

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 ACTIVIDADES REALIZADAS.....	2
3 GEOLOGÍA SUPERFICIAL.....	2
4 EXPLORACIÓN DEL TERRENO.....	4
4.1 Ensayos de laboratorio.....	4
5 ANÁLISIS GEOTÉCNICOS.....	6
5.1 Geometrías de corte analizadas.....	7
5.1.1 Resultados para la Geometría 1.....	8
5.1.2 Resultados para la Geometría 2.....	9
5.1.3 Resultados para la Geometría 3.....	10
6 RECOMENDACIONES GEOTECNICAS.....	11

JOSE ANTENOR GONZALES
CONCESION MINERA GEO-081
MELGAR Y NILO / TOLIMA Y CUNDINAMARCA

DISEÑO GEOTECNICO DE LOS TALUDES DE EXPLOTACION

1 Introducción.

La empresa de minería encabezada por el señor JOSE ANTENOR GONZALES, tiene en el municipio de Melgar y Nilo departamentos de Tolima y Cundinamarca el título de explotación minera N° GEO-081 para mineral crudo, por tal motivo contrato a la empresa Rocas y Minerales Ltda. Para la ejecución de un estudio y diseño geométrico de los taludes con el objetivo de determinar la geometría que tendrían los taludes finales de la explotación para que sean estables. Este estudio se hizo con información geológica de superficie y toma de muestras de exploraciones existente en el sector y afloramientos.

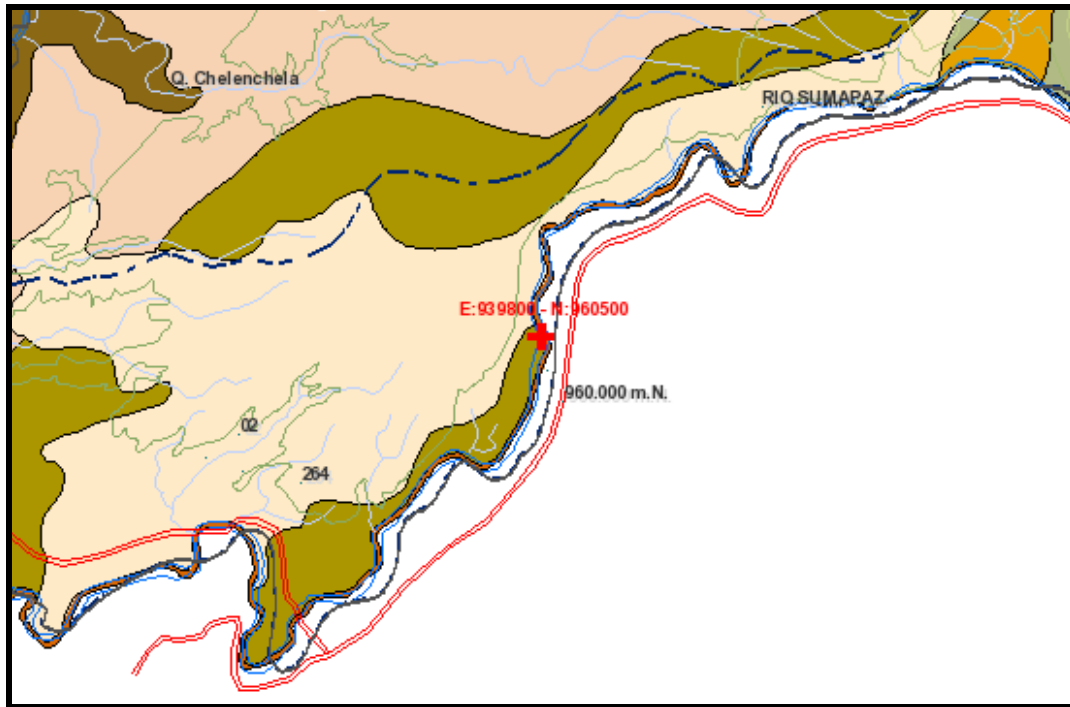
En la figura 2, se muestra la localización de la concesión minera N° GEO-081.

