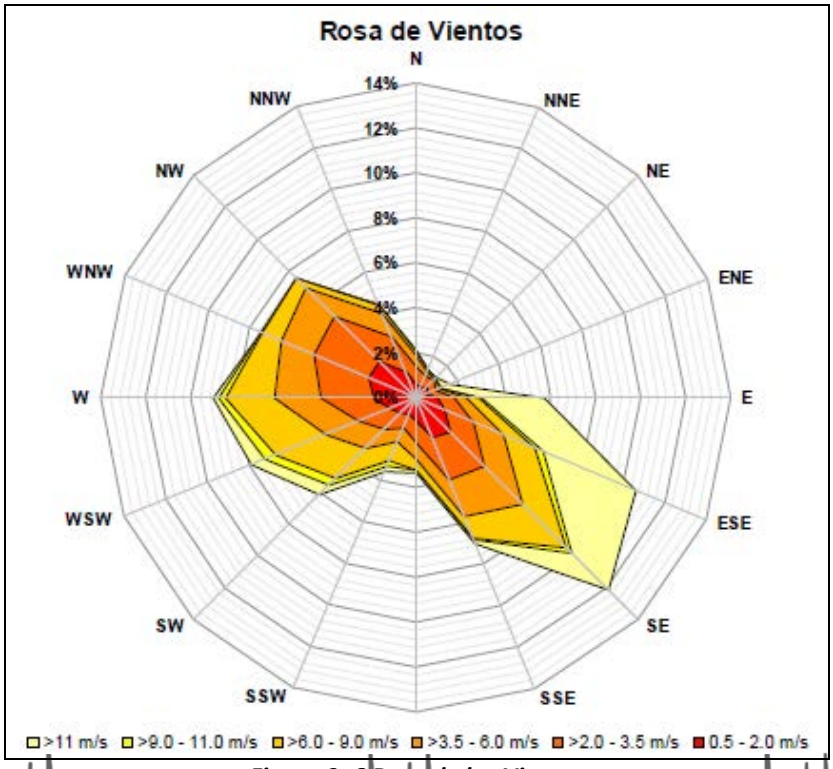


Figura 3. 6 Rosa de los Vientos

De la rosa de vientos se puede observar[2] que la dirección predominante del viento se en sentido SE con un 12.0 % del tiempo, seguido de ESE y W con un porcentaje de 10.6% y 9.0% respectivamente. El patrón de vientos que más se repite en un viento en sentido ESE con una velocidad mayor a 11 m/s con un 4.5 % del tiempo. Con respecto a la velocidad del viento el 22.1% del tiempo se presentan velocidades entre 2.0 m/s y 3.5 m/s, seguida por velocidades entre 0.5 m/s y 2.0 m/s con un 20.4 %. Por tanto el 42.5% de las velocidades promedio se encuentran entre 0.5 m/s y 3.5 m/s.

3.3.9 Comportamiento de la Precipitación

En a Tabla 3. 6 se presenta los registros de precipitación media mensual multianual en milímetros para la estación privada CMU, mientras que en la Figura 3. 7 se presenta los histogramas anuales de precipitación.

Tabla 3. 6 Precipitación Media Mensual Multianual [mm]

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1995	0.00	91.00	78.00	210.00	209.50	174.50	287.00	443.00	95.50	276.50	55.50	55.00	1975.50
1996	21.00	168.00	268.80	111.00	353.70	312.50	123.50	279.80	217.00	21.20	226.60	9.70	2112.80
1997	5.00	0.00	20.00	163.70	269.20	195.50	66.60	25.50	185.20	213.00	94.50	50.50	1288.70
1998	0.00	152.50	130.50	193.00	378.50	114.00	110.00	145.30	117.00	183.30	240.80	295.00	2059.90
1999	119.50	205.00	92.00	146.60	311.80	249.00	137.00	225.10	335.40	506.40	294.90	69.00	2691.70
2000	14.00	73.70	10.00	185.30	223.40	219.90	175.00	162.40	499.60	184.00	323.30	117.80	2188.40
2001	0.00	0.00	180.30	1.80	278.30	102.50	154.00	139.80	263.50	326.30	421.40	103.10	1971.00
2002	48.00	0.00	69.00	296.70	223.00	175.50	0.00	176.50	373.90	149.90	85.50	86.00	1684.00
2003	1.00	37.90	70.50	233.10	154.00	266.70	101.00	193.60	136.20	404.00	251.20	210.30	2059.50
2004	14.00	91.00	10.30	322.20	247.20	63.90	115.10	145.90	243.10	348.36	178.50	32.00	1811.56
2005	15.90	19.50	163.80	147.10	205.50	265.10	101.10	201.00	209.50	410.80	324.80	6.00	2070.10
*2006	16.70	72.00	131.20	416.90	376.50	245.10	172.00	82.00	251.40	271.80	371.30	21.40	2428.30
*2007	38.50	47.50	168.10	190.40	307.90	137.50	85.00	--	216.80	--	--	--	1191.70
Mínimo	0.00	0.00	10.00	1.80	154.00	63.90	0.00	25.50	95.50	21.20	55.50	6.00	1191.70
Medio	22.58	73.70	107.12	201.37	272.19	193.98	125.18	184.99	241.85	274.63	239.03	87.98	1964.09
Máximo	119.50	205.00	268.80	416.90	378.50	312.50	287.00	443.00	499.60	506.40	421.40	295.00	2691.70

Dada la localización geográfica de la zona de estudio, y en general todos los alrededores de la misma, gracias a la presencia de la Serranía de Perijá, se genera una gran cantidad de precipitaciones orográficas, ya que le Serranía permite la concentración de nubes y en su proceso de ascensión, se producen las precipitaciones.

Como se observa en la Tabla 3. 6, el valor anual promedio de las precipitaciones en la zona se encuentra alrededor de 1965mm/año. De igual forma, en la Figura 3. 7, se observa el comportamiento bimodal de las precipitaciones en la zona, con períodos húmedos durante los meses de Abril a Junio y Agosto a Noviembre con donde se presentan el 32.97% y el 37.32% de las precipitaciones medias en el año; mientras que los períodos secos se presentan entre los

[2] Tomado de "DISEÑO DE ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS PARA EL MANEJO DE LAS AGUAS LLUVIAS Y DE ESCORRENTÍA PARA LA MINA CERRO LARGO", S.G.I. Ltda., 2012,página 17.

periodos de Diciembre a Marzo y Julio a Agosto, los cuales presentan el 14.39% y el 15.32% de las precipitaciones medias en el año.

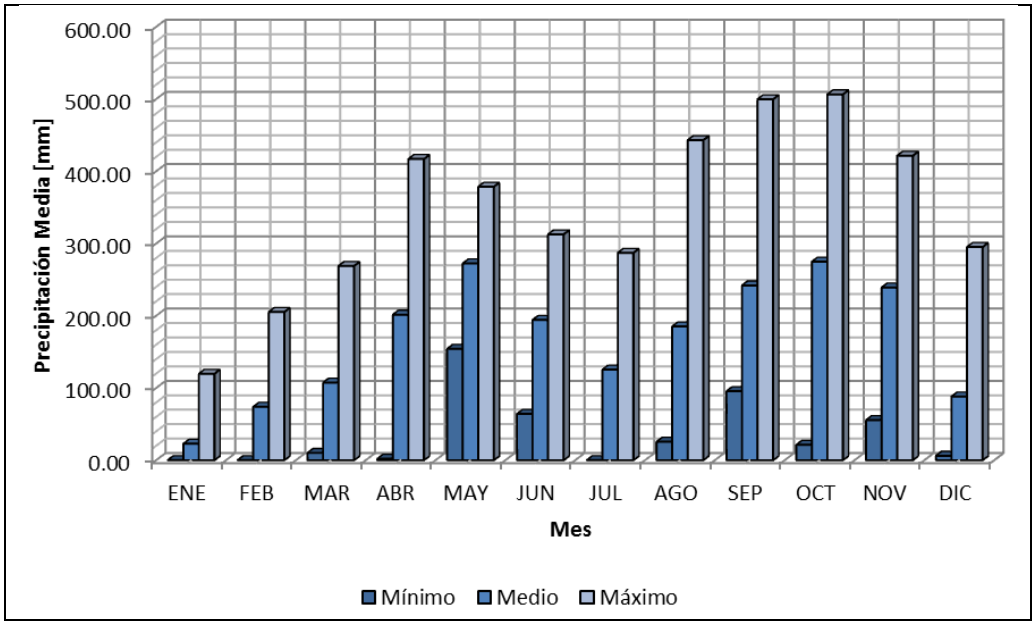


Figura 3. 7 Histogramas de Precipitación

Durante el período de lluvias, los valores de precipitación medios mensuales multianuales, presentaron su máximo en un valor de 506.4mm/mes en el año 1999, mientras que en los períodos secos, los valores de precipitación medios mensuales multianuales, presentaron su mínimo en un valor de 119.5mm/año en el año de 1998.

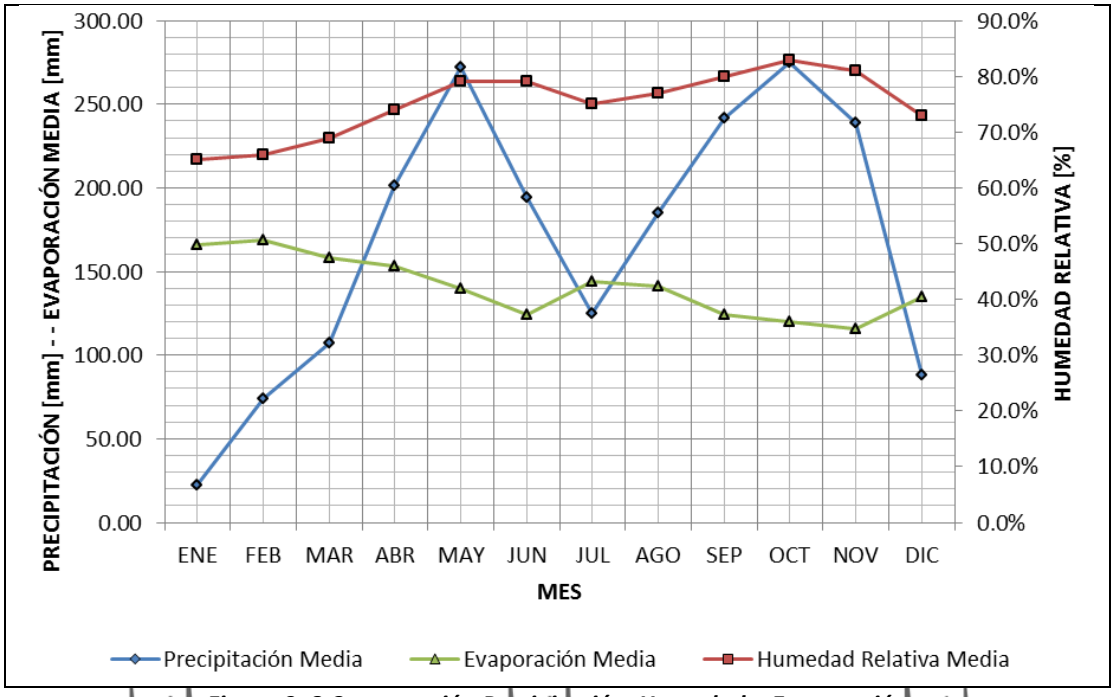


Figura 3. 8 Comparación Precipitación, Humedad y Evaporación

Los incrementos en la humedad relativa son coincidentes con los meses de mayor precipitación, meses en donde las condiciones de humedad relativa a nivel regional, local y puntual asciendan por encima de 85%. Los importantes valores de precipitación a nivel regional hacen que la humedad en el ambiente sea alta (ver Figura 3. 8)

Es de notarse que el comportamiento de la evaporación es inverso a la precipitación, esto se debe a que en época de invierno la humedad relativa y por ende la nubosidad del medio ambiente aumenta. Esto disminuye la radiación solar uno de los factores preponderantes en la evaporación (ver Figura 3. 8)

3.3.10 Número de días de lluvia

Tabla 3. 7 Número de días de Precipitación media mensual multianual

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1995	0	3	4	9	12	12	12	20	12	12	7	3	106
1996	2	2	10	6	17	14	14	14	17	12	6	3	117
1997	2	0	1	10	9	9	9	4	8	12	7	1	72
1998	0	3	3	8	14	8	8	12	11	9	12	9	97
1999	3	8	6	10	10	13	13	15	20	18	11	4	131
2000	1	3	1	9	15	8	8	8	12	13	10	6	94
2001	0	0	9	1	17	6	6	11	18	16	15	6	105
2002	1	0	5	3	10	9	9	9	12	13	7	4	82
2003	1	4	4	14	14	20	11	17	14	20	15	8	142
2004	4	2	3	18	13	6	12	12	14	18	18	1	121
2005	2	3	9	13	17	16	14	15	18	22	20	2	151
*2006	3	3	9	18	15	15	10	10	16	18	14	3	134
*2007	2	4	12	19	19	13	8	--	--	--	--	--	77
Mínimo	0	0	1	1	9	6	6	4	8	9	6	1	72
Medio	2	3	6	11	14	11	10	12	14	15	12	4	110
Máximo	4	8	12	19	19	20	14	20	20	22	20	9	151

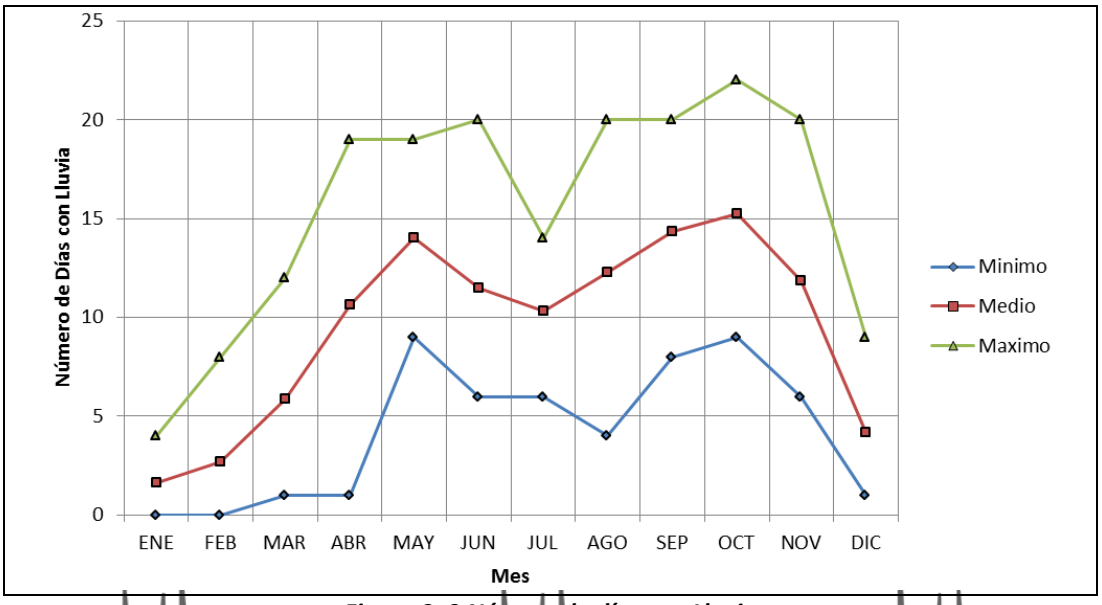


Figura 3. 9 Número de días con Lluvia

La tendencia de estos registros va en total conformidad con lo determinado en el análisis de precipitaciones, ya que en los meses de lluvia, estos valores aumentan, mientras que en los meses secos, disminuyen (ver Tabla 3. 7 y Figura 3. 9).

3.3.11 Precipitación Máxima en 24 Horas

La precipitación media mensual máxima en 24 horas se presenta en los dos períodos de lluvia del año en los meses de Mayo y Noviembre con valores de 71.8mm/día y 84.9mm/día. La precipitación máxima en 24 horas media mensual mínima se presenta en el mes de enero con un valor de 15.6mm/día (ver Tabla 3. 8 y Figura 3. 10).

Tabla 3. 8 Precipitación Máxima en 24h [mm]

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1995	0.00	74.00	30.00	55.00	51.00	56.00	51.00	140.00	30.00	55.50	19.50	25.00	587.00
1996	17.00	112.00	89.00	35.00	82.00	73.50	23.50	97.50	32.40	45.50	129.00	5.70	742.10
1997	3.00	0.00	20.00	52.00	146.00	46.00	33.00	16.50	83.00	80.00	62.00	50.50	592.00
1998	0.00	60.50	87.00	43.00	60.00	42.00	34.50	52.00	46.80	48.20	45.00	98.00	617.00
1999	58.00	59.00	47.00	54.00	91.00	75.00	30.40	38.00	63.00	118.30	90.00	35.00	758.70
2000	14.00	57.00	10.00	50.00	48.40	88.00	59.20	86.00	111.00	37.00	115.00	54.50	730.10
2001	0.00	0.00	84.00	1.80	42.00	58.00	50.50	32.50	71.00	56.50	123.50	56.50	576.30
2002	48.00	0.00	28.50	75.00	72.00	70.00	0.00	52.00	162.00	29.50	41.00	42.00	620.00
2003	1.00	24.00	34.00	46.00	42.00	74.00	19.00	46.50	32.00	59.00	75.70	74.00	527.20
2004	7.00	84.00	5.80	115.00	90.00	28.00	46.00	37.50	59.30	61.90	65.00	32.00	631.50
2005	9.90	9.00	62.00	39.50	70.00	72.00	35.50	68.50	59.00	88.00	73.00	5.00	591.40
*2006	9.20	66.00	41.50	80.00	92.00	73.00	112.00	22.00	34.00	59.50	180.50	17.00	786.70
*2007	35.50	18.00	60.40	63.50	47.00	42.00	30.00	--	--	--	--	--	296.40
Mínimo	0.00	0.00	5.80	1.80	42.00	28.00	0.00	16.50	30.00	29.50	19.50	5.00	296.40
Medio	15.58	43.35	46.09	54.60	71.80	61.35	40.35	57.42	65.29	61.58	84.93	41.27	619.72
Máximo	58.00	112.00	89.00	115.00	146.00	88.00	112.00	140.00	162.00	118.30	180.50	98.00	786.70

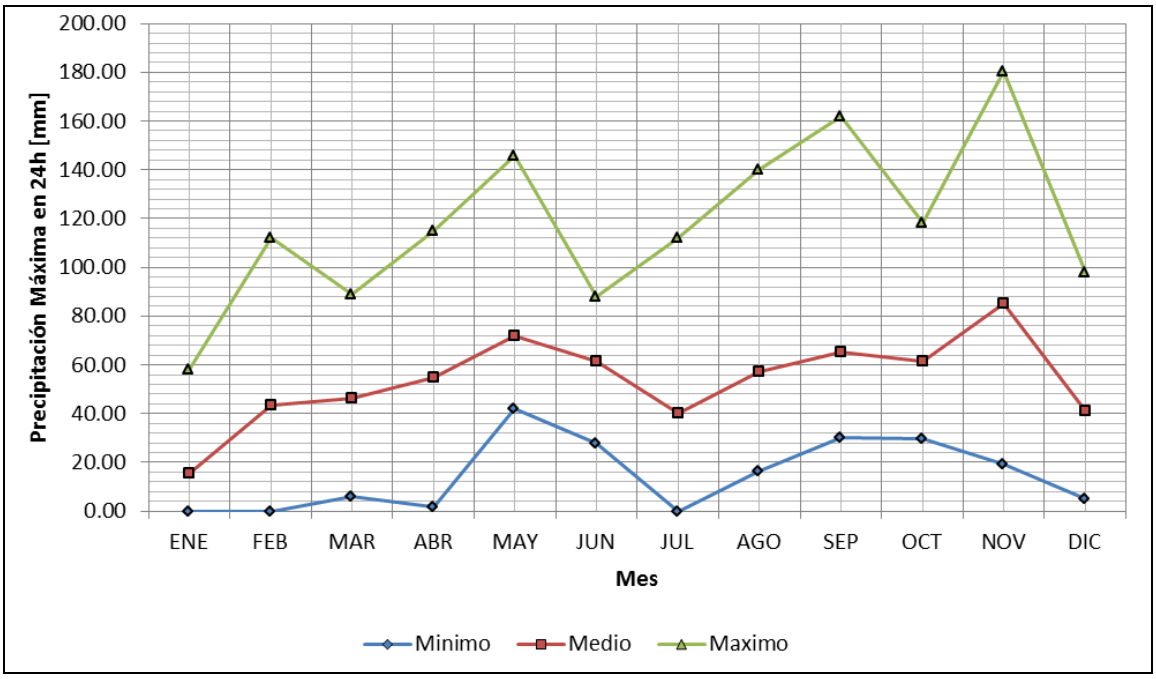


Figura 3. 10 Precipitación Máxima en 24h

3.3.12 Curvas IDF

Generalmente las lluvias se consideran uno de los aspectos más influyentes en la estabilidad de las laderas al punto de definirlas como factor detonante, bien sea por causa de un volumen acumulado en largos periodos de tiempo o por su intensidad, comúnmente asociada a cortas duraciones.

