ROCAS Y MINERALES LTDA
Ingenieros Consultores

CEMEX CONCRETOS DE COLOMBIA S.A

CEMEX
COLOMBIA S.A.

INFORME DE EVALUACIÓN DE AMENAZA Y RIESGO POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA MINA LA FISCALA CEMEX

INFORME No 226

BOGOTA D.C., AGOSTO DE 2004

CARRERA 16ª No.78-75 Oficina 701. Teléfono No. 6 36 42 49. 6 36 44 43 BOGOTA D.C.

rym@telecom.com.co ó rocasyminerales@yahoo.com

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 1

2 EVALUACIÓN DE AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA 1

2.1 Metodología 1
2.1.1 Parámetros geomecánicos 3
2.1.2 Distribución de probabilidad de c´y ϕ' 4
2.1.3 Distribución de probabilidad de eventos detonantes 5
2.1.3.1 Presión de poros 5
2.1.3.2 Aceleración horizontal 6
2.1.4 Cálculo de la probabilidad de falla 7
2.1.5 Probabilidad conjunta de c´y tanϕ' 8

2.2 Evaluación bajo condiciones naturales presentes y a las que pueda estar expuesto el proyecto. 8

3 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA 11

3.1 Descripción física del área de influencia directa de la Mina 11
3.1.1 Talud Oriental – Av. Caracas: 12
3.1.2 Talud Sur – Barrio La Aurora 13
3.1.3 Talud Occidental – Río Tunjuelo: 14
3.1.4 Talud Norte - Mina: 14

3.2 Identificación de elementos expuestos 14
3.2.1 Talud Oriental: 15
3.2.2 Talud Sur: 16
3.2.3 Talud Occidental: 16
3.2.4 Talud Norte: 16
3.2.5 Población afectada: 17

3.3 Análisis de vulnerabilidad 17
3.3.1 Evaluación de daños 18
3.3.2 Evaluación de Vulnerabilidad: 21
3.3.2.1 Vulnerabilidad física 21
3.3.2.2 Vulnerabilidad funcional 23

4 EVALUACION DE RIESGO POR FALLA DE TALUDES MINEROS 25

4.1 Evaluación del riesgo. 25

5 PLAN DE MEDIDAS DE MITIGACION DEL RIESGO. 26

5.1 Consideraciones Generales 26

5.2 Plan General de Acciones 27
5.2.1 Acciones y Medidas Preventivas 27
5.2.2 Medidas de Mitigación 28

6 EVALUACIÓN DE RIESGOS PARA EL ESCENARIO CON MEDIDAS DE MITIGACIÓN 29

6.1 Retrollenado del tajo de la mina: 29

6.2 Control drenaje en los taludes y canalización del río Tunjuelito 31

6.3 Control con drenaje junto con retrollenado de los tajos 31

7 DISEÑO DETALLADO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN SELECCIONADAS 32

8 CONCLUSIONES 32

9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No.1 Parámetros de resistencia consignados en el "Estudio de las Fases 2 y 3 del Tunjuelo de 1998"
Tabla No.2 Parámetros de resistencia de los materiales de la mina La Fiscala Memorandos de los años 2001 a 2003
Tabla No.3 Valores máximos, mínimos y promedio utilizados en los análisis
Tabla No.4 Valores de los parámetros de la distribución de probabilidades para c´ y ϕ'
Tabla No.5 Valores de los parámetros de la distribución de probabilidades para ru
Tabla No. 6 Probabilidades de las aceleraciones horizontales
Tabla No. 7 Probabilidad de falla para cada uno de los taludes analizados CONDICIÓN ACTUAL
Tabla No.8 Características generales de los elementos del sistema en estudio.
Tabla No 9 Costo de daño de vivienda por metro cuadrado
Tabla No.10 Costos por m^2 de pavimento
Tabla No.11 Costos por ml de redes
Tabla No.12 Costo reconformación de canales
Tabla No.13 Matriz de Vulnerabilidad Mina La Fiscala
Tabla No. 14 Probabilidad de falla para cada uno de los taludes analizados CONDICIÓN DE MITIGACIÓN
Tabla No. 15 Probabilidad de falla para cada uno de los
taludes analizados con construcción del canal, para aceleración horizontal de 0.2g
Tabla No. 16 Probabilidad de falla para cada uno de los taludes analizados con construcción del canal y retrollenado, para aceleración horizontal de 0.2g