2. Actividades realizadas

Para la elaboración del presente estudio, se realizaron las siguientes actividades:

- Estudio de la geología superficial entregada por el señor José Antenor Gonzáles.
- Exploración superficial del terreno y muestreos.
- Ensayos de laboratorio.
- Interpretación de resultados.
- Análisis geotécnicos.

Figura 2. Localización general del área de concesión minera GEO-081



A continuación, se describen en detalle cada una de estas actividades.

3. Geología superficial

De acuerdo a la geología elaborada por el Ingeniero Luis Fernando Rodríguez Murcia el depósito a explotar es de origen fluvioglacial y la forma del depósito es el de una terraza de edad cuaternario que a su vez está recubierta parcialmente por flujos de detritos.

En el plano 1 se muestra la geología de la zona complementada con información recopilada por Rocas y Minerales Ltda.

La secuencia litológica que será explotada está conformada por la intercalación de niveles gruesos de conglomerado, preferencialmente matriz soportados: capas de arcillas limosas y algunas capas de arenas limosas. El espesor medio del depósito es de 65 m.

Este depósito está recubierto por rocas sedimentarias de edad cretácea pertenecientes a las formaciones La Tabla, Lidita Superior, Conejo, Terraza aluvial Alta, Coluviones, Aluviones Recientes y Conglomerados de Carmen de Apicalá.

En el aspecto geomorfológico se destaca la existencia, en el pasado de unos procesos fluvio-torreciales que transportaron grandes volúmenes de material que al depositarse colmataron totalmente el valle del Río Sumapaz para dar paso a una llanura hacia el N-E esta llanura posteriormente fue disectada y como resultado de este proceso destructivo quedó como remanente una unidad conocida como terraza, sobre esta se realiza la actividad minera.

4. Exploración del terreno

Para la evaluación de procesos dinámicos en las laderas, la elaboración de los perfiles geológicos y la determinación de los parámetros geotécnicos de los materiales a ser explotados, se realizó una visita a la zona y se tomaron muestras de bloque de las litologías típicas. Las coordenadas de la ubicación de estas muestras se consignan en la tabla 1.

Muestra	Norte	Este
CC1	961063	939937
CC2	961202	940297
CC3	961149	940612
CC4	960883	940146
CC5	960863	940620
CC6	960614	940731
CC7	960434	940678
CC8	960340	940330
CC9	960528	940457
CC10	960544	940097
CC11	960177	939847
CC12	960140	939614

4.1. Ensayos de laboratorio

Con las muestras recolectadas, se realizaron ensayos de laboratorio para evaluar las propiedades índice y la resistencia de los materiales que quedarían conformando los taludes de la explotación.

En la tabla 2 se muestran los resultados de los ensayos de laboratorio realizados. En la figura 3, se muestra la ubicación de los materiales finos en la Carta Casagrande.

De los resultados de los ensayos de laboratorio se puede inferir que las capas de materiales finos del depósito, son en su mayoría arcillas de baja plasticidad (véase

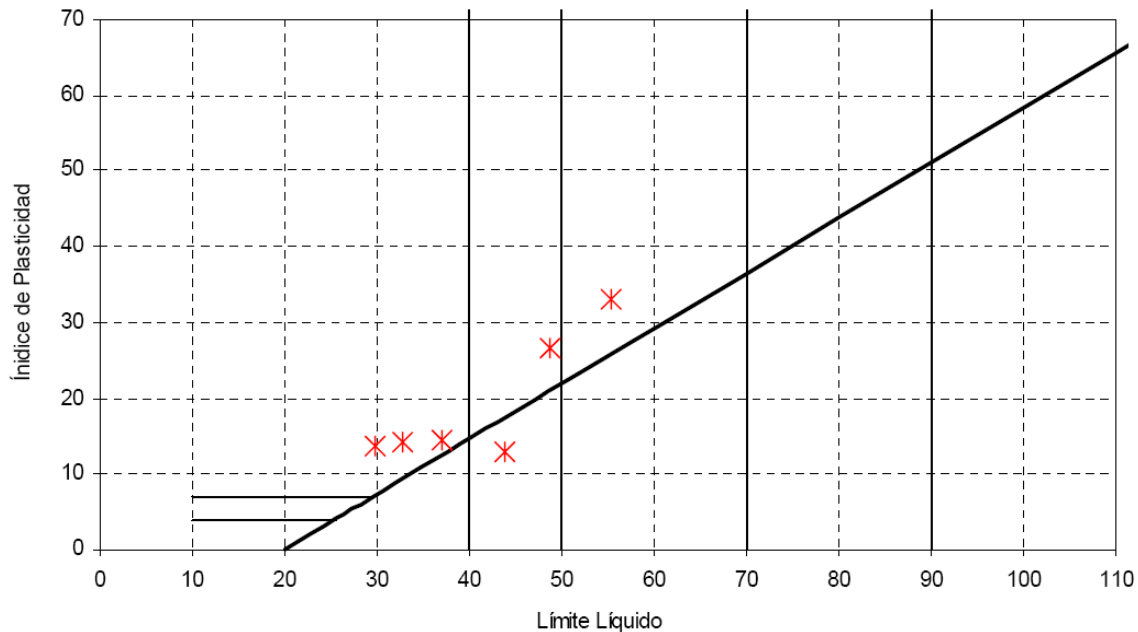
figura 3), con algún contenido de arenas. Por otra parte, las capas de arena cuentan con un contenido de finos importante, lo que hace que estos materiales presenten alta cohesión.