Es por esta razón que en los estudios de estabilidad se debe considerar el evento de lluvia dentro de los detonantes de movimientos en masa. De otro lado, las lluvias de corta duración y elevado volumen resultan ser críticas a la hora de realizar un análisis de este tipo dado que esta combinación incrementa las presiones de poros en los suelos de forma exagerada, debilitándolos de forma casi instantánea contribuyendo así con su falla.

Para el análisis de las lluvias de corta duración se debe recurrir a la obtención de las denominadas Curvas IDF (Intensidad – Duración – Frecuencia), las cuales son de uso fundamental en los diseños de obras hidráulicas. La principal limitante en su construcción radica en la existencia de registros continuos de lluvia en el tiempo los cuales son generados por estaciones de tipo pluviográfico (PG), y que demandan grandes recursos en operación y procesamiento, razón por la cual su número en una red es limitado.

Para sitios donde hay suficiente información pluviográfica es posible contar con estas curvas ya definidas, sin embargo cuando la información no está disponible, o el período de años de información es insuficiente, es necesario estimar dichas curvas; en la literatura existen varios métodos para le generación de las mismas. Dado que para el estudio, "DISEÑO DE ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS PARA EL MANEJO DE LAS AGUAS LLUVIAS Y DE ESCORRENTÍA PARA LA MINA DE CERRO LARGO", y basados en la falta de información pluviográfica, se utilizó el Método de Bell, para la determinación de dichas curvas.

A partir de la información obtenida y mediante el uso del Método del Bell, el cual utiliza los datos de precipitación máxima en 24h, la firma consultora S.G.I. Ltda, generó las curvas IDF de la estación analizada (ver Figura 3. 11), para los diferentes períodos de retorno[3].

Con el fin posterior del cálculo de los caudales en los canales propuestos para el control de las aguas de escorrentía para la estabilidad de las obras planteadas, se cuenta con las intensidades máximas con la menor duración, ya que esos eventos se pueden considerar como los más detonantes en un posible fenómeno de remoción en masa; en la Tabla 3. 9 se presentan las intensidades para cada tiempo de retorno, con un evento de duración de 10min.

[3] El cálculo de las curvas IDF, se encuentra en el Anexo 6 del documento "DISEÑO DE ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS PARA EL MANEJO DE LAS AGUAS LLUVIAS Y DE ESCORRENTÍA PARA LA MINA DE CERRO LARGO", desarrollado por la firma S.G.I. Ltda.

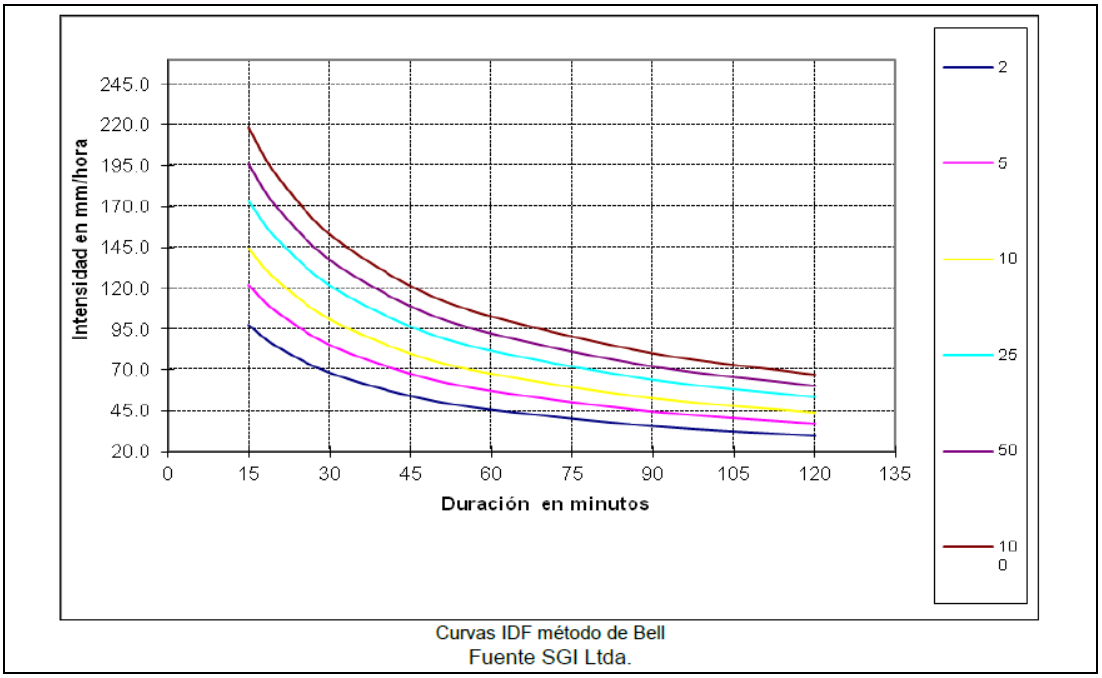


Figura 3. 11 Curvas IDF, método de Bell

Tabla 3. 9 Intensidades máximas para una duración de 10min

TR	INTENSIDAD [mm/h]
[años]	10
2	98.00
5	122.80
10	145.32
20	165.12
25	175.10

3.4 ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

Para estimar los caudales de escorrentía a captar, se emplea dentro del análisis hidrológico el Método Racional (Chow, 1960) dado que se aplica en cuencas homogéneas pequeñas, naturales o urbanas, y preferiblemente en extensiones menores a las 10 hectáreas.
Se representa con la siguiente expresión dimensional:

$$Q = \frac{C * I * A}{3.6}$$

Donde

Q Es el caudal pico de la escorrentía que se genera a la salida de una cuenca o área vertiente en m^3/s

A Es el área que concentra la escorrentía en km^2

I Es la intensidad considerada constante en mm/h que tiene el aguacero de duración igual al tiempo de concentración de la cuenca.

C Es el coeficiente de escorrentía; su valor está comprendido entre cero y uno, y depende de la morfometría de la cuenca y de su cobertura.

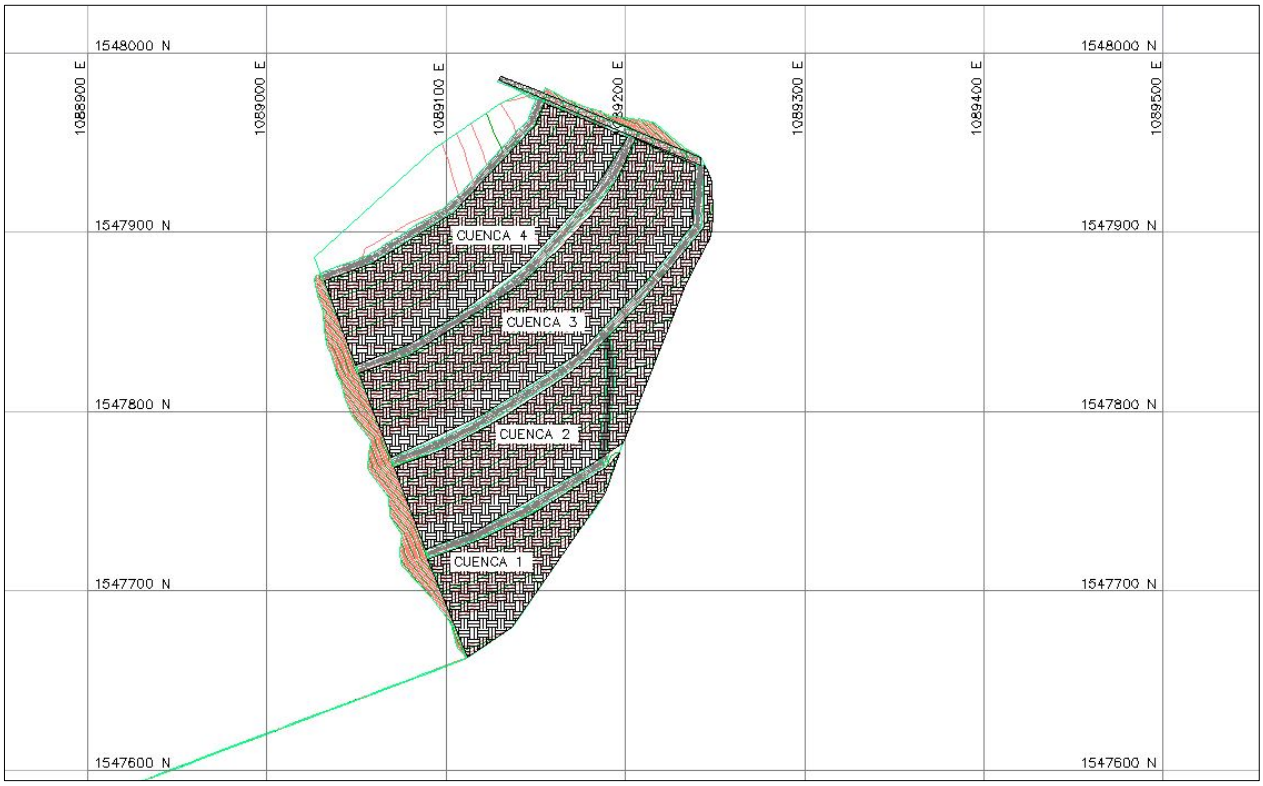


Figura 3. 12 Delimitación de Cuencas sobre DEM

La asignación de valores apropiados al coeficiente de escorrentía es subjetiva porque, aun cuando existen tablas y recomendaciones generales, la experiencia y criterio de su selección a partir de la experiencia es determinante. La intensidad del aguacero por su parte, es fundamental en los volúmenes resultantes y por ello se realizó el análisis de la sección anterior para su conocimiento y selección. No obstante lo anterior, fue consultado el informe realizado sobre la cobertura y uso del sector cuyo enfoque es más de tipo prospectivo, por lo cual no se tiene un cambio de las condiciones de análisis previo a las obras con el mismo. La aplicación del Método Racional induce a sobrestimar los caudales de creciente y por esta razón, Silva (1995) no recomienda su uso en cuencas mayores de 1 km^2.

Con el fin de aplicar el método mencionado, se procede a delimitar las cuencas drenantes dentro de la zona de estudio, determinados por los cauces presentes en el lote; es importante anotar que aunque existen cauces intermitentes en la zona, los mismos tienen microcuencas drenantes, las cuales son unidas entre sí para determinar las mayores cuencas En la Figura 3. 12 se presentan la delimitación de las cuencas sobre el terraceo planteado como obra de estabilización del talud

norte (las líneas dentro de cada área son las indicaciones de la presencia de un talud, ver los perfiles longitudinales).

Dado a que el material es un material inerte, se considera como una ladera sin vegetación, ya que el agua tiene la posibilidad de infiltrarse y la escorrentía no es la misma que en una capa impermeable. Es por esta razón que al hacer uso de coeficientes de escorrentía mayores se estaría subestimando el caudal real, por lo que el coeficiente de escorrentía corresponde al recomendado para áreas urbanas es decir 0.6 (ver Tabla 3. 10).

Tabla 3. 10 Coeficientes de Escorrentía.

Tipo de superficie	C
Cubiertas	0,75-0,95
Pavimentos asfálticos y superficies de concreto	0,70-0,95
Vías adoquinadas	0,70-0,85
Zonas comerciales o industriales	0,60-0,95
Residencial, con casas contiguas, predominio de zonas duras	0,75
Residencial multifamiliar, con bloques contiguos y zonas duras entre éstos	0,60-0,75
Residencial unifamiliar, con casas contiguas y predominio de jardines	0,40-0,60
Residencial, con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente separados	0,45
Residencial, con predominio de zonas verdes y parques-cementerios	0,30
Laderas sin vegetación	0,60
Laderas con vegetación	0,30
Parques recreacionales	0,20-0,35

Con los anteriores valores y aplicando el Método Racional se obtienen los caudales máximos para los diferentes periodos de recurrencia de los aguaceros que producen a su vez los picos de escorrentía.

3.5 CAUDALES DE DISEÑO

A partir de las curvas IDF y de las características geomorfológicas de las cuencas vertientes al área de estudio, se procede a obtener los caudales de diseño a diferentes periodos de retorno. Se calculan los caudales para cada sub-cuencas y luego el caudal acumulado que vierte directamente sobre un canal de recolección.

Posterior a la definición de todos los parámetros necesarios para el cálculo de los caudales según la metodología del Método Racional para los diferentes períodos de retorno. En la Tabla 3. 11, se presentan los caudales para cada una de las subcuencas delimitadas, para cada uno de los períodos de retorno.

Tabla 3. 11 Caudales para los diferentes períodos de retorno

TR	CAUDALES [m^3/s] - Duraciones de 10min				
[años]	CUNETA 1	CUNETA 1A	CUNETA 2	CUNETA 3	CUNETA 4
2	0.13	0.13	0.21	0.30	0.25
5	0.16	0.16	0.26	0.37	0.32
10	0.19	0.19	0.31	0.44	0.37
25	0.22	0.22	0.35	0.50	0.42
50	0.23	0.23	0.37	0.53	0.45

Dado que los parámetros de diseños deben realizarse para períodos de retorno de 50 años, dada la variabilidad en tiempo del proceso de explotación minera en el sector, y dado que los eventos de lluvia con mayores probabilidades de ser detonantes de un proceso de remoción en masa, son los de poca duración los caudales seccionados para cada una de las subcuencas, son los relacionados 10min de duración y 50 años de período de retorno (en este caso); para la Subcuenca 1, el caudal determinado es de 0.23m^3/s, para la Subcuenca 2, el caudal determinado es de 0.37m^3/s, para la Subcuenca 3, el caudal determinado es de 0.53m^3/s, y finalmente, para la Subcuenca 4, el caudal determinado es de 0.45m^3/s. Lo anterior indica que como aporte total de hacia un canal recolector, se tiene un caudal de 1.82m^3/s;

Adicionalmente, en la Figura 3. 13 se han graficado los valores de los caudales variando los coeficientes de escorrentía a varias intensidades, esto contando con que haya algún cambio en el plan de ordenamiento territorial que se tiene proyectado para la zona de estudio. Como ya hemos mencionado, en el área de la cuenca se tiene proyectado la construcción de más unidades de viviendas por ende se recomienda hacer uso de la situación más crítica que corresponde a la total impermeabilización de la zona de estudio y escoger el coeficiente de escorrentía con valor de la unidad.

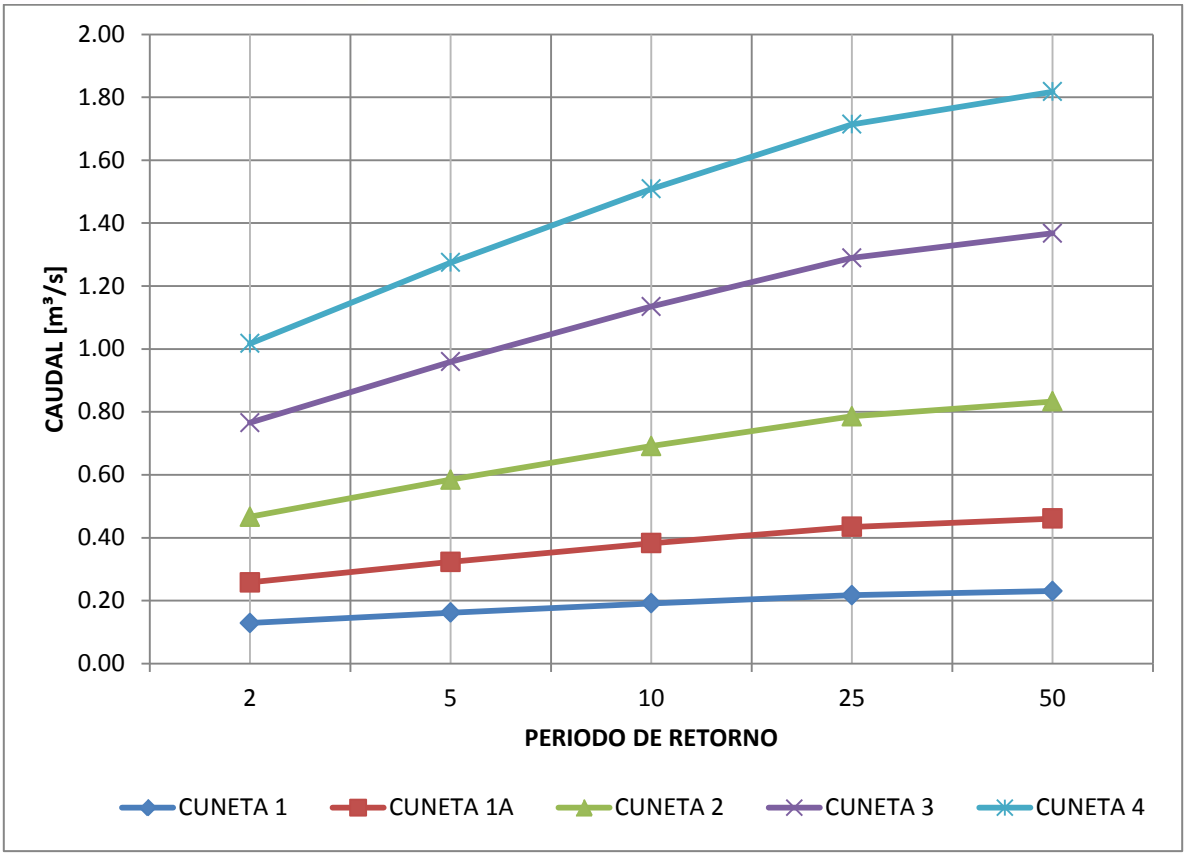


Figura 3. 13 Posible variación del Qt con el coeficiente de escorrentía

3.6 DISEÑO DE CUNETAS

Basados en el método racional mencionado previamente descrito, y en los caudales determinados en el ítem anterior, se procedió a diseñar la sección de las cunetas, bajo el criterio de cortante máximo, y bajo la premisa de utilizar canales en gaviones gracias a la flexibilidad del material, sobre una capa de un geotextil para evitar las filtraciones de agua bajo el canal, ya que lo que se está buscando es evitar que el agua se infiltre en la masa de suelo, desestabilizándola. En la Tabla 3. 12 se presenta el diseño de las cunetas de recolección, mientras que en la Figura 3. 14 a la Figura 3. 15, se presentan las secciones transversales de dichos canales, mientras que en la Figura 3. 16 se ilustra la localización en planta de los canales propuestos. El detalle de los anteriores canales se ilustra en los planos detalle de cunetas y canales plano No. 3.3

Tabla 3. 12 Diseño de cunetas y canal de recolección

CI AMBIENTAL SAS
Ingeniería Geotécnica y Ambiental
con énfasis en Amenazas Geológicas y Riesgos

CÓDIGO	F-1.24
VERSIÓN	2
FECHA DE VERIFICACION	18/11/2013

DISEÑO DE CANALES

DATOS GEOMÉTRICOS DEL CANAL

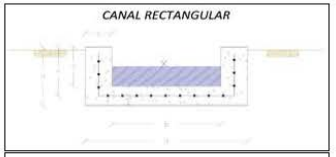
Canal	S_o	Q [m^3/s] (Caudal de Diseño)	n	Sección	b [m]	z (pendiente lateral)	y_f [m]	Area [m^2]	P_m [m]	Rh [m]	Q [m^3/s] (Caudal Calculado)	Rango Q [m^3/s] (Caudal Aceptado)	Revisión de Caudal	y [m] Recomendado (cuando sea aplicable)
CUNETA1	0.0050	0.23	0.035	Triangular	0.00	0.50	0.84	0.35	1.88	0.19	0.23	0.24	OK	OK
CUNETA2	0.0215	0.37	0.035	Triangular	0.00	0.50	0.76	0.29	1.70	0.17	0.37	0.39	OK	OK
CUNETA3	0.0238	0.53	0.035	Triangular	0.00	0.50	0.86	0.37	1.92	0.19	0.54	0.56	OK	OK
CUNETA4	0.0285	0.45	0.035	Triangular	0.00	0.50	0.78	0.30	1.74	0.17	0.46	0.47	OK	OK
C. ESCALONADO	0.0050	1.81	0.035	Rectangular	1.50	0.00	1.06	1.59	3.62	0.44	1.86	1.90	OK	OK
CUNETA 1A	0.0050	0.23	0.035	Triangular	0.00	0.50	0.84	0.35	1.88	0.19	0.23	0.24	OK	OK