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. 1 Relación entre los parámetros requeridos de resistencia
Figura No. 2 Probabilidad conjunta de c´ y ϕ´ para las arcillas
Figura No. 3 Probabilidad conjunta de c´ y ϕ´ para el conglomerado
Figura No. 4 Probabilidad conjunta de c´ y ϕ´ para el material de relleno
Figura No. 5 Probabilidad conjunta de c´ y ϕ´ para el material del contacto
Figura No. 6 Perfil Geológico-Geotécnico 1-1
Figura No. 7 Perfil Geológico-Geotécnico 2-2
Figura No. 8 Perfil Geológico-Geotécnico 3-3
Figura No. 9 Perfil Geológico-Geotécnico 4-4
Figura No. 10 Perfil Geológico-Geotécnico 5-5
Figura No. 11 Perfil Geológico-Geotécnico 6-6
Figura No. 12 Perfil Geológico-Geotécnico 7-7
Figura No. 13 Perfil 1 Sector Av Caracas superficie de falla crítica.
Figura No. 14 Perfil 1 Sector Río Tujuelito superficie de falla crítica
Figura No. 15 Perfil 2 Sector Sub-Estación (Barrio) Eléctrica superficie de falla crítica
Figura No. 16 Perfil 3 Sector Relleno La Aurora superficie de falla crítica
Figura No. 17 Perfil 5 Sector Patios de Acopio Cemex superficie de falla crítica
Figura No. 18 Perfil 6 Sector Lago Sedimentador superficie de falla crítica
Figura No. 19 Perfil 7 Sector Lago Sedimentador – Av Caracas superficie de falla crítica
Figura No. 20 Distribución de probabilidad conjunta de c y tanϕ. Talud Av. Caracas condición actual - arcilla
Figura No. 21 Distribución de probabilidad conjunta de c y tanϕ. Talud tunjuelo – arcilla
Figura No. 22 Distribución de probabilidad conjunta de c y tanϕ. Talud tunjuelo - contacto
Figura No. 23 Distribución de probabilidad conjunta de c y tanϕ. Perfil 2 – arcilla
Figura No. 24 Distribución de probabilidad conjunta de c y tanϕ. Talud Perfil 2 conglomerado
Figura No. 25 Distribución de probabilidad conjunta de c y tanϕ. Perfil 3 - relleno
Figura No. 26 Distribución de probabilidad conjunta de c y tanϕ. Perfil 5 - relleno
Figura No. 27 Distribución de probabilidad conjunta de c y tanϕ. Perfil 6 - relleno
Figura No. 28 Distribución de probabilidad conjunta de c y tanϕ. Perfil 7 – conglomerado
Figura No. 29 Variación de probabilidad requerida con la aceleración para la condición actual
Figura No. 30 Variación de la probabilidad de falla en 50 años con la aceleración para la condición actual
Figura No. 31 Factor de seguridad Vs cota de relleno Talud Av. Caracas
Figura No. 32 Factor de seguridad Vs cota de relleno Talud Río Tunjuelo
Figura No. 33 Factor de seguridad Vs cota de relleno Perfil 2
Figura No. 34 Factor de seguridad Vs cota de relleno Perfil 3
Figura No. 35 Factor de seguridad Vs cota de relleno Perfil 5
Figura No. 36 Factor de seguridad Vs cota de relleno Perfil 6
Figura No. 37 Distribución de probabilidad conjunta de c y tanϕ. Talud Av. Caracas condición de mitigación - arcilla
Figura No. 38 Distribución de probabilidad conjunta de c y tanϕ. Talud del Río Tunjuelo condición de mitigación - contacto
Figura No. 39 Distribución de probabilidad conjunta de c y tanϕ. Talud perfil 2 condición de mitigación
Figura No. 40 Distribución de probabilidad conjunta de c y tanϕ. Talud perfil 3 condición de mitigación
Figura No. 41 Distribución de probabilidad conjunta de c y tanϕ. Talud perfil 5 condición de mitigación
Figura No. 42 Distribución de probabilidad conjunta de c y tanϕ. Talud perfil 6 condición de mitigación - relleno
Figura No. 43 Variación de Probabilidad requerida con la altura de la cota para la solución de mitigación de retrollenado del tajo.
Figura No. 44 Variación de Probabilidad de falla en 50 años con la altura de la cota para la solución de mitigación de retrollenado del tajo.
Figura No. 45 Variación de Probabilidad de falla en 50 años con la aceleración para la solución de control de drenaje.
Figura No. 46 Variación de Probabilidad de falla en 50 años con la altura de la cota para la solución de control de drenaje.