Finalmente, debido a que la terraza esta compuesta por depósitos de procesos aluviales y de flujo de detritos, se encuentran gravas matriz soportadas con alto contenido de finos, así como, gravas clastosoportadas con bajo contenido de finos (Véase tabla 2).

Tabla 2, Resumen de resultados de los ensayos de laboratorio.

Muestra	Material	δ_s (t/m ³)	δ_d (t/m ³)	s_o	c (kg/cm ²)	s	G _s	LL	LP	IP	IL	IC	IF	clasificación	GRAVAS %	ARENAS %	FINOS %	Observaciones
CC-1	Limo con arenas color habano oscuro	1.76	1.40	24.00	0.34	21.00		44	31	13	0.21	0.79	7.14	ML	0	14	86	CD inundado
CC-2	Arcilla con arenas color gris claro	1.77	1.67	5.74	0.23	25.00		30	16	14	-0.73	1.73	8.18	CL	0	8	92	CD inundado
CC-3	Arcilla con arenas y gravas color habano	1.94	1.75	10.60	0.68	22.30		33	19	14	-1.07	2.06	10.80	CL	3	39	58	CD inundado
CC-4	Arcilla	2.08	1.79	16.30	1.37	23.00	2.63	55	22	33	-0.40	1.41	30.91	CH	0	2	98	CD inundado
CC-5	Arena con finos color gris claro	1.88	1.68	11.78	0.31	24.18	2.64								15	55	30	CD inundado
CC-6	Arcilla con arenas y gravas color café	2.01	1.64	21.87	0.31	22.70		37	23	14	-0.25	1.26	10.63	CL	7	27	66	CD inundado
CC-7	Arcilla con arenas color café	1.96	1.63	21.80	0.66	25.40		49	22	27	0.00	0.99	4.29	CL	0	15	85	CD inundado
CC-8	Grava con arena y finos color habano													GM-GP	55	36	9	
CC-9	Grava con arena y finos color habano													GM	45	39	16	
CC-10	Arena con gravas y finos color gris	1.95	1.75	11.40	0.42	37.30								GM ?	35	50	15	CD inundado
CC-11	Grava con arenas y finos color gris claro													GM	45	15	40	
CC-12	Grava con arenas y finos color gris	1.90	1.77	10.10	0.53	0.53	32.30							GM-GP	81	14	6	CD inundado, realizado en pasa tamiz 4

Figura 3. Ubicación en la Carta Casagrande de las muestras de arcilla y limos recolectados.



5. Análisis Geotécnicos.

Los análisis geotécnicos se realizaron con base en los perfiles geológicos. A partir de los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio y de la experiencia que tiene Rocas y Minerales en depósitos de agregados de características similares a las de este proyecto, para los análisis de estabilidad de los taludes parciales y finales de explotación, se asumieron los siguientes valores de parámetros de resistencia.

Debido a la dificultad de realizar ensayos de laboratorio que permitan evaluar parámetros de resistencia sobre gravas, se realizaron análisis retrospectivos basados en los taludes naturales y ratificales observados en la zona.