PARÁMETROS HIDRÁULICOS DE LA SECCIÓN

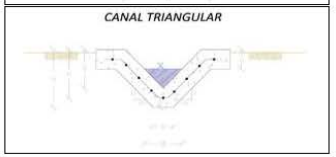
Canal	y_n [m]	y_c [m]	Vel [m/s]	τ_o [N/m^2] Esfuerzo de Corte	Categoría de recubrimiento	Tipo de Recubrimiento	Esfuerzo admisible τ_p [N/m^2]	FS Deseado (Revisión por Corte)	REVISIÓN POR ESFUERZO DE CORTE	Borde Libre [m]	d [m]	Material Canal
CUNETA1	0.84	0.54	0.66	41.20	VI	D50=0.15m	241.35	1.00	OK	0.31	1.16	Gaviones
CUNETA2	0.76	0.65	1.29	160.30	VI	D50=0.15m	241.35	1.00	OK	0.32	1.09	Gaviones
CUNETA3	0.86	0.75	1.47	200.62	VI	D50=0.15m	241.35	1.00	OK	0.33	1.19	Gaviones
CUNETA4	0.78	0.70	1.51	218.08	VI	D50=0.15m	241.35	1.00	OK	0.33	1.11	Gaviones
C. ESCALONADO	1.06	0.54	1.17	51.99	VI	D50=0.15m	241.35	1.00	OK	0.31	1.38	Gaviones
CUNETA 1A	0.84	0.54	0.66	41.20	VI	D50=0.15m	241.35	1.00	OK	0.31	1.16	Gaviones

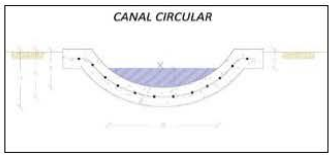
RESUMEN DE DIMENSIONES CONSTRUCTIVAS

Canal	Sección	So	n	Q [m^3/s]	y [m]	b [m]	B [m]	A [m^2]	P_m [m]	Rh [m]	Material Canal	a [m]	c [m]	Y [m]	h [m]	H [m]
CUNETA1	Triangular	0.0050	0.035	0.23	0.84	**0.00**	1.20	0.35	1.88	0.19	Gaviones	N/A	N/A	**1.20**	1.20	N/A
CUNETA2	Triangular	0.0215	0.035	0.37	0.76	**0.00**	1.20	0.29	1.70	0.17	Gaviones	N/A	N/A	**1.20**	1.20	N/A
CUNETA3	Triangular	0.0238	0.035	0.54	0.86	**0.00**	1.20	0.37	1.92	0.19	Gaviones	N/A	N/A	**1.20**	1.20	N/A
CUNETA4	Triangular	0.0285	0.035	0.46	0.78	**0.00**	1.20	0.30	1.74	0.17	Gaviones	N/A	N/A	**1.20**	1.20	N/A
C. ESCALONADO	Rectangular	0.0050	0.035	1.86	1.06	**1.50**	1.50	1.59	3.62	0.44	Gaviones	N/A	N/A	**1.50**	1.50	N/A
CUNETA 1A	Triangular	0.0050	0.035	0.23	0.84	**0.00**	1.50	0.35	1.88	0.19	Gaviones	N/A	N/A	**1.50**	1.50	N/A









CATEGORÍA DE RECUBRIMIENTO
I-Suelo cohesivo desnudo (IP > 10)
II-Suelo cohesivo desnudo (IP ≥ 20)
III-Suelo no cohesivo desnudo (IP < 10)
IV-Capa de grava
V-Entrabado de roca
VI-Gaviones

NOMBRE / FIRMA

REALIZÓ: _____ _____

REVISÓ Y APROBÓ: _____ _____

NOTA: Metodología adoptada de la publicación No. FHWA-NHI-05-114 de Septiembre de 2005, "DESIGN OF ROADSIDE CHANNELS WITH FLEXIBLE LININGS"

Desarrollado por: Ing. Oscar Iván Galvis Mora & Ing. Miguel Sarmiento

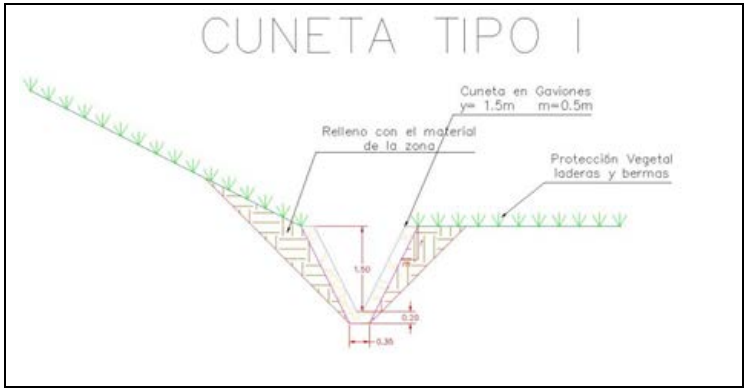


Figura 3. 14 Sección Transversal Cuneta Tipo I

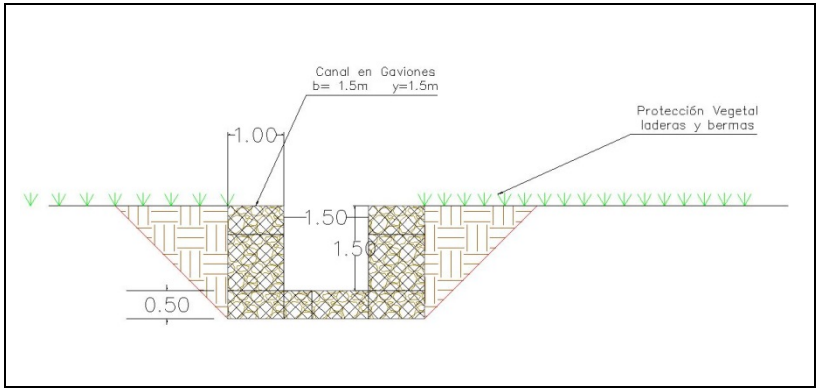


Figura 3. 15 Sección Transversal Canal de Recolección

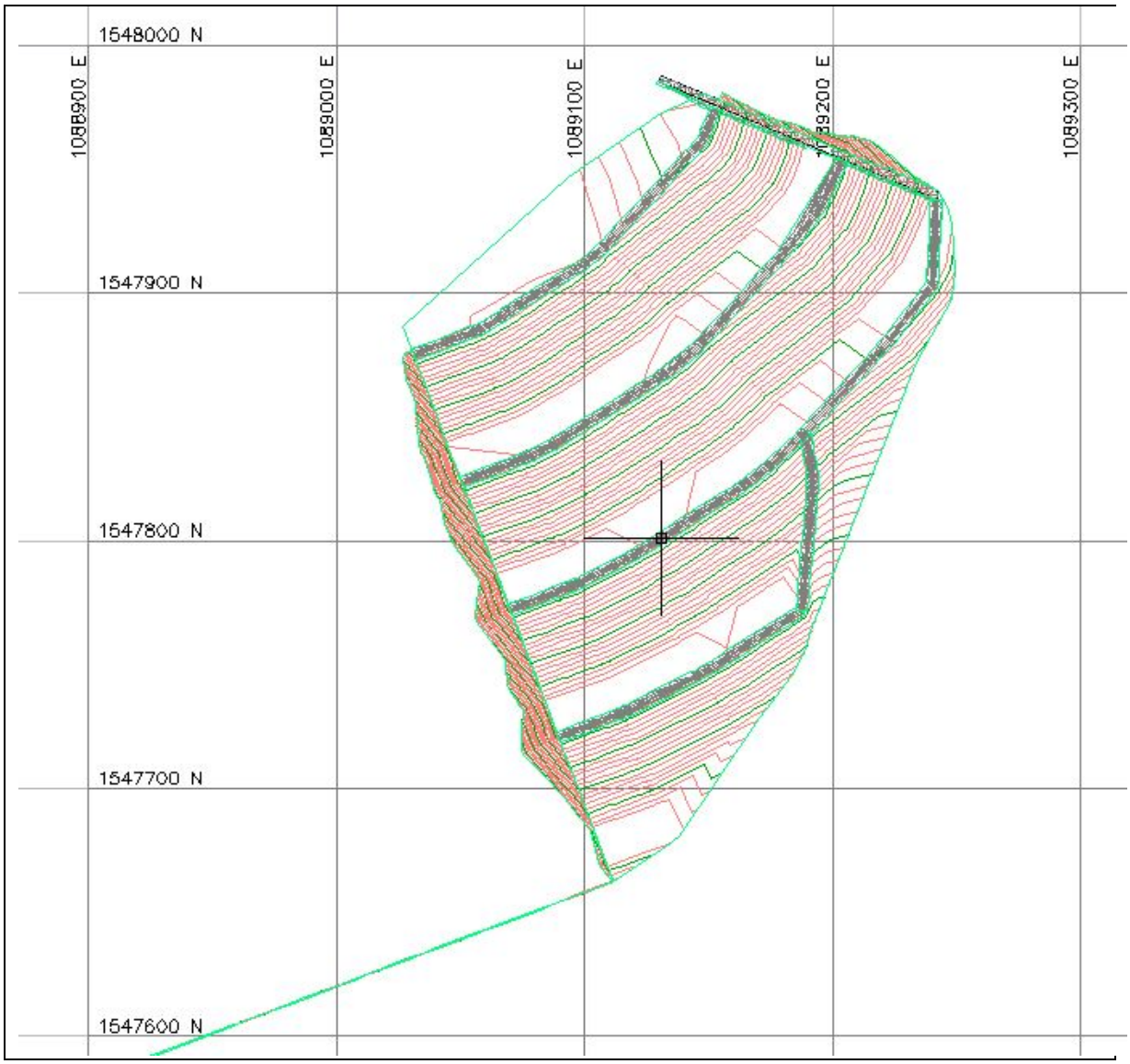


Figura 3. 16 Localización de Canales

4. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO Y ENSAYOS DE LABORATORIO

Este capítulo presenta un resumen de la exploración del subsuelo adelantada con el fin de conocer el espesor de los materiales detectados en el talud norte. Para tal fin, se realizaron seis perforaciones mecánicas por rotación en diámetro HQ. Es importante destacar que las perforaciones fueron realizadas por el grupo de perforación de Pacific Coal y dirigidas por el Geólogo José Jiménez

4 PERFORACIONES MECÁNICAS POR ROTACIÓN.

Con el fin de conocer en detalle el perfil estratigráfico del material aflorante en la zona, la empresa Pacific Coal, realizaron seis (6) perforaciones mecánicas por rotación en diámetro HQ hasta una profundidad del orden de los 60 metros. Mediante las perforaciones se obtuvieron una adecuada recuperación de muestras inalteradas, que fueron la base para la descripción estratigráfica del depósito. En la Figura 4. 1 se ilustra la ubicación de los sondeos realizados, en diámetro HQ, con recuperación continua, la cual fue realizada en conjunto con el solicitante. El plano sobre ubicación de sondeos se puede apreciar en el ***Anexo 4.1***.

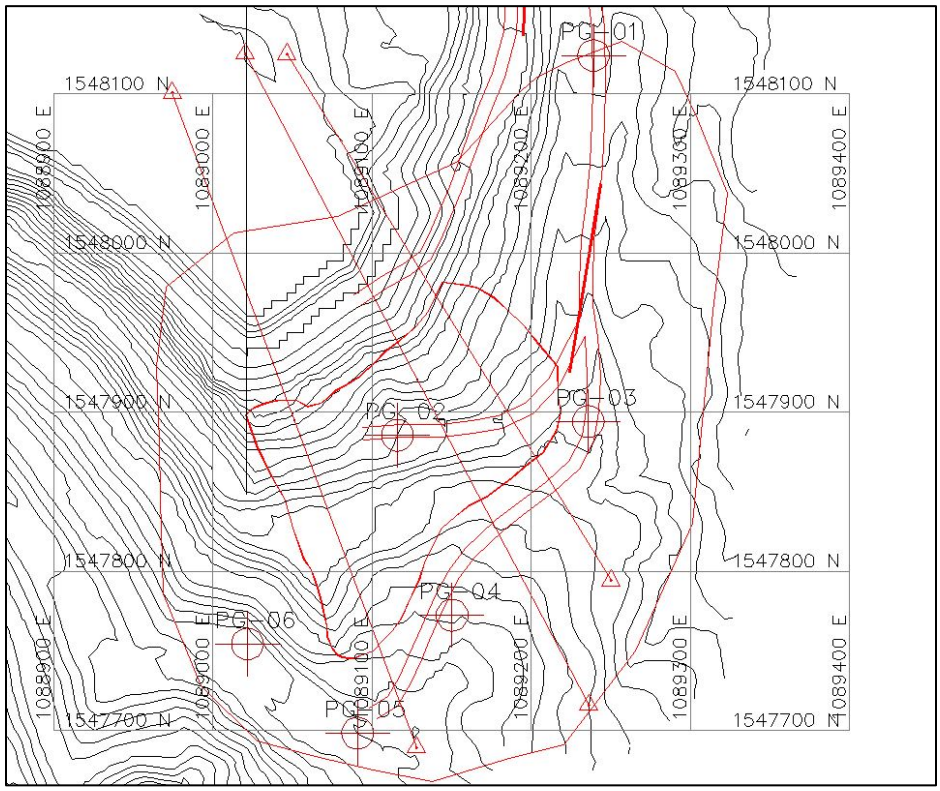


Figura 4. 1 *Ubicación sondeos realizados*

En la Tabla 4. 1, se presentan las principales características de las perforaciones mecánicas, ID, coordenadas, Nivel Freático, destacándose el hecho que la profundidad de exploración máxima alcanzó una profundidad de 65 metros aproximadamente.

Tabla 4. 1 Características de los sondeos mecánicos ejecutados en el Talud norte

ID	Coord_Norte_m	Coord_Este_m	Profund_m	NF_m
PG-01	1548124.265	1089239.167	49.50	No registra
PG-02	1547885.515	1089115.917	65.50	No registra
PG-03	1547894.14	1089235.917	65.40	No registra
PG-04	1547772.392	1089150.264	59.40	No registra
PG-05	1547698.39	1089090.792	65.20	No registra
PG-06	1547754.39	1089021.792	48.10	No registra

De igual forma en la Figura 4.2**,** se presenta uno de los registros de perforación realizados por CI Ambiental SAS (PG-01). De igual forma, en el Anexo 4.2 se adjuntan los registros. Es de resaltar que estos registros de perforación fueron realizados en base a las perforaciones realizadas por Norcarbon y la información litológica enviada por el solicitante.

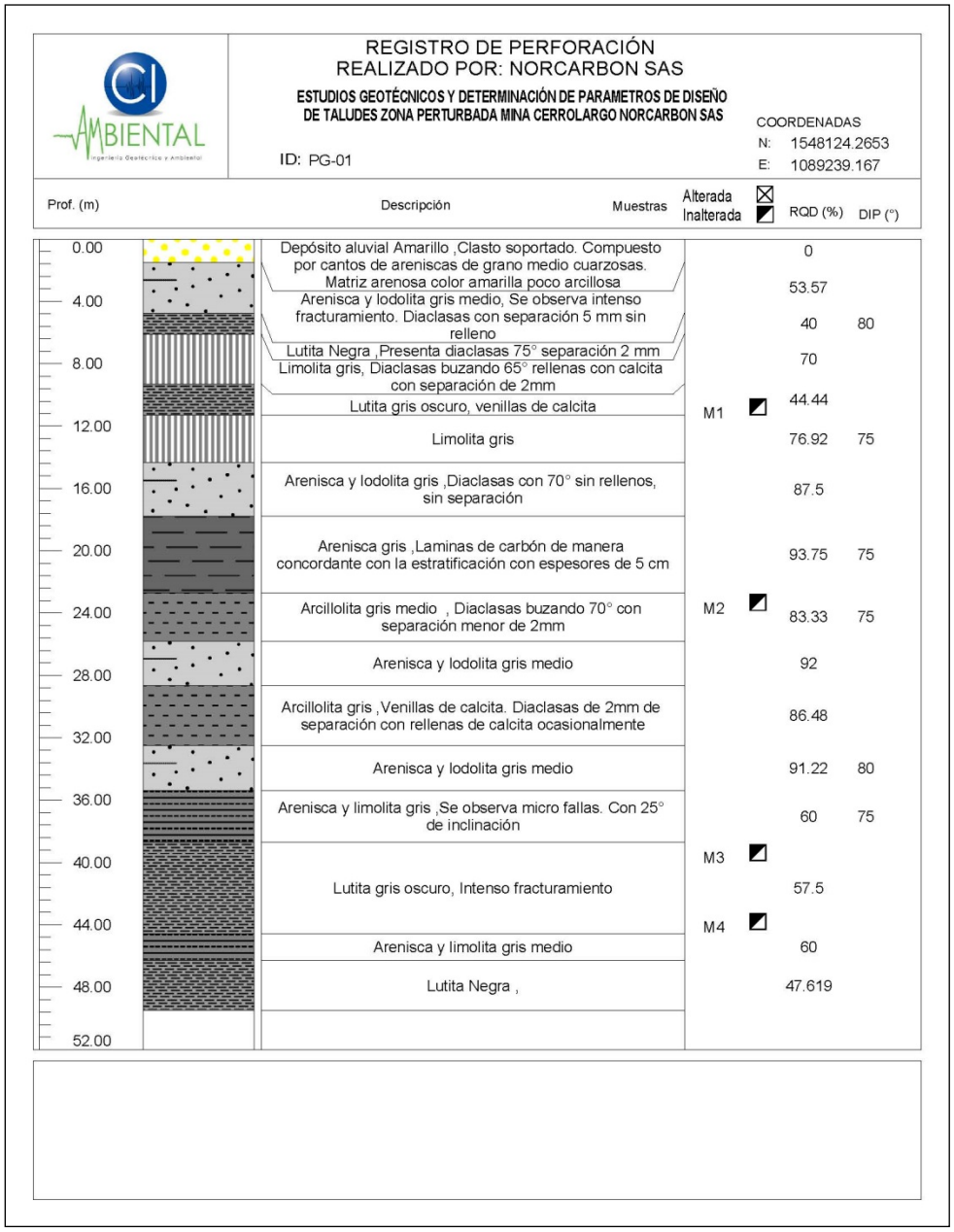


Figura 4. 2 *Perfil Estratigráfico PG–01*

En general se observa que el nivel freático no fue detectado hasta las profundidades exploradas; El perfil tipo se encuentra constituido por materiales productos de suelos residuales, subyacidos por la formación los cuervos el cual presenta depósitos de materiales rocosos tipo arcillolitas, limolitas y areniscas en intercalaciones con vetas de carbón.

4.1 ENSAYOS DE REFRACCIÓN SÍSMICA

Con el fin de identificar las principales características de los suelos aflorantes en el sector de estudio, la exploración adelantada se desarrolló mediante un estudio de Refracción Sísmica, que consistió en 2 Líneas Sísmicas, ubicadas de forma tal que cubrieran la mayor parte del área de interés, para determinar las características geomecánicas de los materiales detectados en profundidad, relevantes para el estudio.

En la ***Figura 4. 3*** se presenta la ubicación de las líneas realizadas, donde se observa el abarque total del área de estudio. En la ***Tabla 4. 2*** se presentan las coordenadas y localización de las mismas.

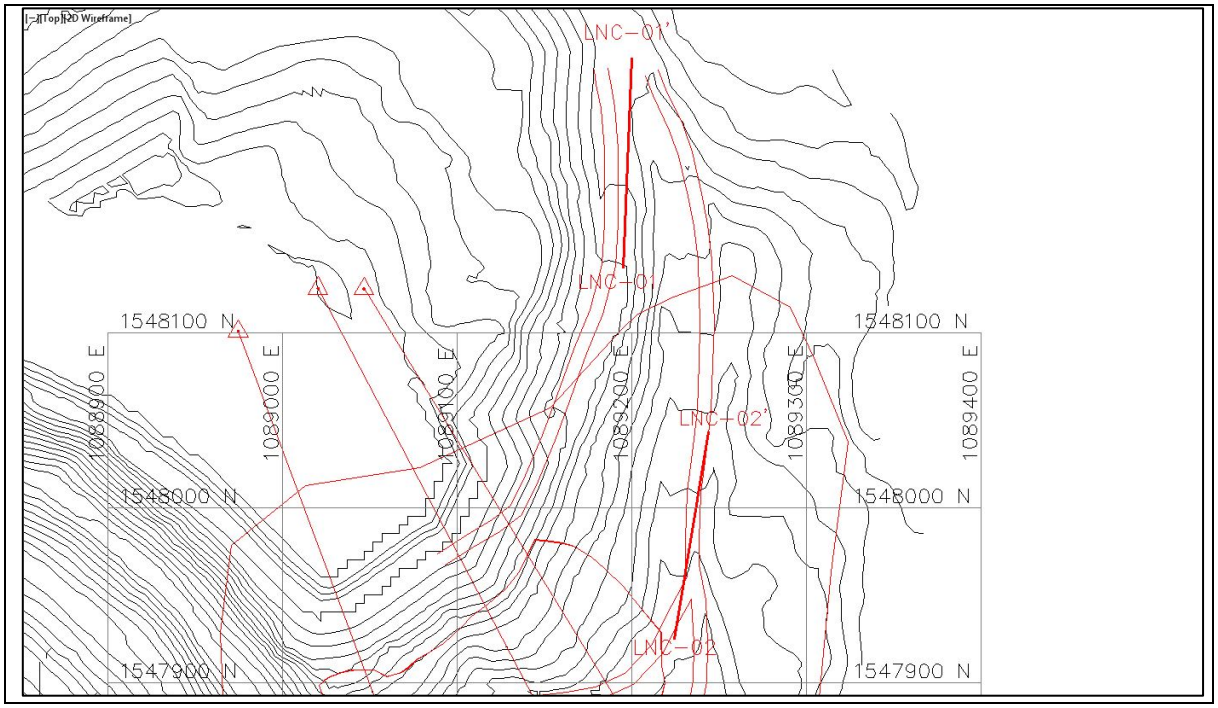


Figura 4. 3 Localización de las lineas de Refracción Sismica.