ÍNDICE DE PLANOS

Plano No.1 Plano Topográfico a Junio de 2004. Escala 1: 2000
Plano No.2 Plano de Zonificación de Amenaza. Escala 1: 2000
Plano No.3 Plano de Mitigación . Escala 1: 2000

INFORME DE EVALUACIÓN DE AMENAZA Y RIESGO POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA MINA LA FISCALA CEMEX

1 INTRODUCCIÓN

Este informe contiene los resultados de los análisis probabilísticos para la evaluación de los fenómenos de remoción en masa en los taludes de la mina la Fiscala de propiedad de Cemex S.A. El informe hace parte de la respuesta al requerimiento efectuado a Cemex por parte del Ministerio del Medio Ambiente. Para su elaboración se siguieron los términos de referencia del DPAE en la resolución 364 de 2000 correspondientes a los capítulos de evaluación de amenaza y riesgo, ampliando lo referente al cálculo de probabilidades de falla. A continuación, se expone la metodología y los resultados obtenidos de los diferentes análisis efectuados.

2 EVALUACIÓN DE AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

2.1 Metodología

A continuación se presenta la metodología adoptada, incluyendo algunas modificaciones a la sugerida por el DEPAE en la resolución 364 de 2000.

La evaluación del riesgo incluye la valoración de la amenaza, H, entendida en este caso como la probabilidad de que se presente la falla del talud en un período de 50 años y en una extensión determinada del terreno. En otras palabras, para un mismo talud se tendrán diferentes valores de la amenaza para las diferentes superficies de falla que se consideren.
En el análisis convencional de taludes, se busca la superficie de falla que conduzca al mínimo factor de seguridad. Esa superficie crítica llevará, en el análisis probabilístico, a la máxima probabilidad de falla.
De acuerdo con las anteriores definiciones, la amenaza a que está sometido un elemento en riesgo es igual a la probabilidad de que el talud colapse a lo largo de la mínima superficie de falla que lo contenga. El trabajo debe proseguir con la identificación detallada de los elementos en riesgo.

En este estudio sólo se consideran construcciones, obras de infraestructura, instalaciones y servicios, fácilmente identificables y susceptibles de valoración objetiva. En otras palabras, se evaluará la vulnerabilidad física. Sobre otros elementos en riesgo como los seres humanos y los objetos ambientales, invaluables por su propia naturaleza, especialmente las personas, sólo se harán evaluaciones conceptuales cualitativas. Otras consecuencias de las amenazas, como las quejas y reclamos de los afectados, y las posibles demandas y pleitos jurídicos, sólo serán mencionados sin mayor detalle sobre posibles costos y

consecuencias. El estudio, entonces, será muy conceptual y cualitativo sobre los riesgos corporales y sobre los riesgos funcionales.

Cada elemento en riesgo se caracteriza por un costo, C, y por una vulnerabilidad, V. Por V se entiende el grado de daño, en una escala de 0 a 1, que presentaría el elemento en riesgo en caso de que la amenaza ocurriera efectivamente. En este estudio solamente se consideran los elementos en riesgo ubicados en las coronas de los taludes de la mina, pues la parte interior se planea rellenar, de acuerdo con los planes y previsiones de CEMEX S. A. Por este motivo, y para este caso particular, la vulnerabilidad de los elementos en riesgo es igual a la unidad, 1, porque si se presenta el deslizamiento, el elemento sería inevitablemente destruido o inutilizado al ser transportado a otro lugar.

El riesgo, R, no es otra cosa que el producto de la amenaza H por la sumatoria de las vulnerabilidades multiplicadas por los costos, de todos los elementos en riesgo:

$$R = H\left(\sum_{i=1}^{n} V_i C_i\right) \qquad (1)$$

Todo lo anterior lleva implícita la idea de que la probabilidad de falla es igual a la probabilidad de que el Factor de seguridad, Fs, del talud sea menor o igual a la unidad a lo largo de una superficie de falla determinada.