Tabla 3. Parámetros adoptados para análisis de estabilidad.

Material	γ_t (KN/m ³)	Cohesión c (KN/m ²)	Fricción ϕ
Arcillas	18.54	26.5	23.8
Arenas con finos	18.44	30.4	24.1
Gravas	19.50	70	38

5.1. Geometría de corte analizados.

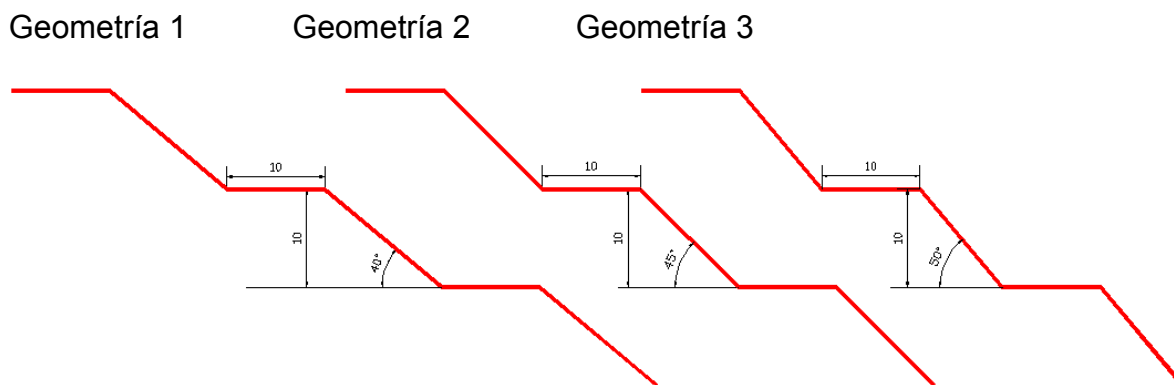
Para encontrar la geometría de los taludes de trabajo y finales mas adecuada, para el nivel de conocimiento geológico que se tiene a la fecha, se analizaron 3 geometrias de taludes, las cuales se muestran en la figura 4.

Geometría 1. Son taludes parciales con alturas de 10 m de 40° de inclinación y bermas de 10 m de ancho con esta geometría se tiene un ángulo general de 25°

Geometría 2. Corresponde a taludes parciales con alturas de 10m, ángulo de inclinación de 40° y bermas de 10m de ancho, con esta geometría se tiene un angulo general del laud de 27°.

Geometría 3. Son taludes parciales con alturas de 10m, de 50° de inclinación y bermas de 10 m de ancho, que corresponde con una inclinación general de 29°.

Figura 4. Cortes analizados



Una vez establecidas las geometrías a analizar se procedió, para cada geometría a calcular el factor de seguridad (FS) utilizando el método abreviado de BISHOP (Equilibrio limite), tomando condiciones de agua en la masa de suelo como seca, húmeda y parcialmente saturada y para sismos que conducen a aceleraciones pico efectiva horizontales de 0.1g, 0.2g y sin sismo 0.0g, la condición del agua en la masa del suelo se simuló por medio del parámetro ru .

A continuación se presentan los resultados obtenidos.

5.1.1 Resultados para la geometría 1.

Como ya se mencionó, consiste en taludes parciales con alturas de 10 m, de 40° de inclinación y bermas de 10m de ancho. En la tabla 4 se muestran los factores de seguridad para las condiciones mencionadas y en la figura 5, las superficies críticas para esta geometría en condición parcialmente saturada y con un sismo de 0.2g.

Tabla 4. Resultados de estabilidad geometría 1.