Tabla 4. 2 Ubicación líneas de refracción sísmica realizadas en la zona

LINEA No	UBICACIÓN	MUNICIPIO	LONGITUD (m)	INICIO		FIN	
				X	Y	X	Y
LNC-1	PARTE BAJA DEL TALUD	MINA CERROLARGO	120	1089195.00	1548137.00	1089199.65	1548256.91
LNC-2	UBICADO EN EL TALUD MÁS ALTO (GRIETA)	MINA CERROLARGO	120	1089224.00	1547925.00	1089243.73	1548043.37

El proceso de toma de datos en campo se realizó con el sismógrafo de 24 canales RAS-24 (ver figura 4.4*¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.* a la ***Figura 4.5***), con arreglos de 24 canales, los cuales se encuentran separados cada 5.0m, por tanto la longitud de exploración fue de 120.0 metros.



Figura 4. 4 Sismógrafo Seistronix RAS-24



Figura 4. 5 Geófonos



Figura 4. 6 Medición en Campo

El método de adquisición de datos depende de un impacto en superficie, realizado con un martillo de 30lb, el cual es golpeado contra una placa de aluminio; seguidamente, mediante un sensor (Hammerswitch), manda un impulso electromagnético al equipo, el cual activa el registro de señales vibratorias de cada uno de los geófonos a profundidad durante un tiempo de lectura definido al inicio de las mediciones. El sistema cuenta con una Unidad de Control, geófonos verticales y horizontales (ondas P y ondas S respectivamente), el martillo, el Hammerswitch y algunos otros accesorios necesarios para el buen funcionamiento del sistema.

Para el almacenamiento de los datos, el equipo utiliza el software RAS-24 (propio del sismógrafo Seistronix RAS-24), donde los datos de entrada de configuración son el Sample Rate, el Número de Golpes, La Ganancia, el Tiempo de Lectura y la Sensibilidad del Trigger, además de las posiciones del primer geófono del arreglo y el punto de golpeo; en la Figura 4. 7 se presenta un mosaico de los datos registrados por medio del software RAS-24, durante la medición de las ondas S para la línea LNC-01.

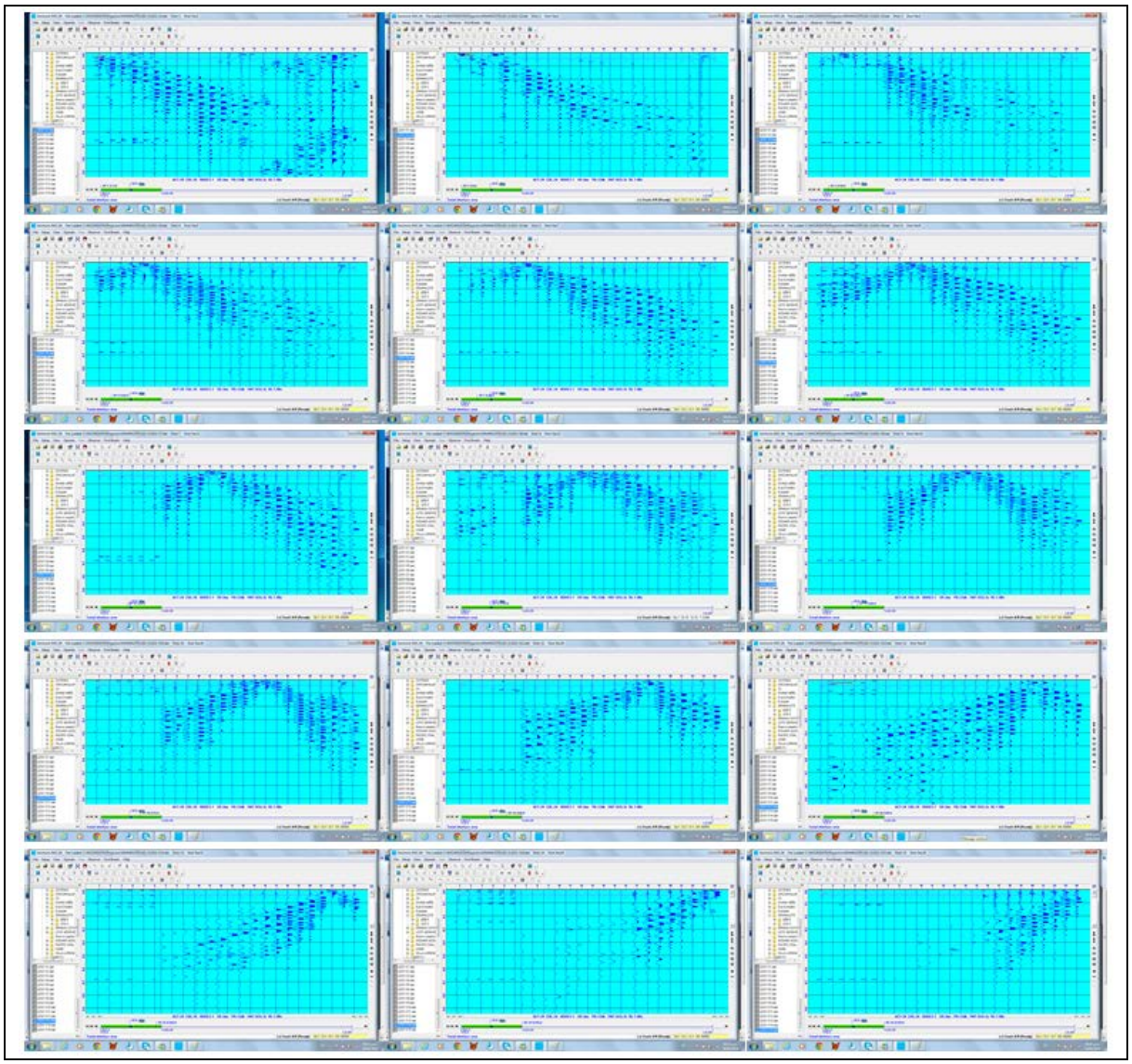


Figura 4. 7 Mosaico pantallazos ondas S (LNC-01)

Posterior a la adquisición de datos se hace uso del software Rayfract, el cual toma los datos recolectados por el equipo RAS-24, identifica los timebreaks, es decir, el tiempo que tomo la onda de impacto llegar a cada uno de los geófonos del arreglo, y a partir de interpolaciones genera tomografías del suelo, con las que, posterior a aun análisis de velocidades, facilitan la determinación los espesores de los diversos estratos del suelo. Mediante el software Rayfract, se identifican los primeros puntos de llegada de la onda a cada uno de los geófonos para cada golpe, dichos puntos de llegada son utilizados para una análisis matemático de cada una de las líneas, mediante el uso de la metodología propuesta por el Explosive Excavation Research Laboratory Livermore de California, en el documento "Seismic Refraction Exploration for Engineering site

Investigations". En la ***Figura 4.*** 8 se presenta una imagen del análisis realizado mediante el Rayfract para la línea LNC-01 para las Ondas P respectivamente.

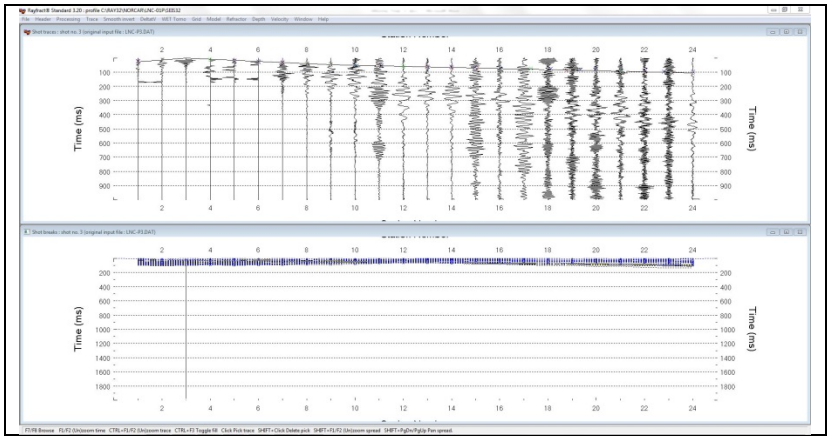


Figura 4. 8 Pantallazo Rayfract, LNC-01(Ondas P)

En la ***Figura 4.*** 9 se presenta una imagen del análisis realizado mediante el Rayfract para la línea LNC-01 para las Ondas S respectivamente.

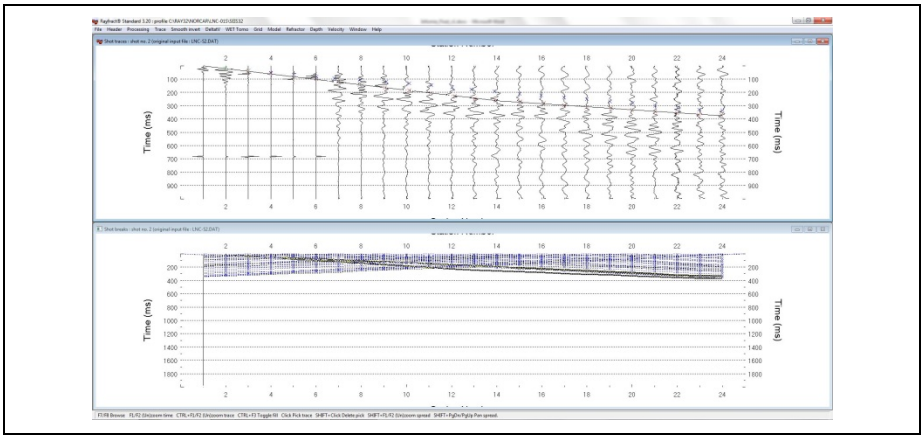


Figura 4. 9 Pantallazo Rayfract, LNC-01(Ondas S)

Se observa en las figuras anteriores como la onda de impacto en superficie, generada en a diferentes puntos del arreglo se dispersa a diferentes velocidades de onda a lo largo de los estratos del suelo, y cada uno de los geófonos recibe su señal entrando en resonancia con la amplitud y frecuencia de dichas ondas. En la ***Figura 4.*** 10 y la ***Figura 4.*** 11 se presentan las pendientes de los Timebreaks y las Dromocronas correspondientes para cada una de las líneas analizadas.

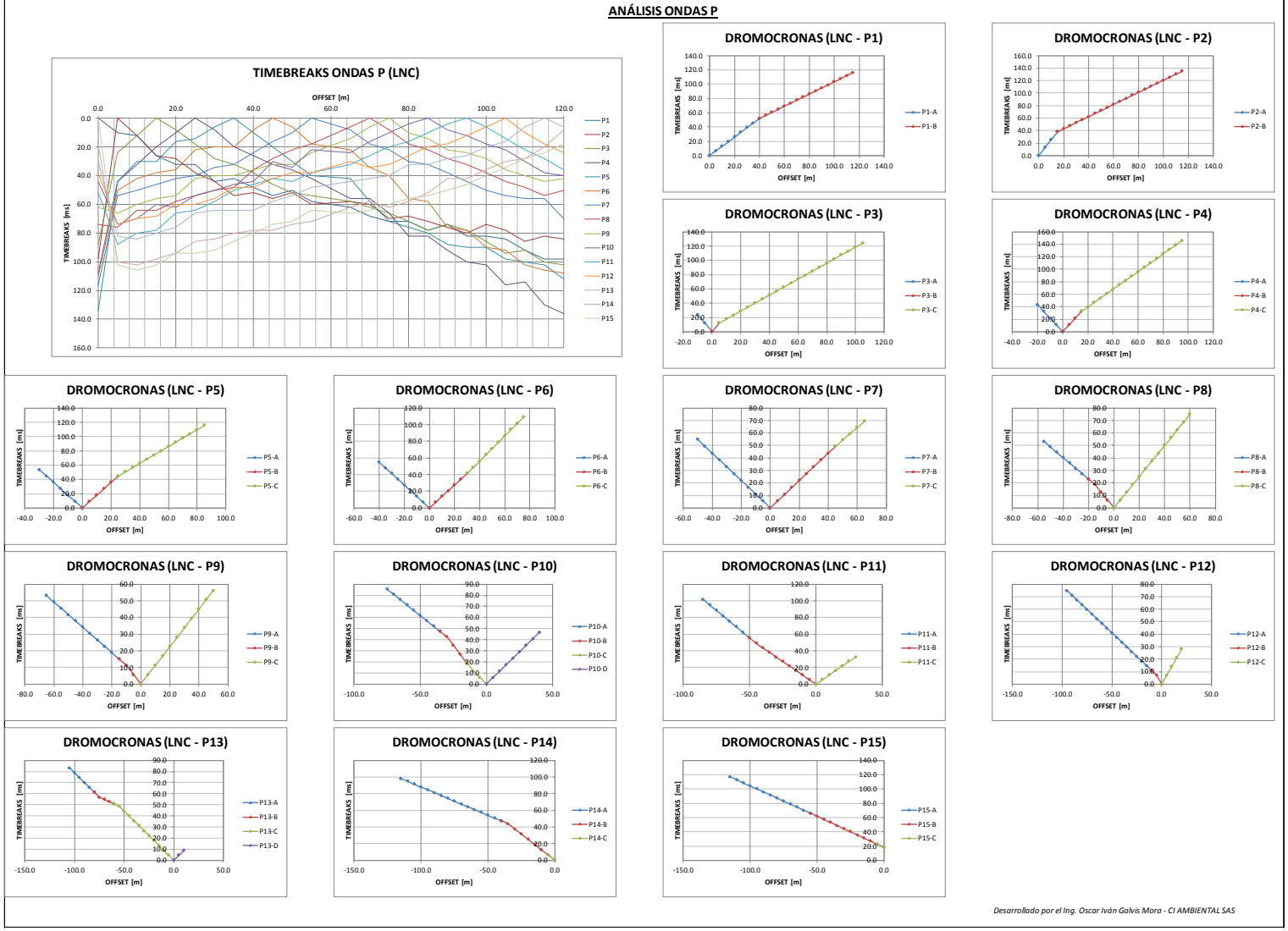


Figura 4. 10 Timebreaks y Dromocronas, Ondas P (LNC-01)

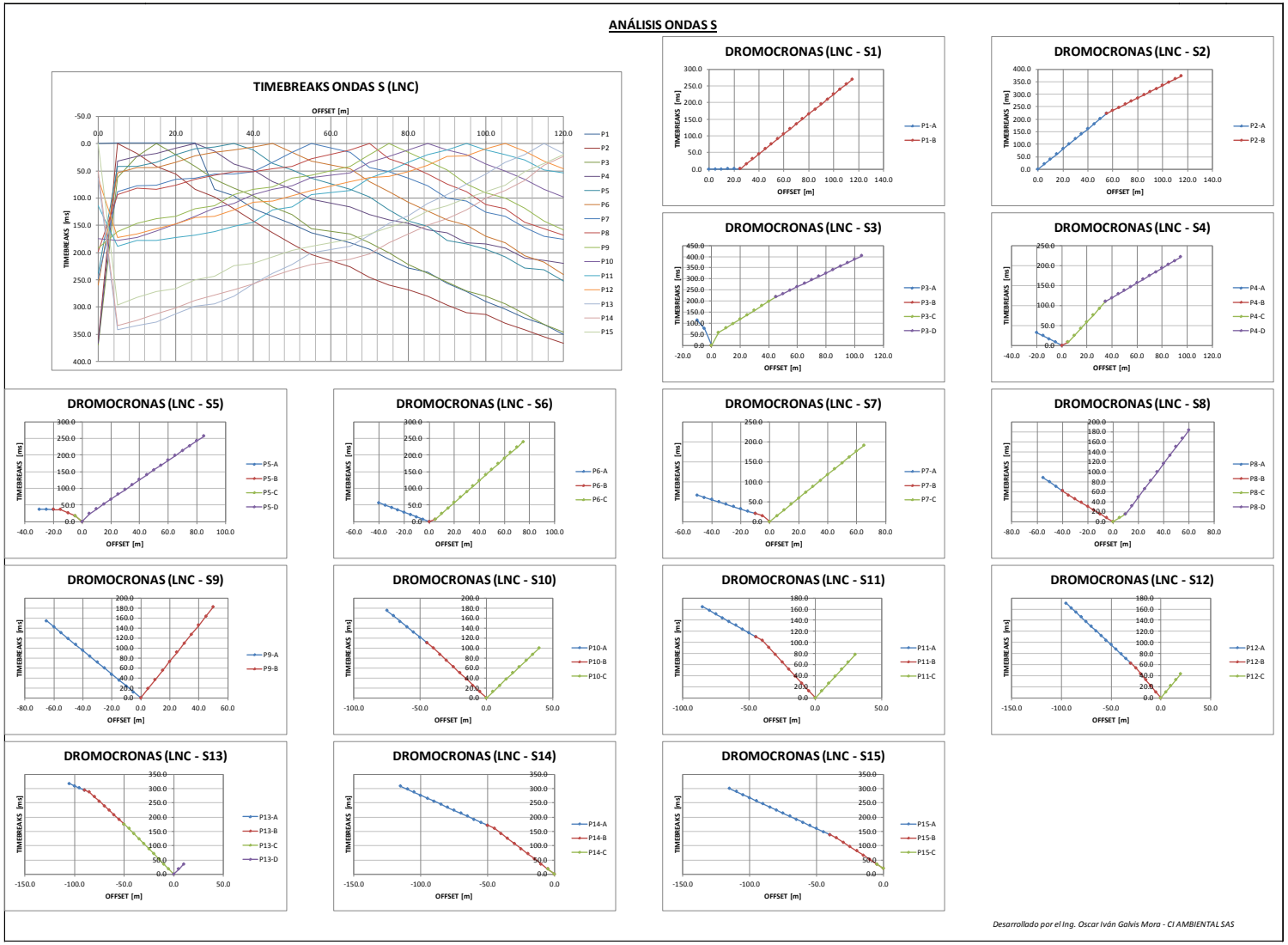


Figura 4. 11 Timebreaks y Dromocronas, Ondas S (LNC-01)

A partir del análisis de las dromocronas presentadas anteriormente, se determinan las diferentes pendientes que indican finalmente las velocidades características de cada uno de los estratos. Se observa en dichas dromocronas que a medida que se aumenta la distancia desde el punto de golpeo, se presentan cambios de pendientes a pendientes menores, lo que se traduce en mayores velocidades a profundidad, ya que se debe recordar que a medida que la onda se aleja del punto de golpeo, los geófonos reciben la señal a mayor profundidad.

En la ***Tabla 4. 3*** a la ***Tabla 4. 4,*** se presentan las velocidades calculadas para cada uno de los puntos de golpeo. A partir de dichas velocidades y en comparación con las tomografías del terreno generadas por medio del software Rayfract (ver ***Figura 4. 12*** y ***Figura 4. 13***), se determinan los espesores de cada estrato, relacionados con sus velocidades de transmisión de Ondas P y Ondas S (ver ***Tabla 4. 5***). Los resultados de las demás líneas de refracción se anexan al presente informe.