La amenaza H se calculará como la probabilidad de que los parámetros de resistencia sean menores que los requeridos para garantizar la estabilidad del talud ante unas acciones de determinada magnitud, multiplicada por la probabilidad de que la magnitud de esas acciones sea mayor que la magnitud referida.

La evaluación de la amenaza H, para una determinada magnitud de las acciones y para una determinada superficie de falla, se hace encontrando la relación entre los parámetros de resistencia requeridos para garantizar el equilibrio de la masa limitada por esa superficie de falla. Estas ideas se ilustran en la Figura 1.
La amenaza H, será, entonces, la probabilidad conjunta de que c' y ϕ' estén por debajo de la línea AB de la Figura 1, multiplicada por la probabilidad de que las acciones sean mayores que las de la línea AB.

Para este estudio se consideran como acciones: el peso de la masa deslizante, el peso de los elementos ubicados sobre esa masa, las fuerzas del agua y las fuerzas sísmicas. Las dos primeras se consideran como variables

determinísticas y las dos últimas como probabilísticas. Por ese motivo, también se conocen como agentes detonantes.

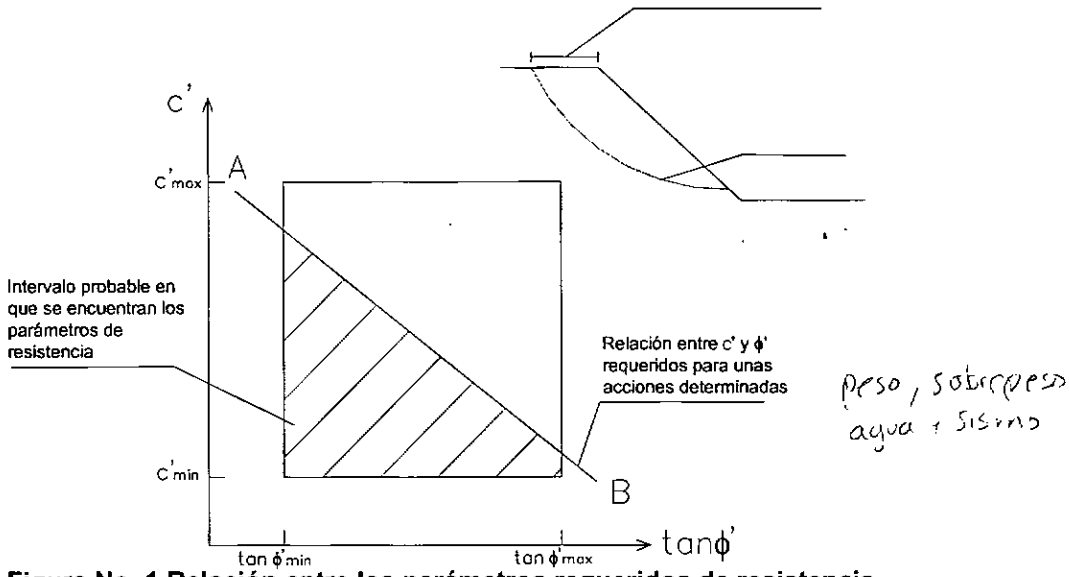


Figura No. 1 Relación entre los parámetros requeridos de resistencia.

A continuación se presentan los parámetros utilizados para la evaluación de H.

2.1.1 Parámetros geomecánicos

A partir de los estudios geotécnicos que Rocas y Minerales Ltda. ha desarrollado en las minas de agregados del cono del Tunjuelo, en los cuales se han realizado ensayos de laboratorio y análisis retrospectivos, se ha podido caracterizar desde el punto de vista de la resistencia geomecánica los diferentes materiales involucrados en la estabilidad de los taludes. En las Tablas Nos. 1 y 2 se presenta un resumen de valores utilizados, que son el resultado de 14 años de experiencia en este sector de Bogotá.