Condición de agua	Factor de seguridad		
	$a_h = 0.0g$	$a_h = 0.1g$	$a_h = 0.2g$
Seco	2.21	1.81	1.52
Húmedo	2.01	1.65	1.38
Parcialmente saturado	1.82	1.48	1.24

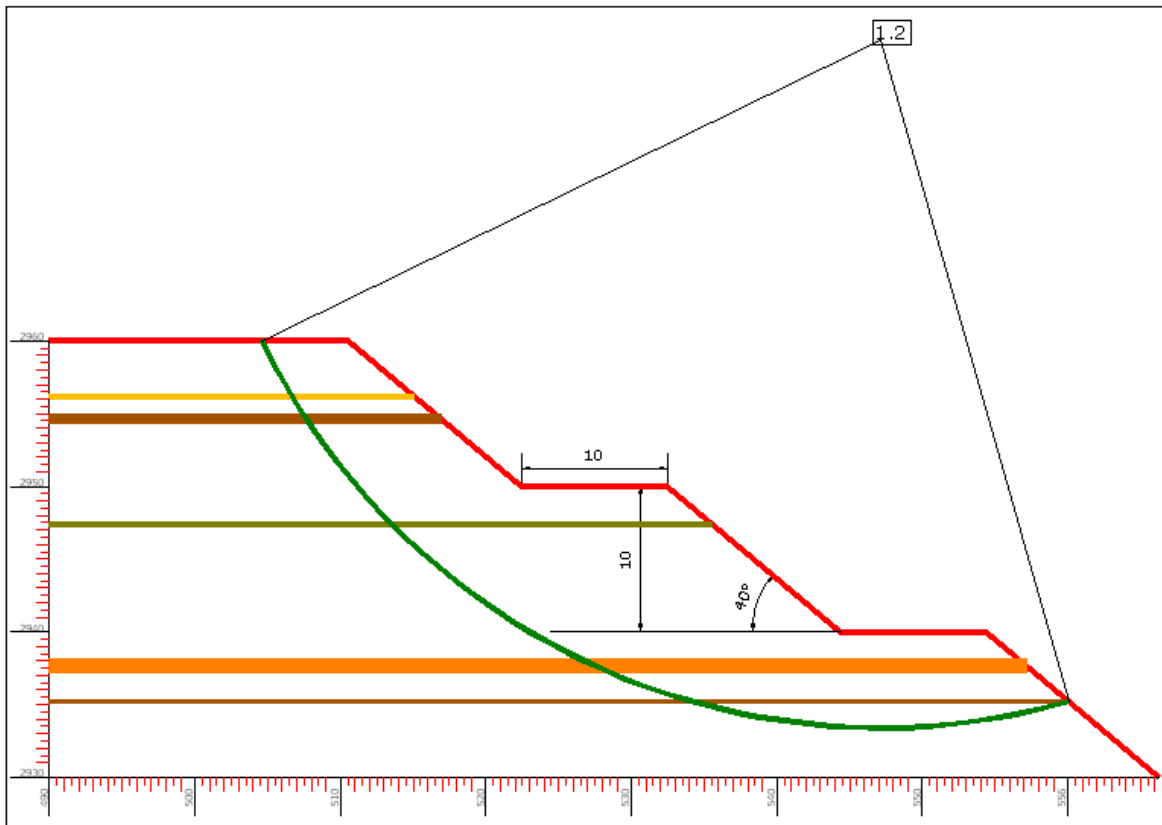


Figura 5. Superficies críticas para la geometría 1 en condición parcialmente saturada y sismo de 0.2g.

5.1.2 Resultados para la geometría 2.

Consiste en taludes parciales de 10m de altura con inclinaciones de 45° y bermas de 10 m de ancho.

En la Tabla 5. Se muestra los Factores de seguridad para las diferentes condiciones de agua y sismo y en la Figura 6. se muestran las superficies críticas de este talud, para condición de agua parcialmente saturada y sismo de 0.2g.

Tabla 5. Resultados de estabilidad geometría 2.

Condición de agua	Factor de seguridad		
	$a_h = 0.0g$	$a_h = 0.1g$	$a_h = 0.2g$
Seco	2.10	1.76	1.50
Húmedo	1.91	1.60	1.36
Parcialmente saturado	1.73	1.44	1.22