Tabla 4. 3 Velocidades Ondas P (LNC-01)

VELOCITIES [m/s]

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
769.23	394.74	416.67	460.53	561.22	729.17	913.46	1166.67	1315.79	1052.63	760.87	1328.13	1136.36	1470.59	1176.47
	1030.93	892.86										2500.00		
1171.88			707.96				800.00		645.16	919.54				
				845.07				890.41				1129.03		
					661.76				859.38					1145.83
						1000.00					714.29		800.00	

Tabla 4. 4 Velocidades Ondas S (LNC-01)

VELOCITIES [m/s]

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
25000.00	247.75	131.58	625.00	10000.00	703.13	869.57	576.92	422.54	468.75	740.74	601.85	681.82	474.45	462.96
		250.00		555.56			657.89					312.50		
334.57			294.12											
				342.74					400.94					
						340.91				386.60				
					300.43									
	397.35	324.32	540.54					275.00				283.02		
							297.62				462.96		280.90	
														327.87

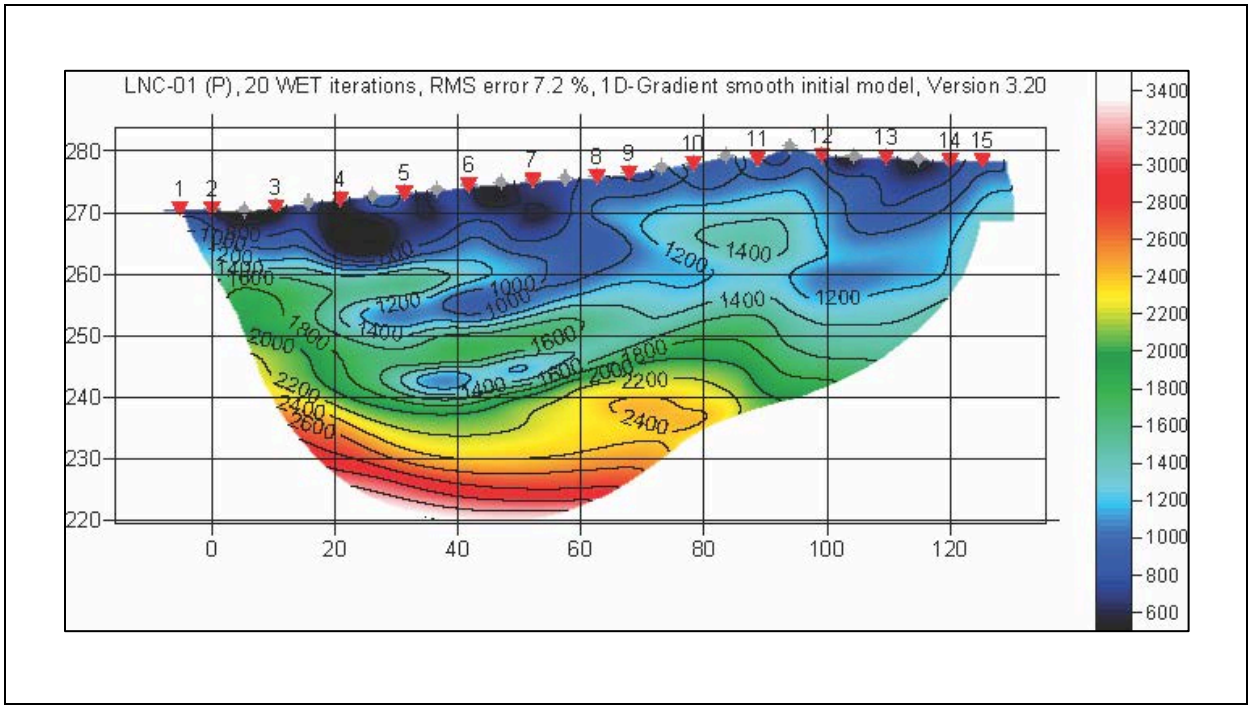


Figura 4. 12 Tomografía del Terreno, Velocidades de Onda Plana (Vp), LNC-01

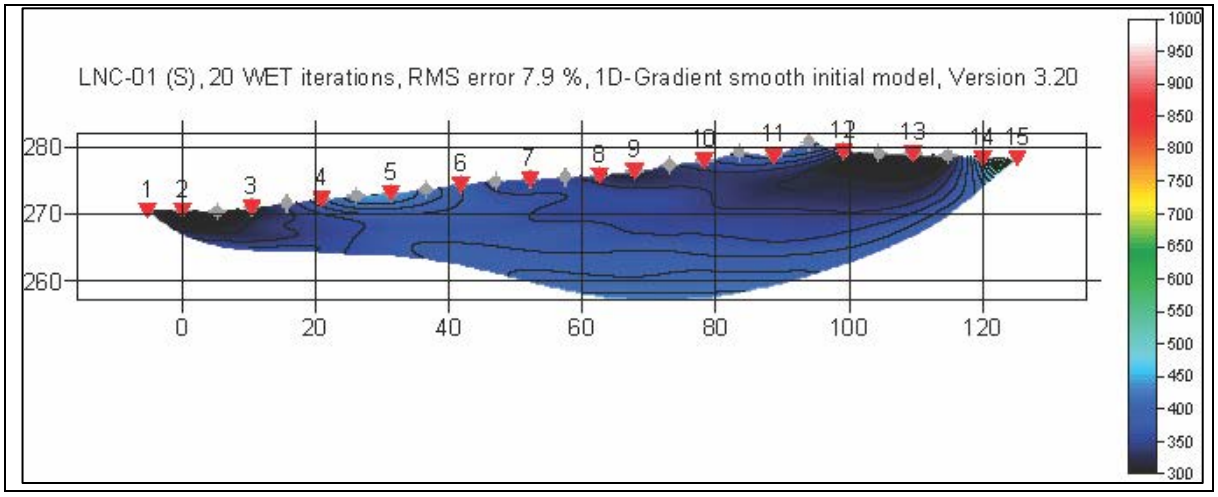


Figura 4. 13 Tomografía del Terreno, Velocidades de Onda Plana (Vs), LNC-01

Tabla 4. 5 Estratos identificados

LÍNEAS	ESTRATOS	VELOCIDADES [m/s]		PROFUNDIDAD [m]
		Vp	Vs	
LNC-01	1	800.00	375.00	15.00
	2	1500.00	1050.00	30.00
	3	2700.00	1890.00	50.00
LNC-02	1	1000.00	500.00	10.00
	2	2000.00	800.00	20.00
	3	2750.00	1250.00	30.00
	4	3358.21	2250.00	50.00

4.2 ENSAYOS DE LABORATORIO

Con el fin de obtener las propiedades geomecánicas del material aflorante en el sector, las muestras obtenidas en la exploración del subsuelo fueron sometidas a pruebas de compresión inconfinada al macizo rocoso, para las perforaciones PG-01 a PG-06, mientras que a la matriz del suelo residual se tomaron ensayos de exploraciones anteriores y datos de resistencia de la perforación realizada en el botadero denominada BNC_1303, mientras que los datos de clasificación de los suelos fueron tomados de las perforaciones BNC-1301 a BNC-1303. A

continuación se presentan algunos de los resultados de las pruebas de laboratorio realizadas a las muestras extraídas de los sondeos ejecutados en sitio, perforaciones y las propiedades más relevantes del material aflorante en la zona. En el **Anexo 4.5: Ensayos de Laboratorio** se presentan los resultados en su totalidad.

4.2.1 Ensayos de Clasificación

El suelo está compuesto de partículas de dimensiones variables, para cada uno de estos tamaños existen diversas pruebas que permiten su clasificación. El análisis granulométrico se realiza por tamizado o por sedimentación cuando el tamaño de las partículas es muy pequeño, menor de 0.08 mm, con este ensayo se puede determinar la composición de la muestra, elementos gruesos, gravas, arenas, limos y arcillas. Cuando la muestra presenta alta cantidad de finos, como es el caso de las muestras obtenidas en la exploración realizada para la zona de estudio, se debe hacer un ensayo que defina la plasticidad del material. Este ensayo se denomina Límites de Atterberg, que definen los contenidos de agua característicos para los que una arcilla alcanza diferentes estados de consistencia relativa.

Teniendo en cuenta la carta de Plasticidad para las muestras con límites de los Sondeos BNC-1301 al BNC-1303, se concluye que los suelos aflorantes en el sector corresponden a Gravas arcillosas, arenas arcillosas y arcillas arenosas de baja plasticidad constituyendo la matriz del material estéril dispuesto en el talud norte (GC, SC y CL).

En la Tabla 4. 6, por otro lado, se dan a conocer contenidos de humedad hasta una profundidad aproximada de 37.50 metros en los sondeos BNC-1301, BNC-1302 y BNC-1303.



Figura 4. 14 BNC-1301 *– M3 Prof. 9.95 a 10.15 m*

Tabla 4. 6 *Humedad Natural de los materiales según la profundidad de estos.*

No.	Ubicación	Muestra	Profundidad (m)	Wn (%)
1	BNC-1301	9	18-19.5	17.5
2	BNC-1301	19	37.5-39	17.9
3	BNC-1302	1	0-1.5	18.7
4	BNC-1302	6	9-10.5	12.3
5	BNC-1302	10	15-16.5	13.6
6	BNC-1302	19	30-31.5	15.4
7	BNC-1302	23	36-37.5	19.1
8	BNC-1303	7	10.5-12	26.8

4.2.2 Ensayos de Resistencia

Los parámetros de resistencia utilizados en los análisis de estabilidad se obtuvieron a partir de ensayos triaxiales y corte directo realizados a las muestras obtenidas de las perforaciones realizadas en campo. En las Figura 4. 17, se presentan los resultados de un triaxial, mientras que en la Figura 4. 15 y Figura 4. 16 , se presenta el resultado de un ensayo de corte directo; En Anexos Capitulo 4: “Ensayos de Laboratorio”, se presentan los resultados de laboratorio en su totalidad. Finalmente, en la se presenta en forma resumida, los parámetros geomecánicos (Corte directo) que caracterizan el material

presente en la zona, en los cuales también se tuvo en cuenta los ensayos realizados por Rocas y Minerales Análisis de Estabilidad del Coluvión de la Pared Alta RYM 343 y Análisis Geotécnico De Estabilidad De Taludes En Roca RYM 357, los cuales fueron realizados sobre muestras reconstituidas de suelo y sobre el macizo rocoso respectivamente.

- **Ensayo de Corte Directo**

En la Figura 4. 15 y la Figura 4. 16, se muestra el resultado de un corte directo, específicamente la envolvente de falla para condiciones pico y residual respectivamente. Los demás resultados se presentan en el anexo capítulo 4.

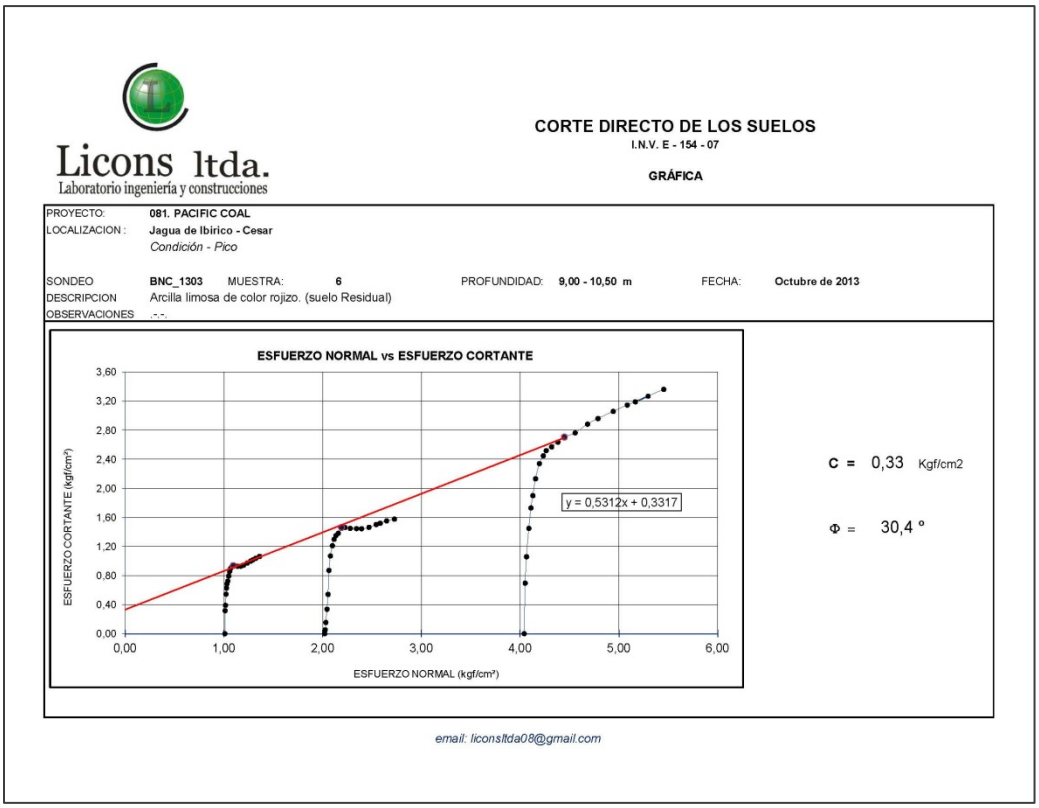


Figura 4. 15 figura envolvente de falla para la condición pico, BNC-1303- Muestra 6

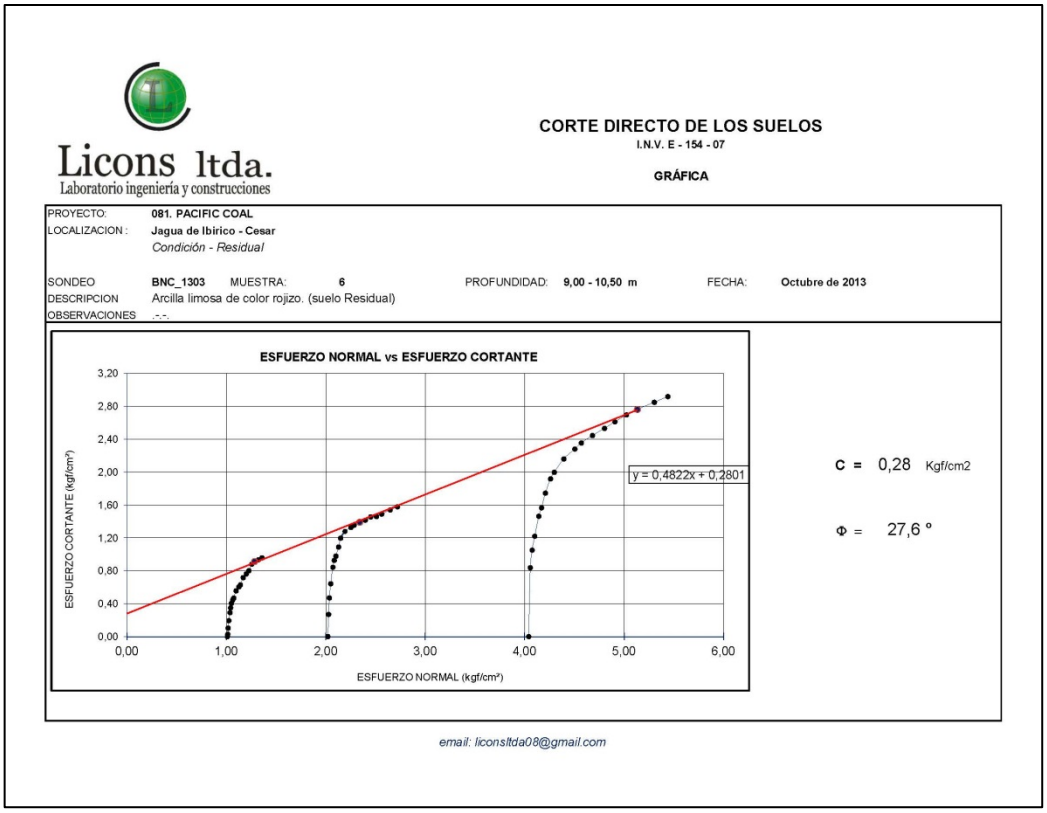


Figura 4. 16 figura envolvente de falla para la condición residual, BNC-1303- Muestra 6

- **Ensayo de Compresión Triaxial**

En la Figura 4. 17, se presentan los resultados de una prueba de compresión triaxial estático realizado sobre una muestra inalterada de la zona de estudio. Nótese que los parámetros de resistencia obtenidos son ligeramente superiores a los obtenidos mediante corte directo.

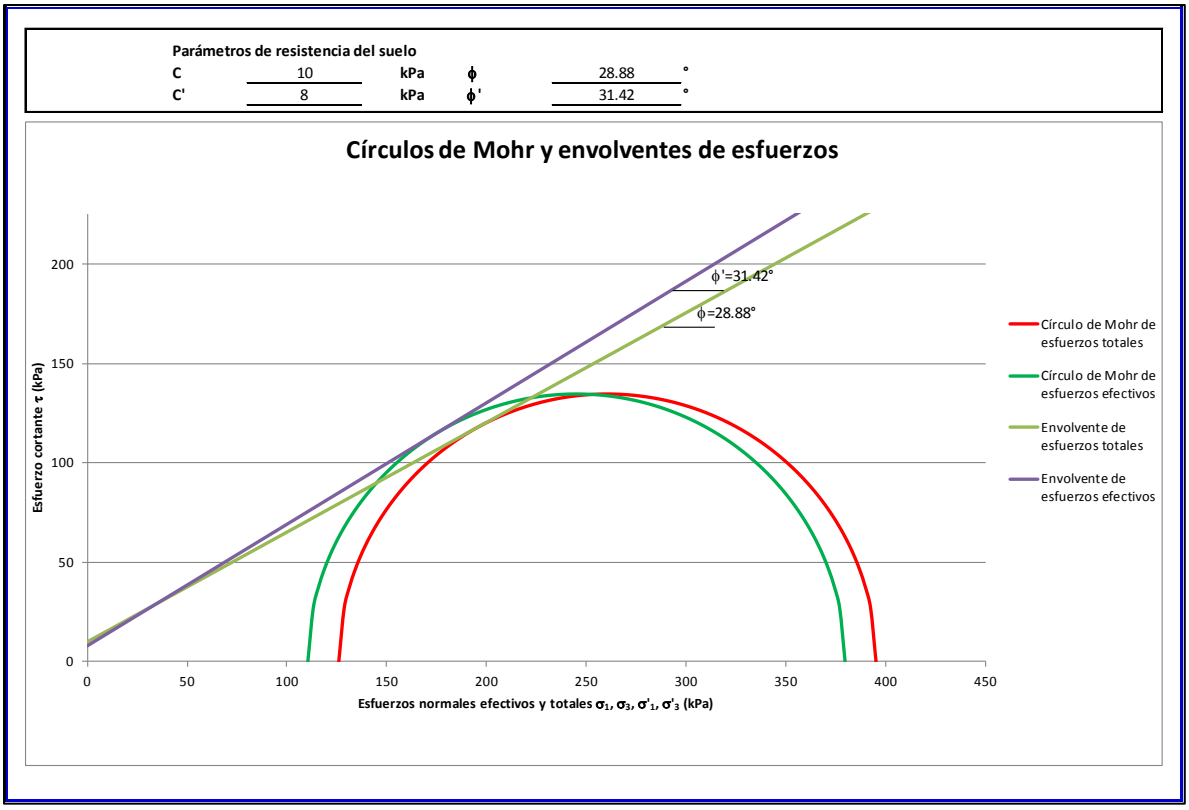


Figura 4. 17 *ensayo de triaxial consolidado no drenado estático BNC –1302 – M20 Prof. 31.50 a 33.00 m*

Tabla 4. 7 *Resumen parámetros Geomecánicos materiales, incluye análisis estudios anteriores*