Tabla No.1 Parámetros de resistencia consignados en el "Estudio de las Fases 2 y 3 del Tunjuelo de 1998"

Arcillas		Limos		Conglomerado		Turbas		Arenas		Rellenos	
c´ (t/m²)	ϕ (grad)	c´ (t/m²)	ϕ (grad)	c´ (t/m²)	ϕ (grad)	c´ (t/m²)	ϕ (grad)	c´ (t/m²)	ϕ (grad)	c´ (t/m²)	ϕ (grad)
2.50	23.00	0.30	15.50			0.50	15.50			2.00	14.50
2.50	27.00			2.50	40.00	0.80	14.60			2.00	32.00
0.50	30.50			35.00	42.00	0.76	12.70		?	66.00	36.00
0.50	24.40					0.50	15.50			2.20	22.30
0.70	21.00									2.00	14.50
1.25	22.10										
3.20	16.00										
1.90	22.35										
0.00	18.50										
0.50	27.00										
3.60	18.00										

Tabla No.2 Parámetros de resistencia de los materiales de la mina La Fiscala. Memorandos de los años 2001 a 2003

Arcillas		Limos		Conglomerado		Turbas		Arenas		Rellenos		Relleno - Aurora	
c´ (t/m²)	ϕ (grad)	c´ (t/m²)	ϕ (grad)	c´ (t/m²)	ϕ (grad)	c´ (t/m²)	ϕ (grad)	c´ (t/m²)	ϕ (grad)	c´ (t/m²)	ϕ (grad)	c´ (t/m²)	ϕ (grad)
1	24			30	42								
						2.00	15.00					0.7	28
						1.00	12.00					1	30
1.00	15.00			30.00	42.00	1.00	15.00					0	31
				2.20	35.00							0.8	29
				2.00	30.00							1.9	30
2.00	18.00	3.00	22.00	20.00	35.00	2.00	18.00					1.8	16
2.47	18.00			20.00	35.00	1.50	15.00					1	24
										1.22	25.00		
2.00	18.00	3.00	22.00	20.00	35.00	2.00	18.00			3.00	22.00		
								1.00	20.00				

Para el análisis probabilístico, a partir de los anteriores valores, se definen los rangos de variación de los valores de c' y ϕ', y los valores de media, desviación estándar y los valores máximos y mínimos (ver Tabla 3).

Tabla No.3 Valores máximos, mínimos y promedio utilizados en los análisis

Material	c'_{max} (KN/m²)	c'_{min} (KN/m²)	$c'_{promedio}$ (KN/m²)	ϕ'_{max} (grados)	ϕ'_{min} (grados)	$\phi'_{promedio}$ (grados)	γ_t (KN/m³)
Arcilla, Turbas y Limos	39.24	4.905	14.71	27	8	15	14.71
Conglomerado	392.4	19.62	196.2	48	30	35	23.54
Relleno	40	9.81	24.5	35	10	23	15
Roca meteorizada	200	20	100	30	10	18	17.62
Arena	0	0	0	28	20	25	18
Relleno Escombros	18.64	0	10.10	31	16	27	16.68
Roca			300			45	25

2.1.2 *Distribución de probabilidad de c´y ϕ´*

Para los parámetros de resistencia se usó la distribución de probabilidades beta que permite "acotar" una variable aleatoria entre dos fronteras o límites a y b. Esta distribución tiene la siguiente expresión:

$$f(x) = \frac{1}{B(\alpha,\beta)} x^{(\alpha-1)}(1-x)^{(\beta-1)} \qquad 0 \le x \le 1 \qquad (2)$$

$$f(x) = 0 \qquad \textit{de otra manera}$$

con la media, representada por la esperanza:

$$E(x) = \frac{\alpha}{\alpha+\beta} \qquad (3)$$

y varianza

$$\text{var}(x) = \frac{\alpha\beta}{(\alpha+\beta)^2 + (\alpha+\beta+1)} \quad (4)$$

donde x representa una variable aleatoria que varia entre 0 y 1. Para aplicar esta función en una variable con límites entre a y b es ventajoso para el cálculo adimensionar dicha variable.

En la Tabla No.4 se muestran los parámetros utilizados para definir la distribución beta de probabilidad.

Tabla No.4 Valores de los parámetros de la distribución de probabilidades para c´ y ϕ´

Material	α	β	$c'_{promedio}$ (KN/m^2)	var(c') (KN/m^2)	α	β	$\phi'_{promedio}$ (grados)	var(ϕ') (grados)
Arcilla, Turbas y Limos	4	10	14.71	4	4	7	15	3
Conglomerado	6	6.8	196.2	50	1.7	5.7	35	5
Relleno	4	4.1	24.5	8	5	5.5	23	5
Roca meteorizada	6	7.5	100	20	3.7	6	18	3

2.1.3 Distribución de probabilidad de eventos detonantes

Como eventos detonantes de la inestabilidad se tienen: la presión de poros, debida al flujo o a la presencia de agua en los materiales, y la aceleración horizontal producida por sismos.