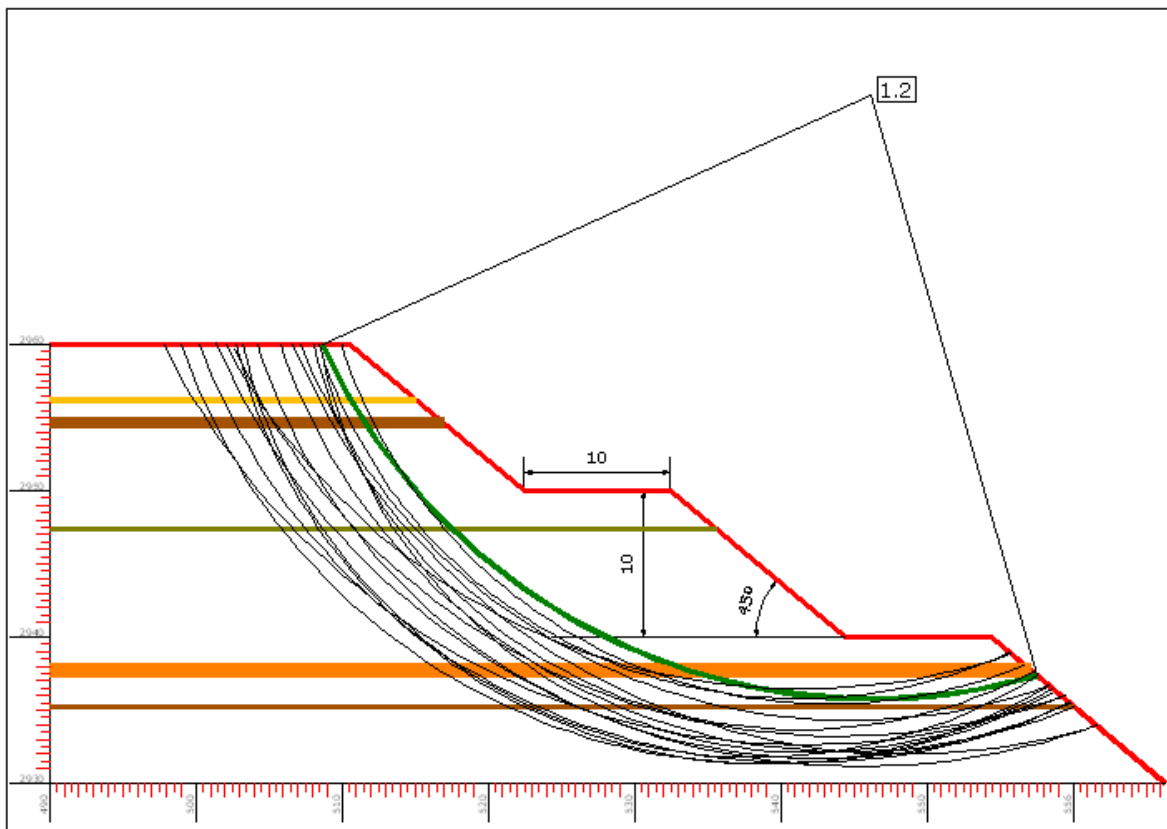


Figura 6. Superficies críticas para la geometría 2 en condición parcialmente saturada y sismo de 0.2g.

5.1.3 Resultados para la geometría 3.

Estos taludes de explotación constan de taludes parciales con alturas de 10m, 50° de inclinación y bermas de 10m de ancho.

Los resultados de los Factores de seguridad para las condiciones mencionadas están en la Tabla 6 y en la Figura 7 se muestran las superficies críticas para condición parcialmente saturada y sismo de 0.2g.

Tabla 6. Resultados de estabilidad geometría 3.

Condición de agua	Factor de seguridad		
	$a_h = 0.0g$	$a_h = 0.1g$	$a_h = 0.2g$
Seco	1.97	1.65	1.41
Húmedo	1.80	1.50	1.28
Parcialmente saturado	1.62	1.35	1.15