No.	Estudio	Ensayo	ϕ (°)	C (kPa)	γ (kN/m³)	qu (Mpa)	Cu (Mpa)	Descripción Material	MUESTRA	UBICACIÓN	PROFUNDIDAD INICIAL	PROFUNDIDAD FINAL	PROFUNDIDAD PROMEDIO	OBSERVACIONES
1	RYM343	Corte Directo	35.5	0.3	19.4	-	-	COLUVIÓN						PARAMETRO DE TRABAJO
2	RYM343	Corte Directo	34.7	4	19.03	-	-	COLUVIÓN						PARAMETRO DE TRABAJO
3	RYM343	Corte Directo	34.3	0.3	19.37	-	-	COLUVIÓN						PARAMETRO DE TRABAJO
4	RYM343	Corte Directo	35.7	1.5	18.94	-	-	COLUVIÓN						PARAMETRO DE TRABAJO
5	RYM343	Corte Directo (Discontinuidad inundada)	36.6	32	23.1	-	-	ARENISCA DE GRANO FINO	MB 01	BLOQUE				
6	RYM343	Corte Directo (Discontinuidad inundada)	33.3	65	22.6	-	-	ARENISCA LIMOSA DE GRANO FINO, COLOR GRIS	MB 02	BLOQUE				
7	RYM343	Corte Directo (Discontinuidad inundada)	33	26	23.7	-	-	LIMOLITA ARENOSA DE COLOR GRIS	GT M4	POZO 800				
8	RYM343	Corte Directo (Discontinuidad inundada)	34.5	3	24.6	-	-	ARENISCA LIMOSA FINA, CON LAMINAS DE ARCILLOLITA	GT M6	POZO 800				
9	RYM343	Corte Directo (Discontinuidad inundada)	22.2	37	24	-	-	ARCILLOLITA DE COLOR GRIS FISURADA	GT M7	POZO 800				
10	RYM343	Corte Directo (Discontinuidad inundada)	31.6	71	24	-	-	ARENISCA DE GRANO FINO COLOR GRIS	GT M14	POZO 600				
11	RYM343	Corte Directo (Discontinuidad inundada)	25.8	36	24	-	-	ARCILLOLITA DE COLOR GRIS FISURADA	GT M16	POZO 800				
12	RYM343	Corte Directo (Discontinuidad inundada)	22.5	23	21	-	-	LUTITA DE COLOR GRIS LAMINADA	GT M 19	POZO 800				
13	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500000660)	Corte Directo	32.1	34	21.7	-	-	GRAVA ARCILLOSA CON CONCRECIONES DE OXIDO	M-19	BNC_1301	37.5	39	38.25	PICO
14	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500000660)	Corte Directo	38.6	62	21.7	-	-	GRAVA ARCILLOSA CON CONCRECIONES DE OXIDO	M-19	BNC_1301	37.5	39	38.25	RESIDUAL
15	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500000660)	Corte Directo	33.6	25	22.3	-	-	GRAVAS EN MATRIZ ARCILLO LIMO ARENOSA, DE COLOR HABANO	M-4	BNC_1302	6	7.5	6.75	PICO
16	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500000660)	Corte Directo	27.8	22	22.3	-	-	GRAVAS EN MATRIZ ARCILLO LIMO ARENOSA, DE COLOR HABANO	M-4	BNC_1302	6	7.5	6.75	RESIDUAL
17	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500000660)	Corte Directo	36.3	56	22.1	-	-	ARCILLA LIMOSA DE COLOR GRIS OSCURA	M-15	BNC_1302	22.5	24	23.25	PICO
18	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500000660)	Corte Directo	30.4	16	22.1	-	-	ARCILLA LIMOSA DE COLOR GRIS OSCURA	M-15	BNC_1302	22.5	24	23.25	PICO
19	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500000660)	Corte Directo	32.1	34	21.7	-	-	ARCILLA CON ARENA DE BAJA PLASTICIDAD COLOR MARRÓN	M-19	BNC_1302	30	31.5	30.75	PICO
20	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500000660)	Corte Directo	29.9	17	21.7	-	-	ARCILLA CON ARENA DE BAJA PLASTICIDAD COLOR MARRÓN	M-19	BNC_1302	30	31.5	30.75	RESIDUAL
21	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500000660)	Corte Directo	38.8	100	22.1	-	-	MATERIAL LIMO ARCILLOSO COLOR ROJIZO (SUELO RESIDUAL)	M-21	BNC_1302	33	34.5	33.75	PICO
22	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500000660)	Corte Directo	28.2	136	22.1	-	-	MATERIAL LIMO ARCILLOSO COLOR ROJIZO (SUELO RESIDUAL)	M-21	BNC_1302	33	34.5	33.75	RESIDUAL
23	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500000660)	Corte Directo	30.4	33	20.7	-	-	ARCILLA LIMOSA DE COLOR ROJIZO (SUELO RESIDUAL)	M-6	BNC_1303	9	10.5	9.75	PICO
24	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500000660)	Corte Directo	27.6	28	20.7	-	-	ARCILLA LIMOSA DE COLOR ROJIZO (SUELO RESIDUAL)	M-6	BNC_1303	9	10.5	9.75	RESIDUAL
25	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500000660)	TRIAXIAL CU	31.42	8	19.7	-	-	MATERIAL HETEREOGENEO PROVENIENTE DE RELLENO ANTROPICO EN MATRIZ ARCILLOSA CON LENTES DE ARENA (ESTERIL DE CANTERA)	M20	BNC_1302	31.5	33	32.25	PICO
26	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500000660)	TRIAXIAL CU	28.55	2	18.3	-	-	ARCILLA LIMOSA COLOR CAFÉ OSCURO CON GRANOS DE ARENA TAMAÑO MEDIO, ALTA PLASTICIDAD Y CONSISTENCIA DURA	M-5	BNC_1303	7.5	9	8.25	PICO
27	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500001016)	Compresión simple en roca	-	-	24.54	42.36	21.18	LIMOLITA COLOR GRIS, CONSOLIDADA	M-3	PG-03	21.6	23.4	22.5	
28	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500001016)	Compresión simple en roca	-	-	24.06	38.03	19.015	LIMOLITA COLOR GRIS OSCURO, FRACTURADA	M-6	PG-03	37.4	37.7	37.55	
29	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500001016)	Compresión simple en roca	-	-	24.08	32.65	16.325	CONSOLIDADA	M-8	PG-03	52	52.29	52.145	
30	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500001016)	Compresión simple en roca	-	-	22.9	26.33	13.165	LIMOLITA GRIS CON OXIDACIONES	M-1	PG-05	13.8	14.4	14.1	
31	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500001016)	Compresión simple en roca	-	-	19.53	26.97	13.485	LIMOLITA COLOR GRIS	M-2	PG-05	18	18.45	18.225	
32	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500001016)	Compresión simple en roca	-	-	22.11	22.2	11.1	ARCILLOLITA COLOR GRIS	M-3	PG-05	38.3	41.3	39.8	
33	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500001016)	Compresión simple en roca	-	-	22.88	25.78	12.89	ARCILLOLITA COLOR GRIS	M-4	PG-05	53.3	56.3	54.8	
34	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500001016)	Compresión simple en roca	-	-	24.75	176.7	88.35	LIMOLITA FRACTURADA COLOR GRIS	M-2	PG-06	18.5	18.72	18.61	
35	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500001016)	Compresión simple en roca	-	-	23.2	58.11	29.055	ARCILLOLITA COLOR GRIS CLARO	M-4	PG-06	58.06	58.48	58.27	
36	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500001016)	Compresión simple en roca	-	-	28.7	25.57	12.785	LUTITA COLORGRIS OSCURA, FRACTURADA.	M-1	PG-01	10.6	10.89	10.745	
37	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500001016)	Compresión simple en roca	-	-	27.12	16.93	8.465	ARCILLOLITA COLOR GRIS OSCURO , FRACTURADA.	M-2	PG-01	23.15	23.47	23.31	
38	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500001016)	Compresión simple en roca	-	-	25.82	26.26	13.13	LUTITA COLOR CAFÉ OSCURA, MUY FRACTURADA.	M-3	PG-01	39.15	39.58	39.365	
39	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500001016)	Compresión simple en roca	-	-	25.7	26.69	13.345	LUTITA COLOR GRIS OSCURO, MUY FRACTURADA.	M-4	PG-01	43.6	43.96	43.78	
40	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500001016)	Compresión simple en roca	-	-	22.51	36.89	18.445	LIMOLITA COLOR GRIS OSCURA, FRACTURADA.	M-1	PG-02	14.82	15.71	15.265	
41	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500001016)	Compresión simple en roca	-	-	23.77	21.13	10.565	LIMOLITA COLOR GRIS, FRACTURADA.	M-2	PG-02	15.63	16.05	15.84	
42	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500001016)	Compresión simple en roca	-	-	25.74	29.2	14.6	ARENISCA COLOR GRIS OSCURO, FRACTURADA.	M-3	PG-02	28.2	28.5	28.35	
43	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500001016)	Compresión simple en roca	-	-	23.29	18.83	9.415	ARENISCA COLOR GRIS , FRACTURADA.	M-4	PG-02	30.3	30.7	30.5	
44	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500001016)	Compresión simple en roca	-	-	26.55	52.44	26.22	LIMOLITA COLOR GRIS.	M-5	PG-02	64.88	65.28	65.08	
45	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500001016)	Corte Directo	21.55	74.17	20.7	-	-	SUELO RESIDUAL (ARCILLA ARENOSA)	M-1	PG-04	8.4	11.4	9.9	PICO
46	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500001016)	Corte Directo	21.8	31.33	20.7	-	-	SUELO RESIDUAL (ARCILLA ARENOSA)	M-1	PG-04	8.4	11.4	9.9	RESIDUAL
47	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500001016)	Corte Directo	41.26	0	23	-	-	ARENISCA METEORIZADA	M-4	PG-04	14.4	17.4	15.9	PICO
48	CI (ORDEN DE SERVICIO No.500001016)	Corte Directo	39.79	0	23	-	-	ARENISCA METEORIZADA	M-4	PG-04	14.4	17.4	15.9	RESIDUAL

5. EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD Y DISEÑO DE TALUDES FINALES

Con el objeto de realizar el análisis de estabilidad del talud norte y recomendar los taludes finales se trabajó con un método probabilístico para poder abarcar un mayor rango de condiciones probables en el talud, siguiendo el método de Montecarlo aplicando la herramienta Slide V 6.0. En los siguientes apartes se describe el procedimiento realizado para este fin.

5.1 Evaluación estabilidad actual del talud norte.

El modelo geológico - geotécnico se define como aquel que involucra aspectos geológicos (variación en profundidad de los diferentes depósitos) y geotécnicos (caracterización geomecánica de los diferentes depósitos). Las anteriores variables son necesarias para la obtención de perfiles geotécnicos que serán utilizados posteriormente en los análisis de estabilidad. En este orden de ideas se definió un perfil de trabajo, considerado la sección crítica para los respectivos análisis de estabilidad. Con este tipo de análisis se pretende determinar las obras que garanticen la estabilidad de la excavación.

De acuerdo a la información obtenida en los registros de perforación, geología superficial (perforaciones mecánicas por rotación) y la información suministrada, se procedió a definir tipos y espesores de los diferentes materiales, agrupándolos de acuerdo a su similitud de características físicas. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se presenta la localización de la sección D-D' de análisis, mientras que en la figura 8.2 se presenta el perfil geológico-geotécnico que será utilizado en la modelación, donde se destacan entre otros aspectos el espesor de los diferentes estratos. En cada perfil a su vez se definieron tres tipos de materiales, que están involucrados directamente en la estabilidad del sector, los cuales se describen a continuación:

Material Removido Qm: corresponde a los materiales en movimiento que están constituidos por suelos residuales, depósitos de pendiente y rocas de la formación los Cuervos que se encuentra muy fracturada por acción de la falla de Cerro Largo

Depósito de Pendiente: Constituido por el material presente en la ladera el cual no ha sufrido movimientos por fenómenos de remoción en masa.

Material Rocoso: El yacimiento de la Mina La Divisa está conformado por una secuencia sedimentaria de arcillolitas, limolitas, carbón y lentes de areniscas que hacen parte de la Formación Cuervos. Cabe resaltar que el perfil de trabajo y modelo geológico, es la sección S+600, suministrada por el solicitante.

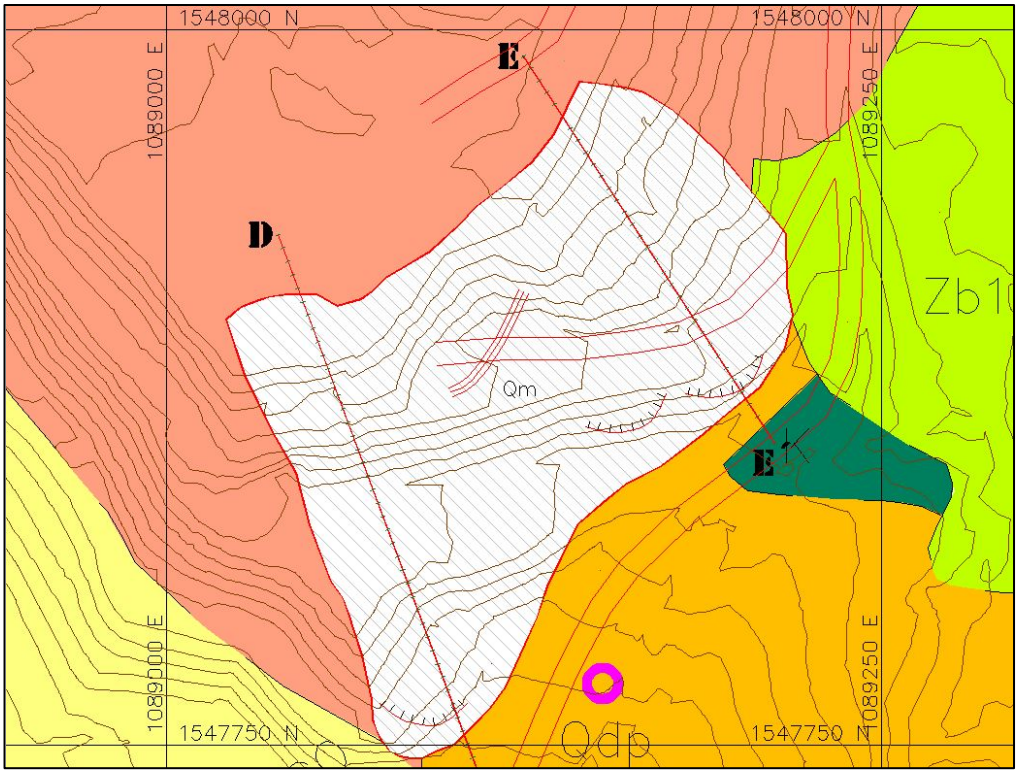


Figura 5. 1 Ubicación perfil D-D' en la zona del talud norte

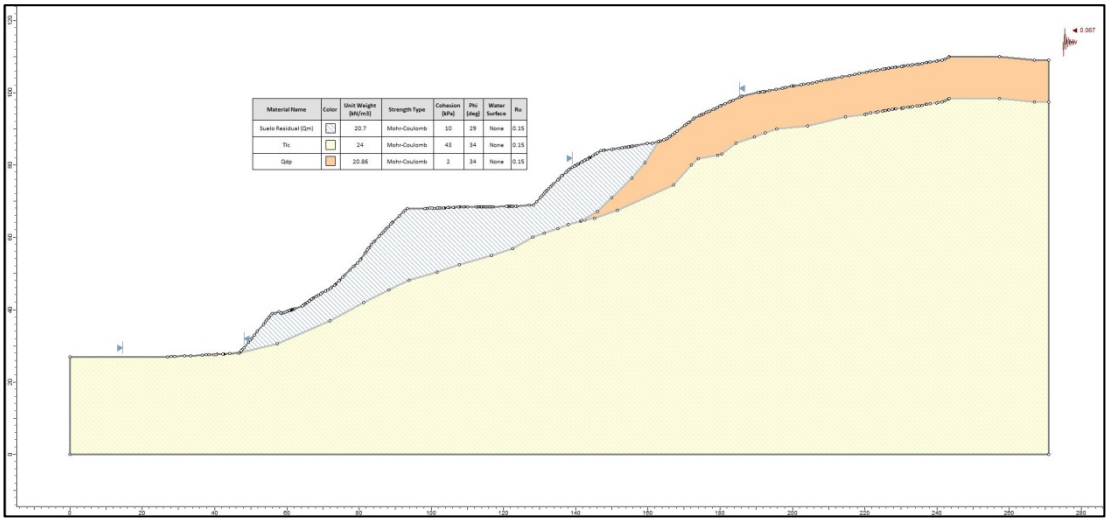


Figura 5. 2 Modelo Perfil D-D' geológico

5.2 CONSIDERACIONES SOBRE EFECTOS DEL AGUA Y SISMO EN EL SISTEMA DE TALUD

Con el objeto de realizar la caracterización del régimen presente del agua subterránea y sus posibles variaciones, como insumo para los análisis de estabilidad, es necesario poder contar con pozos de exploración, cercanos a la zona de estudio los cuales aportan información referente a la profundidad del nivel freático en diferentes puntos, afloramientos de flujos de agua para las diferentes unidades geológicas, así como la presencia de manantiales.

Haciendo referencia a esta información, no se cuenta con información suficiente en la zona de estudio, ya que los pozos actualmente instalados se encuentran alejados del área de influencia del talud norte, motivo por el cual los únicos datos disponibles corresponden a los niveles piezómetricos detectados en las perforaciones. Cabe resaltar que en las perforaciones realizadas no se detectó la presencia de la tabla de agua hasta las profundidades exploradas. Entre otros motivos porque las perforaciones se realizaron en verano. Parar efectos de modelación se trabajó con el parámetro r_u el cual relaciona la presión de poros con el esfuerzo total dentro de la masa del suelo. De esta manera un valor de cero representaría la condición de talud seco y 0.25 corresponde a una condición semisaturada. En el caso presente se utilizó un ru = 0.25 como valor medio y valores máximos de 0.35 y mínimo de 0.15, distribuidos exponencialmente, para los materiales in situ. Estos parámetros se escogieron debido a la condición de saturación por escorrentía superficial originada por el inadecuado manejo de las aguas superficiales.

Para tener en cuenta el efecto de un posible sismo y el efecto de las voladuras se tomó como una aceleración horizontal pico efectiva de 0.10, la cual corresponde a la zonificación de amenazas por sismo presentada en el norma NSR-10 aparte A-2-4. Como criterio para el análisis de estabilidad se utilizó 2/3 Aa para la modelación lo cual también tiene en cuenta el efecto de las voladuras presentes por la explotación minera

5.3 PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EMPLEADOS PARA LA MODELACIÓN

En la se muestran los parámetros geomecánicas empleados en la modelación para la condición actual los cuales fueron producto de un análisis estadístico de los materiales presentes, haciendo uso de los ensayos de laboratorio realizados en la presente consultoría y de estudios anteriores realizados por la firma Rocas y Minerales. Adicionalmente se presenta el parámetro ru.

No.	Material Name	Property	Distribution	Mean	Std. Dev.	Rel. Min	Rel. Max
1	Suelo Residual (Qm)	Cohesion (kPa)	Normal	10	3.5	2	20
2	Suelo Residual (Qm)	Phi (°)	Normal	29	2	2	10
3	Suelo Residual (Qm)	Ru Coefficient	Exponential	0.15	0	0.1	0.2
4	Suelo Residual (Qm)	Unit Weight (kN/m³)	-	20.7	-	-	-
5	Qdp	Cohesion (kPa)	-	2	-	-	-
6	Qdp	Phi (°)	-	34	-	-	-
7	Qdp	Unit Weight (kN/m³)	-	20.86	-	-	-
8	Tlc	Cohesion (kPa)	-	43	12.9	12.9	12.9
9	Tlc	Phi (°)	-	34	3.86	3.86	3.86
10	Tlc	Unit Weight (kN/m³)	-	24	-	-	-

Tabla 5. 1 parámetros geomecánicas empleados en la modelación para la condición actual

Para las propiedades geomecánicas como el ángulo de fricción interna, la cohesión aparente y el peso unitario se tomaron distribuciones de probabilidad normal, teniendo en cuenta lo investigado por diferentes autores (Heuvellin 1993) y la distribución de probabilidad que mejor se ajusta a los datos (curva “best fit”), la cual se presenta en el anexo capítulo 5.

5.4 MODELACIÓN ANÁLISIS CINEMÁTICO DE ESTABILIDAD DE TALUDES

El yacimiento de la Mina La Divisa está conformado por una secuencia sedimentaria de arcillolitas, limolitas, carbón y lentes de areniscas que hacen parte de la Formación Cuervos (Tlc); la cual está cubierta por un depósito aluvial (Qal) que alcanza hasta los 150 metros de espesor (KISC 2011), que como se mencionó anteriormente. El sector corresponde básicamente a taludes producto de una la actividad minera. La secuencia sedimentaria que está presente en la mina La Divisa hace parte del flanco Oeste del Anticlinal de la Jagua, que presenta una orientación promedio N54ºE / 27ºSE y está limitada al Sureste por la Falla Cerrolargo (Zona Perturbada) y al Oeste por la Falla Marjeva. Adicionalmente, se presentan una serie de fallas de poco desplazamiento con un rumbo similar al de la Falla Cerrolargo, como es el caso de la Falla El Hobo (KISC 2011).

Con el fin de identificar claramente el mecanismo de falla cinemática mente probable en la zona, se procedió a realizar un levantamiento detallado de discontinuidades, donde se evaluaron aspectos tales como rumbo y buzamiento de las discontinuidades, separación, persistencia, rugosidad de las paredes, entre otras, aspectos que fueron expuestos anteriormente.

En este orden de ideas, se procedió a realizar un levantamiento detallado de discontinuidades y cuyos resultados se presentan en el anexo capítulo 2. En la Figura 5.3, se muestra el formato del levantamiento de campo para la Estación Geomecánica No. 1 (considerada la característica de las condiciones más críticas de estabilidad del macizo rocoso), localizada en el talud principal, según se indica en el plano de perfiles de trabajo.

A partir de la anterior información y considerando las propiedades, orientación e inclinación promedio del macizo, se procedió a realizar los respectivos análisis cinemáticos de estabilidad mediante el software DIPS, desarrollado por la firma Rocscience. Los resultados se ilustran en las figuras 5.4 a 5.7, destacándose que el mecanismo de falla cinemáticamente probable corresponde, a generación de cuñas y volcamiento.

FORMATO DE LEVANTAMIENTO DE DISCONTINUIDADES

FECHA: 25 / 7 / 2014 — N° ESTACION: 1 — LOCALIZACION GEOGRAFICA: — PAG. 1 DE 3

COORDENADAS: N 1547916 — E 1089236 — 322msnm — PROFESIONAL (ES): JC

ESTRATIFICACION: 132 / 50 — ORIENTACION TALUD: 308 / 75 — ALTURA TALUD (m): 5 — ANCHO TALUD (m): 20 — ORIENTACION FOTOGRAFIA:

UNIDAD GEOLOGICA: FM CUERVOS — DESCRIPCION: Areniscas cuarzosas grises claras en estratos de espesor variable, intercaladas con lodolitas de poco espesor, En general estan muy fracturadas

ALTURA DE MEDICION(m): 1 — TIPO DE ESTACION: MINA X — AFLORAMIENTO

NATURALEZA Y ORIENTACION DE DISCONTINUIDADES

DISTANCIA ENTRE DIACLASAS (m)	TIPO	BUZAMIENTO	DIRECCION DE BUZAMIENTO	PERSISTENCIA	TERMINACIONES	ABERTURA	TIPO DE RELLENO	ESPESOR COMPORESIVO DEL RELLENO	RUGOSIDAD DE LA SUPERFICIE	FORMA DE LA SUPERFICIE	COEFICIENTE RUGOSIDAD JRC	Ja	FLUJO DE AGUA EN LA SUPERFICIE (JW)	FACTOR DE REDUCCION DE ESFUERZOS	OBSERVACIONES
0	2	62	12	2	2	4	3	R2	1	2	12-14		2		
0.35	2	80	28	1	2	3	3	R2	1	2	12-14		2		
0.48	2	72	252	2	2	8	3	R2	1	2	12-14		2		
0.1	2	78	226	1	2	5	3	R2	1	2	12-14		2		
0.22	2	72	260	2	2	5	3	R2	1	2	12-14		2		
0.21	2	65	258	2	2	4	3	R2	1	2	12-14		2		
0.14	2	65	258	2	2	4	3	R2	1	2	12-14		2		
0.16	2	68	267	1	2	2	3	R2	1	2	12-14		2		
0.11	2	80	265	2	2	4	3	R2	1	2	12-14		2		
0.35	2	74	262	2	2	4	3	R2	1	2	12-14		2		
0.2	2	80	16	2	2	7	3	R2	1	2	12-14		2		
0.07	2	68	6	1	2	2	3	R2	1	2	12-14		2		
0.2	2	68	358	1	2	3	3	R2	1	2	12-14		2		
0.47	2	82	260	2	2	4	3	R2	1	2	12-14		2		
0.49	2	62	252	2	2	7	3	R2	1	2	12-14		2		
0.35	2	70	262	2	2	4	3	R2	1	2	12-14		2		
0.15	2	65	268	1	2	8	3	R2	1	2	12-14		2		
0.2	2	62	8	2	2	6	3	R2	1	2	12-14		2		
0.46	2	85	278	2	2	7	3	R2	2	2	8-10		2		
0.3	2	70	268	1	2	4	3	R2	1	2	12-14		2		

TIPO
0. Zona de Falla
1. Falla
2. Diaclasa
3. Clivaje
4. Esquistosidad
5. Cizalla
6. Fisura
7. Grieta de tension
8. Foliación
9. Estratificación

PERSISTENCIA
1. Muy baja < 1 m
2. Baja 1-3 m
3. Media 3-10 m
4. Alta 10-20 m
5. Muy alta > 20 m

TERMINACIONES
0. No hay terminación visible
1. Una terminación visible
2. Ambas terminaciones visibles

ABERTURA
1. Muy estrecha < 0,1 mm
2. Estrecha 0,1-0,25 mm
3. Parcialmente abierta 0,25 - 0,5 mm
4. Abierta 0,5 - 2,5 mm
5. Moderamaente amplia 2,5 - 10 mm
6. Amplia > 10 mm
7. Muy amplia 1 - 10 cm
8. extermadamente amplia 10 - 100 cm
9. Cavernosa > 1 m

TIPO DE RELLENO
1. Limpia
2. Superficie teñida
3. No cohesivo
4. Matriz arcillosa inactiva
5. Matriz arcillosa expansiva
6. Cementada
7. Clorita, talco o yeso
8. Otra (especifique)

COMPRESIVIDAD DEL RELLENO
S1 Arcilla muy suave
S2 Arcilla suave3
S3 Arcilla firme
S4 Arcilla compacta
S5 Arcilla muy compacta
S6 Arcilla dura
R0 Roca extremadamente debil
R1 Roca muy debil
R2 Roca debil
R3 Roca mediamente fuerte
R4 Roca fuerte
R5 Roca muy fuerte
R6 Roca extremadamente fuerte

FLUJO AGUA (DIACLASA ABIERTA)
0. No hay posibilidad de flujo de agua
1. Discontinudad seca sin evidnecia de flujo de agu
2. Discontinuidad seca pero muestra evidencia de flujo de agua (manchas de oxidos
3. Discontinuidad húmeda, sin flujo de agua presente
4. Disconinuidad muestra goteo, no hay flujo continuo de agua
5. Discontinuida con flujo continuo de agua (Estime el flujo y describa la presión: baja, media o alta)

FLUJO AGUA (DIACLASA RELLENA)
6. Los materiales del relleno esta muy consolidados y secos, baja permeabilidad
7. Los materiales de relleno estan humedos sin presencia de agua libre
8. Los materiels de relleno estan humedos y ocasionalmente goteo de agua
9. Los materiels de relleno muestran flujo continuo de agua. Estimar l/min
10. Los materiels de relleno estan lavados localmente, salida de agua, estime l/min y describa la presión: baja, media o alta

SFR: es un factor por fallamiento, por relación resistencia/esfuerzo, en rocas duras masivas por procesos fluyentes o expansivos

RUGOSIDAD DE LA SUPERFICIE
1. Rugosa
2. Suave
3. Pulida
4. Estrias de falla

FORMA DE LA SUPERFICIE
1. Escalonada
2. Ondulada
3. planar

ESPACIAMIENTO

1. Extremadamente cerrado	< 20 mm
2. Muy cerrado	20-60 mm
3. Cerrado	60-200 mm
4. Moderado	200-600 mm
5. Amplio	600-2000 mm
6. Muy amplio	2000-6000 mm
7. Extremadamente amplio	>6000 mm

Figura 5. 3 Formato para levantamiento de discontinuidades

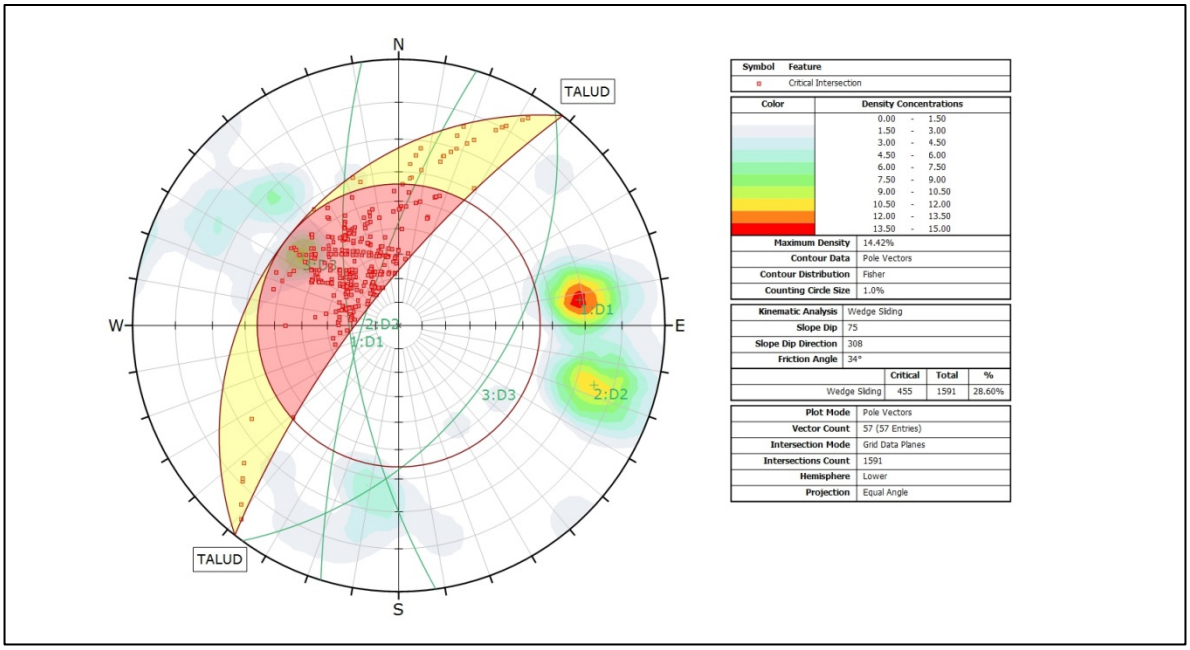


Figura 5. 4 Análisis cinemático de estabilidad para generación de cuñas.

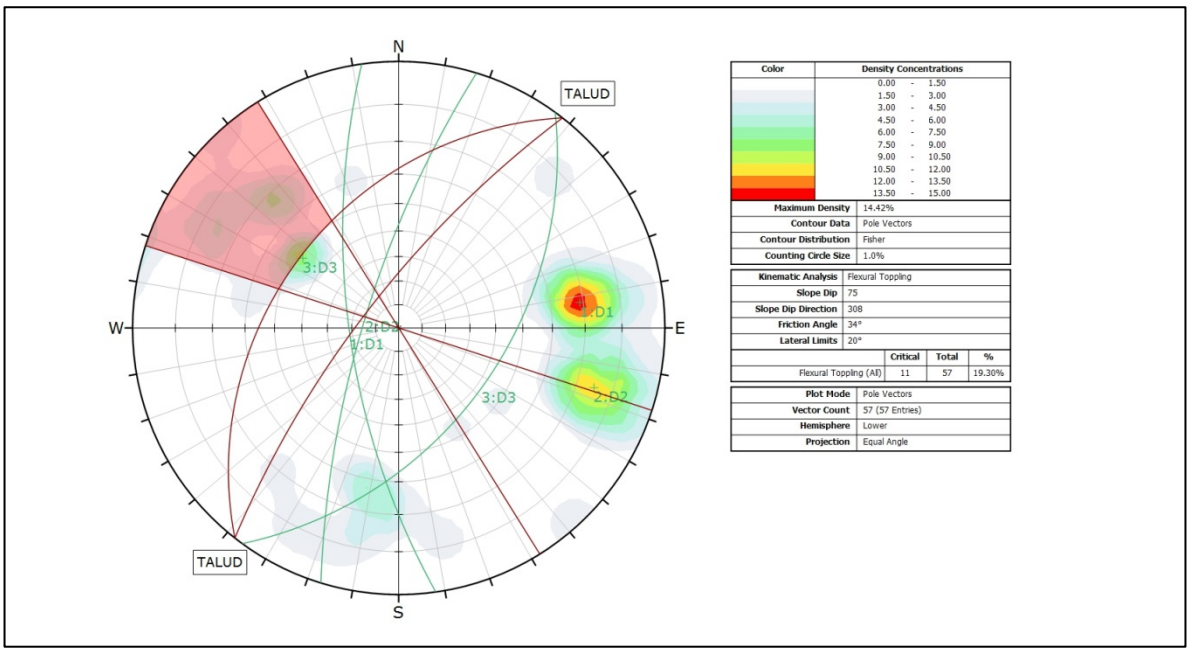


Figura 5. 5 Análisis cinemático de estabilidad para volcamiento flexural.

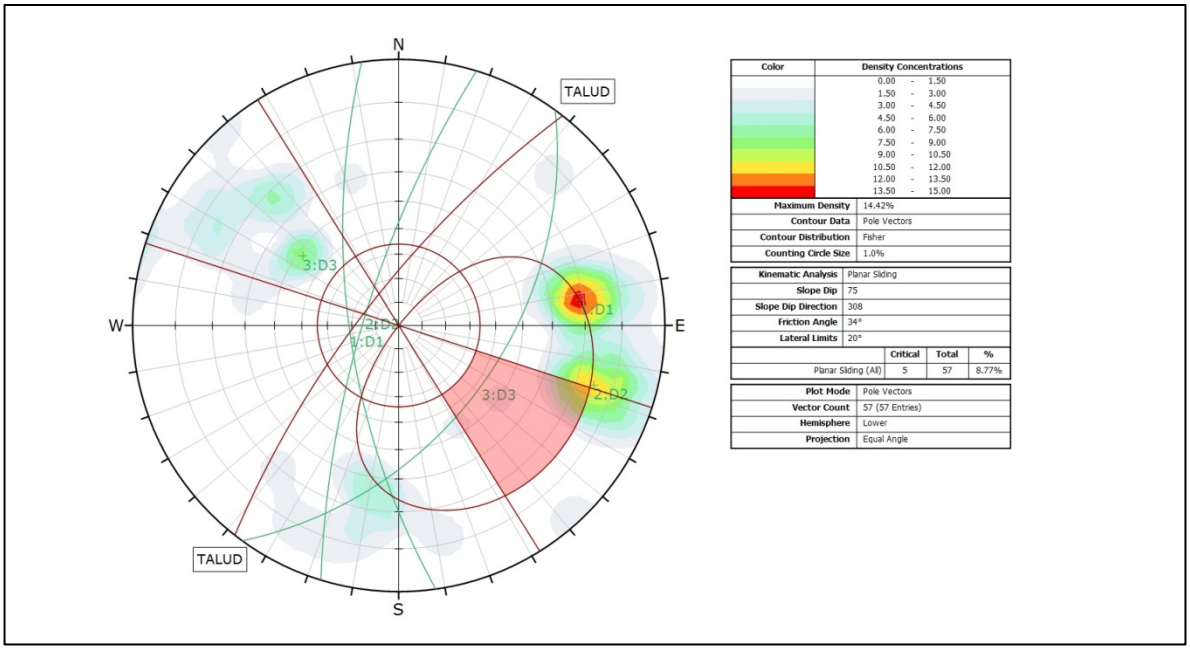


Figura 5. 6 Análisis cinemático de estabilidad para deslizamientos planares.

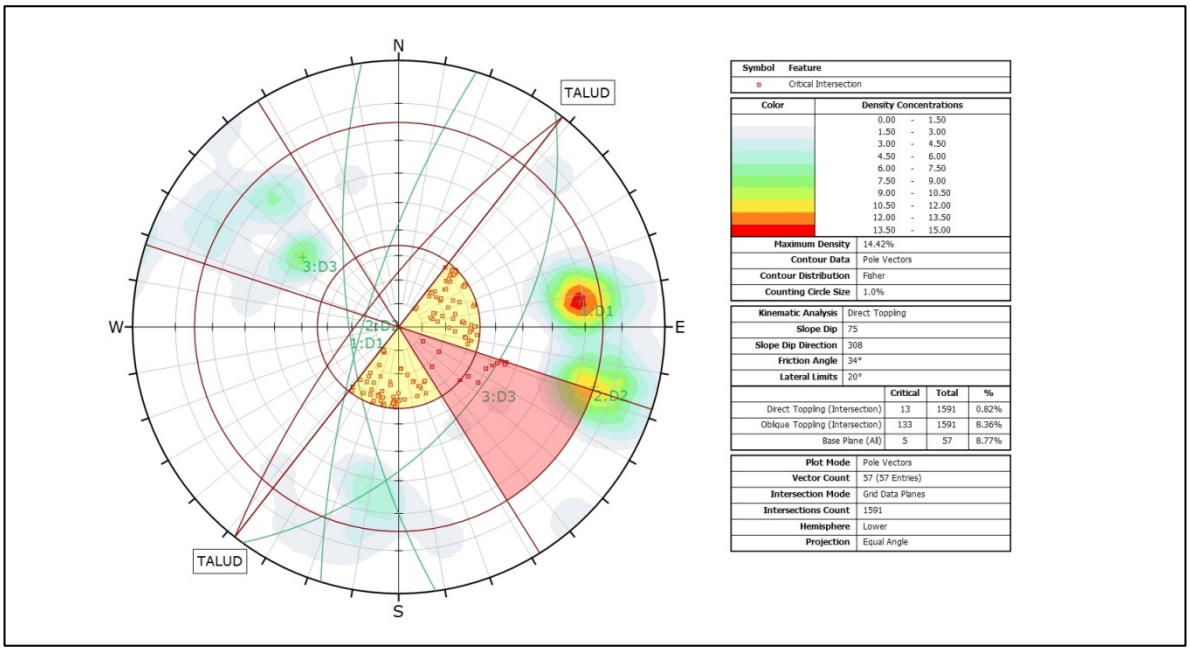


Figura 5. 7 Análisis cinemático de estabilidad para volcamiento

5.5 MODELACIÓN ESTABILIDAD DE TALUDES Y DISEÑO FINAL

- **Escenario 1, Condición actual**

Para esta condición se tomó un valor de Aa de 0.067 para simular las voladuras y sismo realizadas en la mina ya que este tipo de solicitaciones corresponden a cargas horizontales con una aceleración horizontal cercana a este valor. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se presenta el resultado del análisis para la condición actual. Estos resultados demuestran claramente que el talud actual es inestable, por lo que es necesario entrar a implementar una serie de medidas orientadas a garantizar la estabilidad del talud norte a largo plazo.

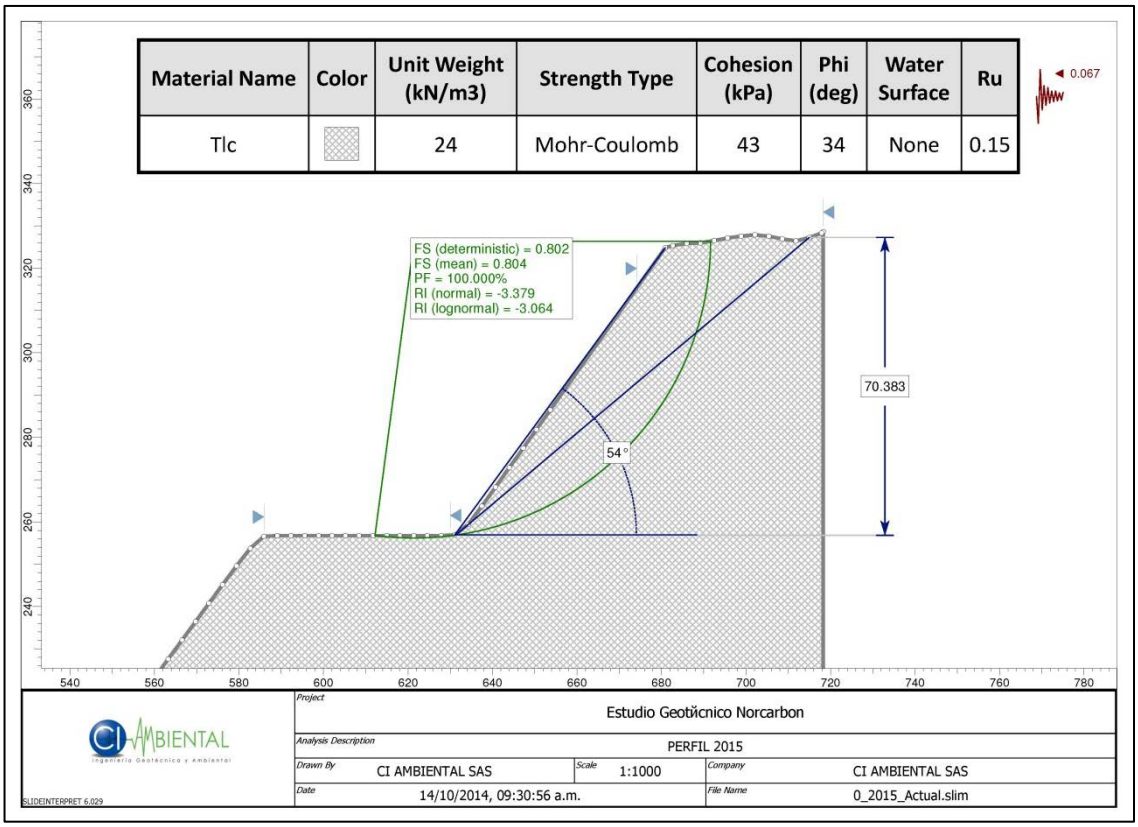


Figura 5. 8 Análisis condición actual con aceleración horizontal.

Finalmente, en la figura anterior se puede observar la alta probabilidad de falla sobre el suelo residual Qm (achurado azul en el dibujo, pf=100.00% y FS= 0.804), para la condición actual motivo por el cual se deben tomar las medidas necesarias de estabilización.

- **Escenario 2, Condición con medidas de mitigación alternativa 1. Terraceo con talud final de 30°**

Para esta condición se tomó un valor de Aa de 0.067 para simular las voladuras y sismo realizadas en la mina ya que este tipo de solicitaciones corresponden a cargas horizontales con una aceleración horizontal cercana a este valor. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se presenta el resultado del análisis para la condición con medidas de mitigación.