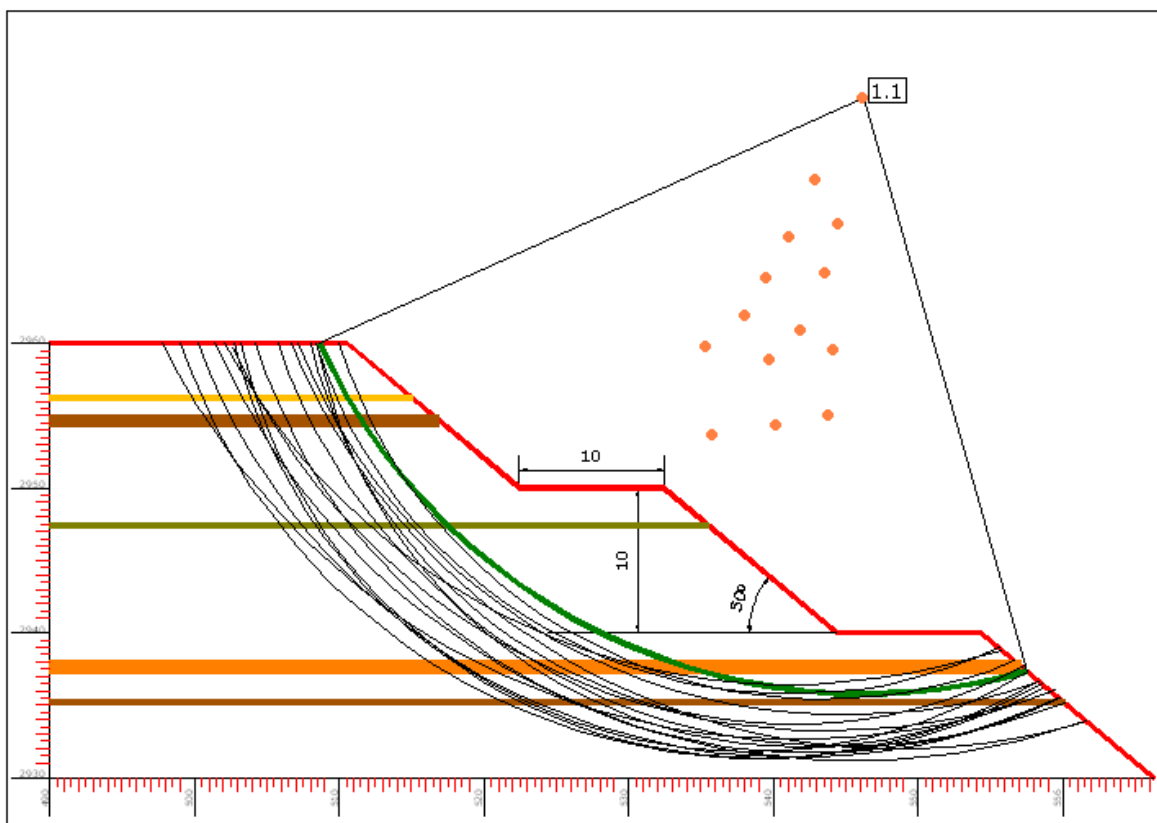


Figura 7. Superficies críticas para la geometría 3 en condición parcialmente saturada y sismo de 0.2g.

A partir de todos estos resultados obtenidos, se plantean las conclusiones y recomendaciones de este estudio, que son las siguientes.

6 Recomendaciones geotécnicas

Se recomienda inicialmente, para la explotación de la mina la geometría 2 para taludes finales, que consiste en taludes parciales con altura máxima de 10m, inclinación de 45° y bermas de 10 metros de ancho, lo que arroja una inclinación general de 27° . Se debe tener en cuenta que esta geometría puede variar en la medida que avance el proceso de explotación porque se espera mejorar en el conocimiento de las características litológicas y geotécnicas de los materiales. Por otra parte, para los taludes de avance de la explotación se recomienda la geometría 3, con alturas de 10m, 50° de inclinación y bermas de 10m de ancho.

Según los resultados de los análisis geotécnicos efectuados, se recomienda, inicialmente, dejar una distancia horizontal mínima de 55 metros desde el borde del talud superior de la explotación hasta las fuentes de agua intermitentes u obras de infraestructura que no sean susceptibles de relocalización. En la siguiente figura, se muestra, para la geometría 2 la distancia recomendada.