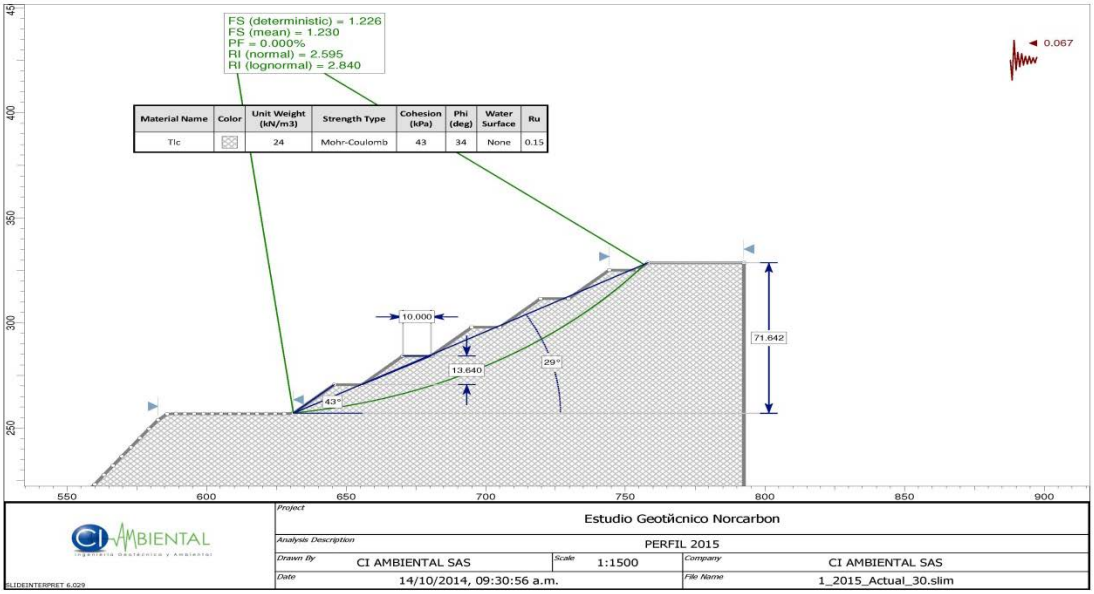


Figura 5. 9 Análisis condición con medidas de mitigación alternativa 1 con aceleración horizontal.

En la figura anterior se puede observar que con las medidas de mitigación propuestas, acompañadas de las respectivas obras de manejo de agua superficial, la probabilidad de falla sobre el sistema del talud, pf=0.00% y un factor de seguridad esperado de 1.230, es baja por lo que se configuraría una condición estable. El movimiento de tierra necesario para esta alternativa es de aproximadamente 352.900 m^3 de corte. Los planos de diseño para esta alternativa se anexan al presente informe. Las obras de drenaje que acompañan este diseño se presentan en el capítulo 3, mientras que los planos hidráulicos se presentan en los anexos del mismo capítulo. En esta alternativa se plantea un talud final de 30°, bermas de 15,00 metros y alturas de corte de 15 metros aproximadamente, con taludes locales de 43°. En la figura siguiente se muestran los resultados de las diferentes iteraciones realizadas, para encontrar la condición que garantice la estabilidad a largo plazo del talud.

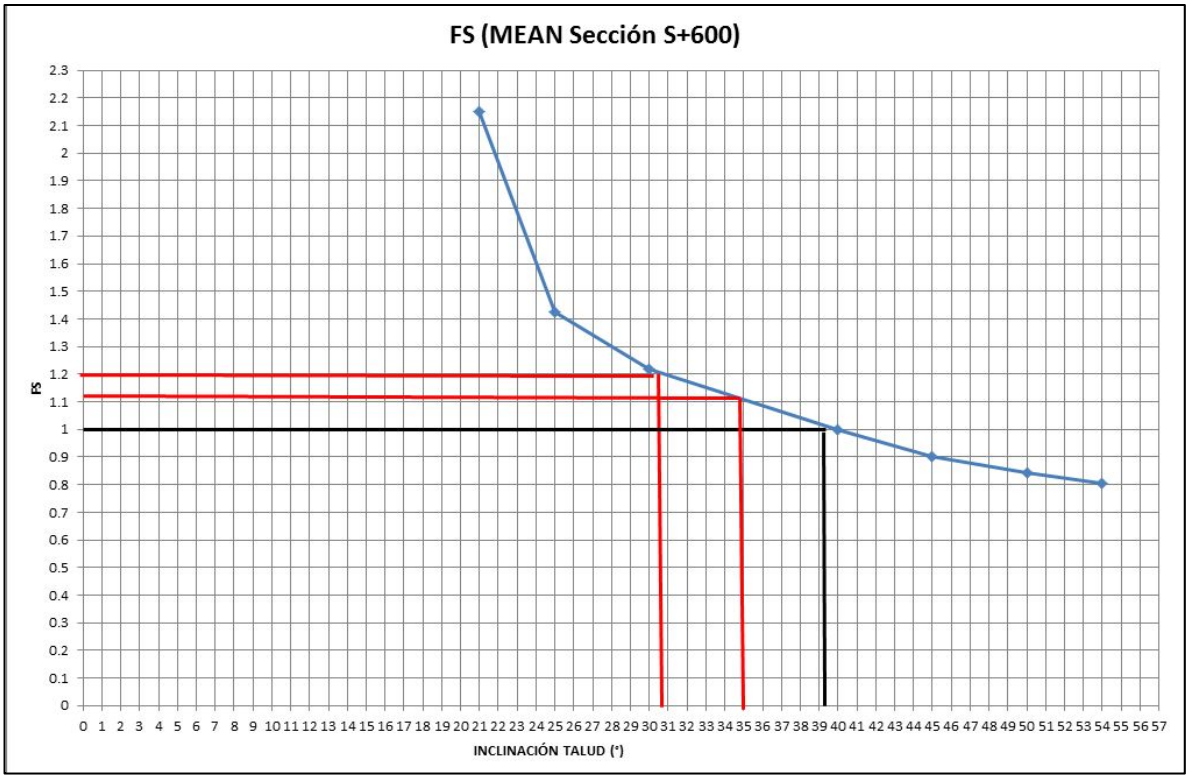


Figura 5. 10 Nomograma de factor de seguridad esperado vs inclinación de talud.

Debido a la presencia de afloramientos de agua sobre la cara del talud, se recomienda en este sector la instalación de drenes horizontales de 40 metros de longitud, sobre la berma intermedia con el fin de garantizar el abatimiento del nivel freático.

6. INSTRUMENTACIÓN Y MONITOREO

Cuando se presentan fenómenos en suelos como deslizamientos de laderas, éstos con frecuencia tienen antecedentes que permiten tener aproximaciones de probabilidad de su ocurrencia futura, por lo cual con anterioridad se pueden medir y monitorear los factores que podrían, dadas ciertas circunstancias, propiciar la falla de una ladera, con el fin de conocer mejor el comportamiento de la ladera y tomar decisiones para su estabilización o evaluar la vulnerabilidad de la población ante un posible deslizamiento.

La instrumentación, complementada con un proceso de monitoreo puede identificar a tiempo la inestabilidad de una ladera y mitigar el impacto del deslizamiento. En este orden de ideas, con el fin de monitorear de manera adecuada la mina cerro largo, se propone la instalación tanto de mojones superficiales como de Inclinómetros.

Los Inclinómetros son de gran utilidad, ya que permiten medir pequeños desplazamientos del terreno en profundidad, con un alto grado de precisión, y posteriormente, poder caracterizar el movimiento relativo entre capas en profundidad, datos importantes para la implementación futura de medidas de mitigación.

Teniendo presente lo expuesto anteriormente se propone adelantar el siguiente plan de instrumentación en la mina Cerrolargo:

- Instrumentación superficial. Para llevar a cabo esta actividad se propone la instalación de 22 mojones, distribuidos en toda la mina tal como se ilustra en la figura 6.1. Las mediciones se realizarán quincenalmente, y por intermedio de ellas se determinarán los desplazamientos en las direcciones norte, sur y vertical. Es altamente recomendable que las mediciones se realicen semanalmente en épocas invernales. Es importante destacar por otro lado que la ubicación de los mojones es aproximada, y dependiendo de las condiciones de accesibilidad al sitio, puede ser necesario reubicar el mojón en un radio de 10 metros.
- Instrumentación profunda. Esta actividad se realizará mediante la instalación de 10 inclinómetros, de 60 metros de profundidad distribuidos tal como se ilustra en la figura 6.1. (plano 6.1). Para tal fin, las medidas se adelantarán quincenalmente, y al igual que el caso anterior, las medidas se deberán incrementar en invierno a mediciones semanales. Es altamente recomendable que el plan de monitoreo de los mojones y de los inclinómetros coincida.

En la medida en la cual los datos aportados por la instrumentación revelen buenas condiciones de estabilidad y condiciones regulares del agua subterránea, la periodicidad del monitoreo podrá ampliarse a una lectura mensual, pero no menos de esto. Sin embargo, se deberá estar atento a la

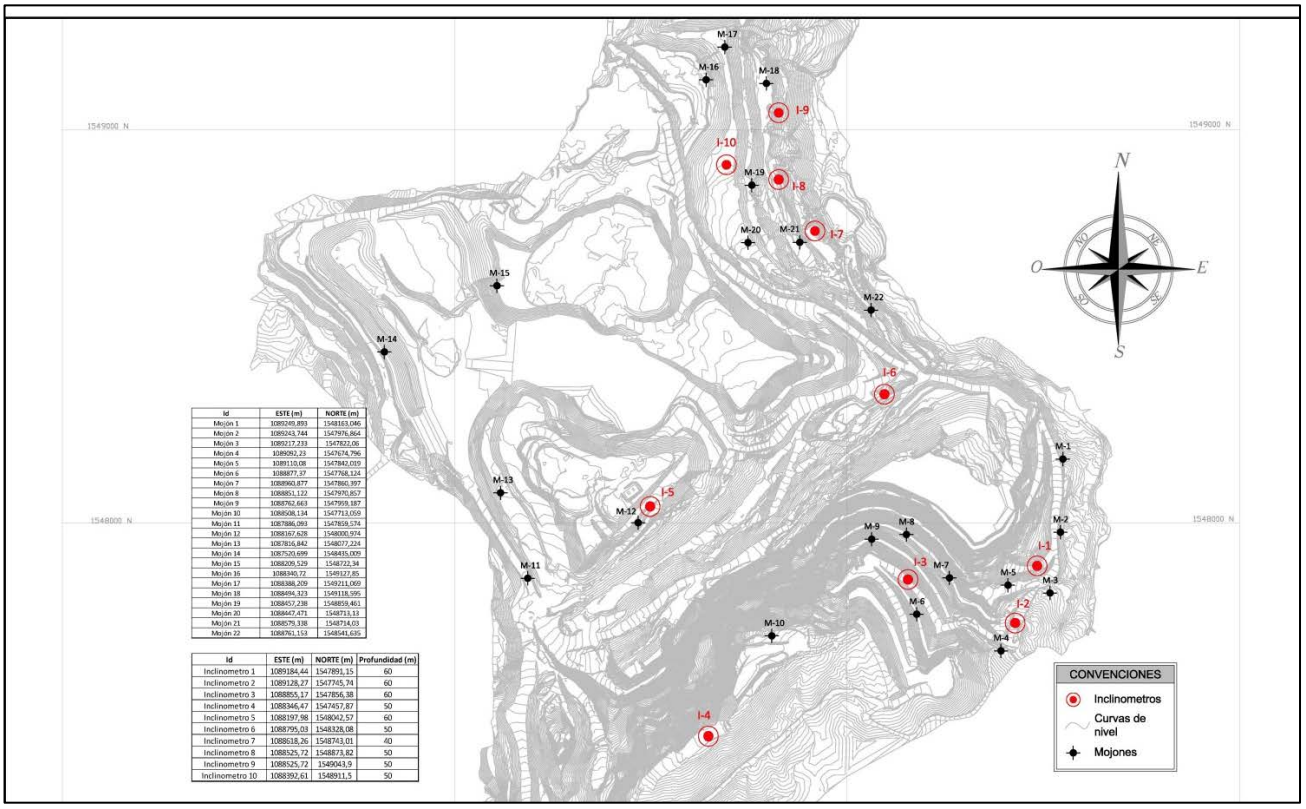
programación de campañas especiales de monitoreos bajo tres circunstancias particulares, a saber: a) ocurrencia de lluvias extremas fuera de temporada invernal –al menos dos monitoreos-, b) durante la temporada invernal –un monitoreo quincenal durante la temporada-, y c) luego de la ocurrencia de un evento sísmico que haya sido detectado –un monitoreo diario durante una semana. Las coordenadas y características de los instrumentos recomendados, se presentan en la tabla 6.1 y en la figura 6.1, así como en el plano 6.1 anexo.

Tabla 6. 1 Ubicación instrumentos recomendados

Id	ESTE (m)	NORTE (m)	Profundidad (m)
Inclinometro 1	1089184.44	1547891.15	60
Inclinometro 2	1089128.27	1547745.74	60
Inclinometro 3	1088855.17	1547856.38	60
Inclinometro 4	1088346.47	1547457.87	50
Inclinometro 5	1088197.98	1548042.57	60
Inclinometro 6	1088795.03	1548328.08	50
Inclinometro 7	1088618.26	1548743.01	40
Inclinometro 8	1088525.72	1548873.82	50
Inclinometro 9	1088525.72	1549043.9	50
Inclinometro 10	1088392.61	1548911.5	50

Id	ESTE (m)	NORTE (m)
Mojón 1	1089249.893	1548163.046
Mojón 2	1089243.744	1547976.864
Mojón 3	1089217.233	1547822.06
Mojón 4	1089092.23	1547674.796
Mojón 5	1089110.08	1547842.019
Mojón 6	1088877.37	1547768.124
Mojón 7	1088960.877	1547860.397
Mojón 8	1088851.122	1547970.857
Mojón 9	1088762.663	1547959.187
Mojón 10	1088508.134	1547713.059
Mojón 11	1087886.093	1547859.574
Mojón 12	1088167.628	1548000.974
Mojón 13	1087816.842	1548077.224
Mojón 14	1087520.699	1548435.009
Mojón 15	1088209.529	1548722.34
Mojón 16	1088340.72	1549127.85
Mojón 17	1088388.209	1549211.069

Mojón 18	1088494.323	1549118.595
Mojón 19	1088457.238	1548859.461
Mojón 20	1088447.471	1548713.13
Mojón 21	1088579.338	1548714.03
Mojón 22	1088761.153	1548541.635



Id	ESTE (m)	NORTE (m)
Mojón 1	1089249,893	1548163,046
Mojón 2	1089243,744	1547976,864
Mojón 3	1089217,233	1547822,06
Mojón 4	1089092,23	1547674,796
Mojón 5	1089110,08	1547842,019
Mojón 6	1088877,37	1547768,124
Mojón 7	1088960,877	1547860,397
Mojón 8	1088851,122	1547970,857
Mojón 9	1088762,663	1547959,187
Mojón 10	1088508,134	1547713,059
Mojón 11	1087886,093	1547859,574
Mojón 12	1088167,628	1548000,974
Mojón 13	1087816,842	1548077,224
Mojón 14	1087520,699	1548435,009
Mojón 15	1088209,529	1548722,34
Mojón 16	1088340,72	1549127,85
Mojón 17	1088388,209	1549211,069
Mojón 18	1088494,323	1549118,595
Mojón 19	1088457,238	1548859,461
Mojón 20	1088447,471	1548713,13
Mojón 21	1088579,338	1548714,03
Mojón 22	1088761,153	1548541,635

Id	ESTE (m)	NORTE (m)	Profundidad (m)
Inclinometro 1	1089184,44	1547891,15	60
Inclinometro 2	1089128,27	1547745,74	60
Inclinometro 3	1088855,17	1547856,38	60
Inclinometro 4	1088346,47	1547457,87	50
Inclinometro 5	1088197,98	1548042,57	60
Inclinometro 6	1088795,03	1548328,08	50
Inclinometro 7	1088618,26	1548743,01	40
Inclinometro 8	1088525,72	1548873,82	50
Inclinometro 9	1088525,72	1549043,9	50
Inclinometro 10	1088392,61	1548911,5	50

Figura 6. 1 Ubicación instrumentación propuesta

7. CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES

De lo expuesto anteriormente se concluye:

- Debido a la actividad propia de explotación del frente minero se han presentado fenómenos de remoción en masa, en su mayoría causados por el taponamiento de cunetas para la evacuación de las aguas superficiales, evidenciándose carcavamientos y agrietamientos detectados en superficie.

- Los espesores estimados de falla se encuentran entre 8 y 20 metros considerándose presentes en los suelos residuales (Qm), afectados por el tectonismo detectado en la zona de estudio, según lo observado en campo.

- Geológicamente estos suelos residuales presentan mayor susceptibilidad a sufrir movimientos relacionados con la actividad de la escorrentía superficial, ya que pueden saturarse a nivel superficial (debido a las aguas lluvias) generando situaciones propensas a presentarse deslizamientos, situación magnificada por la presencia de agrietamientos, los cuales facilitan la infiltración del agua proveniente de la escorrentía superficial, generando condiciones desfavorables.

- Los suelos de la explotación minera, son provenientes de una matriz aluvial, encontrándose desde suelos granulares como gravas arcillosas y arenas arcillosas hasta arcillas arenosas de baja plasticidad, materiales susceptibles a sufrir variaciones volumétricas (material fino) y en algunas ocasiones susceptibles a erosionarse por flujos de agua, como es el caso de los materiales más granulares.

- Las actividades de explotación relacionadas con las voladuras, pueden ser consideradas como agentes detonantes debido a las solicitaciones exógenas al sistema de taludes representadas como cargas dinámicas debido a su rango de influencia, la cual fue tenida en cuenta para la modelación de la estabilidad por equilibrio límite.

- A la fecha de la exploración no se detectó el nivel freático hasta las profundidades exploradas cercanas a los 60 metros, situación la cual puede variar según la época del año y los regímenes climáticos en el sector. Por este motivo se optó por trabajar con el parámetro ru, con el objeto de tener en cuenta los efectos generados por la escorrentía superficial.

- Para realizar la modelación adecuada de la matriz del suelo residual se tomaron ensayos de resistencia de corte directo, compresiones triaxiales, de las perforaciones BNC-1303, PG-04 y compresiones inconfinadas a las muestras recuperadas de la perforación PNM-1301 y las perforaciones PG-01 al PG-06, con el objeto de caracterizar geo mecánicamente los suelos aflorantes y poder realizar la simulación en el software slide v 6.0, previo análisis estadístico de la información. Es de resaltar que el método probabilístico de Montecarlo fue el utilizado para determinar probabilidad de falla presente en el perfil tipo. Se realizó un análisis complementario a la sección S+600, para verificar la configuración final del talud, el cual se presenta en el anexo capítulo 5.

- Teniendo en cuenta los resultados, espesores de falla y extensión de la problemática se realizó una alternativa de mitigación la cual básicamente consiste en retirar el material fallado y darle una configuración final controlada al talud. cuyas principales características son las siguientes:

    - **Terraceo del talud norte.** Esta alternativa contempla el movimiento de tierras, orientados a darle una configuración final de estabilidad al talud norte. Esto implica construcción de bermas, tendido de taludes y el diseño de todo un sistema de cunetas y canales para el adecuado manejo del agua superficial.

    - Debido a que la estabilidad de este sector solamente se puede garantizar tendiendo el talud, es recomendable realizar una transición entre los taludes actuales y esta configuración para la zona perturbada.

    - Durante la fase de campo se detectó la presencia de afloramientos de agua sobre la cara del talud, lo cual es un signo de aguas colgadas que pueden estar generando presiones indeseables sobre la cara del talud. A este respecto y de manera preventiva se recomienda la instalación de drenes horizontales de 40 metros de longitud, con el fin de eliminar estas presiones sobre la cara del talud.

- Finalmente se recomienda la instalación de piezómetros e inclinómetros que midan las fluctuaciones del nivel freático y los eventuales desplazamientos del terreno. Es altamente recomendable realizar mediciones mensuales por un periodo no inferior un año. Como este sector corresponde a talud final se sugiere la construcción de mojones que sirvan de referencia para la medición de eventuales desplazamientos superficiales del terreno.

8. BIBLIOGRAFÍA

Asociación Colombiana de Ingenieria Sismica (AIS). (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Colombia.

Chow , V., Maidment , D., & Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada.* Bogotá : McGraw-Hill.

Federal Highway Administration. (2005). Design of Roadside Channels with Flexible Linings. *US Department of Transportation*, 7-1-7-8.

Hoek, E. (2006). *Practical Rock Engineering.* Toronto.

Monsalve Sáenz, G. (1995). *Hidrología en la Ingeniería .* Bogotá: 1995.

ROCAS Y MINERALES S.A. INGENIEROS CONSULTORES . (2011). *MODELO GEOLOGICO 2010 Y ESTIMACION DE RECURSOS RYM 358.*

ROCAS Y MINERALES S.A. INGENIEROS CONSULTORES. (2009). *ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD EN COLUVIÓN DE LA PARED ALTA RYM 343.* Bogotá.

ROCAS Y MINERALES S.A. INGENIEROS CONSULTORES. (2010). *ANALISIS GEOTECNICO DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN ROCA RYM 357.* Bogotá.