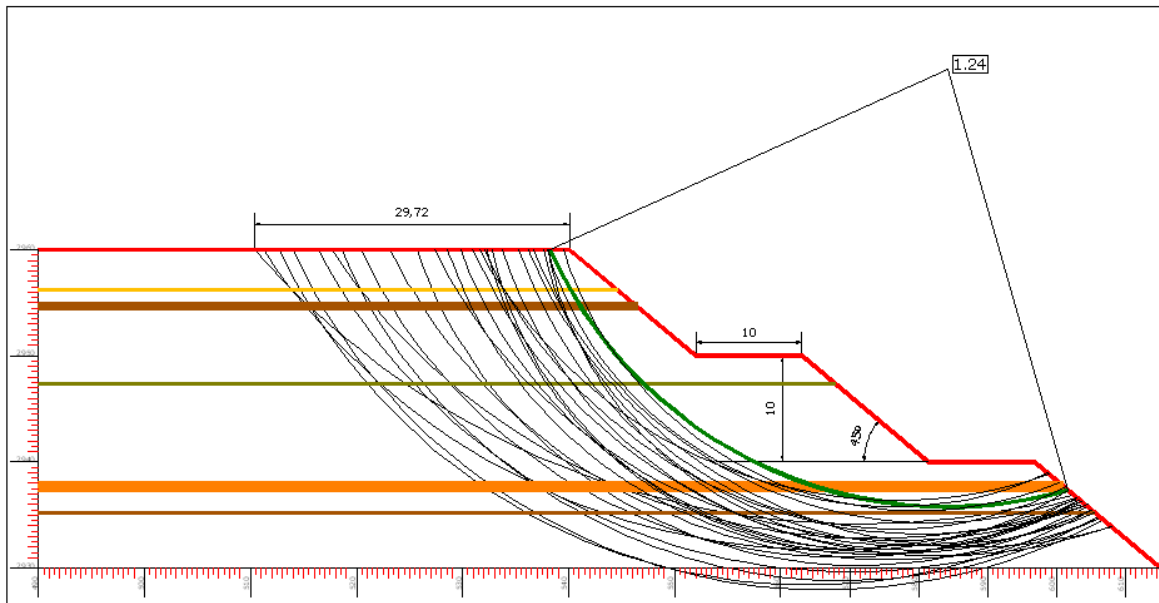


Figura 8. Distancia mínima recomendada para talud final a cualquier obra civil o cause de quebrada aledaña.

Este criterio, se establece basados en que el factor de seguridad por fenómenos de remoción en masa en las condiciones críticas sea superior a 1.5, por fuera de la distancia recomendada. A medida que se conozca el comportamiento geotécnico del depósito, con el avance de la explotación, esta distancia y geometría del talud se podrá revisar y modificar.

Por la naturaleza de este tipo de depósito, intercalaciones de arenas, gravas y arcillas, es importante mantener un sistema de drenaje de aguas superficiales adecuado, ya que debido a las características de los materiales, es posible que se presenten fenómenos de erosión concentrada localizada que podría inestabilizar los taludes y hacer que los análisis aquí presentados no sean representativos.

Esto quiere decir que se puede mantener la geometría que se recomienda mientras se controlen las aguas superficiales en los taludes. Este control se logrará mediante la construcción de cunetas en la base de los taludes parciales. Cuando sea un talud final estas cunetas, se recomiendan que sean revestidas con una lechada de cemento y se haga mantenimiento con buena periodicidad



Para los taludes temporales o finales de cierre de la explotación para el sector 3 de explotación, es indispensable construir cunetas de coronación, de profundidad tal que corten todo el espesor de la capa de humus. El piso de esta cuneta irá revestido con lechada de cemento.

Anualmente o cuando haya cambios significativos en el modelo geológico, se realizará una revisión, evaluación y formulación de recomendaciones sobre las condiciones geotécnicas de la explotación, para ser introducidas y realizar los ajustes y actualizaciones al presente diseño geométrico, de conformidad con el avance de la explotación y el conocimiento de los parámetros y condiciones geotécnicas, se realizarán las modificaciones correspondientes relacionadas con la geometría de los taludes.

Finalmente, a partir de información secundaria, se recomienda, de manera preliminar, que taludes de los rellenos que se propongan para el desarrollo de la explotación, mantengan un ángulo general del orden de 27° . Esto se refiere específicamente al diseño Fase I de diques, para piscinas de lodos, o de zonas de depósito de estériles. Para la fase de diseño final y construcción de estas obras, es necesario hacer las caracterizaciones geotécnicas de los materiales y los estudios locales a que haya lugar.

Rocas y Minerales Ltda.
Septiembre de 2008.