2.1.3.1 Presión de poros

Para los análisis de estabilidad, la presión de poros se tuvo en cuenta por medio del parámetro *ru* definido como:

$$ru = \frac{u}{\sigma_t} \quad (5)$$

en donde:

u: presión de poros de un punto n
σ_t: esfuerzo total al nivel del punto n

¿Piezómetros?

En este estudio, a partir de observaciones de campo, se evaluaron los intervalos de variación de ru para los diferentes materiales. Además se

estableció el promedio y la desviación estándar de este parámetro según la ubicación del talud en el perfil de análisis de la mina.

Para evaluar este parámetro se usó la misma función de distribución de densidad de probabilidad que para los parámetros c' y ϕ'. Los resultados para el parámetro ru se consignan en la siguiente tabla.

Tabla No.5 Valores de los parámetros de la distribución de probabilidades para ru

Tipo de Talud	ru_{max}	ru_{min}	$ru_{promedio}$	var(ru)	α	β	Probabilidad de que ru sea mayor que el $ru_{promedio}$
Perfiles Saturados	0.25	0	0.125	0.075	2	2	0.5
Perfiles Semisecos	0.1	0	0.05	0.01	10	10	0.5

2.1.3.2 Aceleración horizontal

La aceleración máxima horizontal utilizada como se señala en los documentos del Distrito, es aquella que tiene una probabilidad de 0.10 en 50 años. Para este caso, esa aceleración corresponde a una de 0.20 g. Por tal motivo, se evaluaron los siguientes valores de aceleración: 0 g, 0.10 g y 0.20 g.

Para estos eventos sísmicos, la probabilidad de excedencia es la probabilidad de que se presente una aceleración horizontal mayor o igual a un valor dado en un periodo de tiempo determinado. Para este estudio, se calculó la probabilidad de excedencia, en 50 años, de los valores de aceleración horizontal ya mencionados, utilizando las tablas y la metodología propuesta por INGEOMINAS y el decreto 364 del DPAE del año 2000.

Debido a que este fenómeno se estudia como el número de veces que se repite un sismo con una aceleración dada en un intervalo de tiempo, la probabilidad de excedencia utiliza una distribución de probabilidades discreta como la de Poisson. Así, la probabilidad de que se presente un sismo con una aceleración horizontal, a, mayor o igual a a_o está dada por

$$P_{(a>a_0 en 50 años)} = 1 - e^{\frac{50 años}{T}} \qquad (6)$$

Donde T es el periodo de retorno de un sismo con aceleración horizontal de a_0. Para la lectura de estos periodos de retorno se utilizó el documento de INGEOMINAS de la Micro zonificación Sísmica de Bogotá. En la siguiente tabla, se consignan las probabilidades de las diferentes aceleraciones horizontales para un periodo de análisis de 50 años.

Tabla No. 6 Probabilidades de las aceleraciones horizontales

Aceleraciones horizontales	Probabilidad de que se exceda dicha aceleración en 50 años
0.0g	1.00
0.1g	0.63
0.2g	0.10

Se ha tomado un periodo de estudio o de diseño de 50 años ya que se espera que durante este lapso de tiempo, e inclusive en menos tiempo, se lleve a cabo el plan de manejo ambiental estipulado para la mina. Además, si se toma un periodo de estudio menor, como se observa en la Ecuación 6, la probabilidad de excedencia de las aceleraciones horizontales es menor que las estimadas en la Tabla No.6.

2.1.4 Cálculo de la probabilidad de falla

Para determinar la superficie de falla mas crítica se utilizaron los valores promedio del parámetro ru y los de los parámetros de resistencia c' y ϕ', para la aceleración horizontal máxima. Posteriormente, se procedió a generar curvas $c'_{requerido}$ vs. $\phi'_{requerido}$ para establecer el equilibrio, esto quiere decir para que el talud tenga un Fs igual a 1.0.

Con estas curvas, es posible calcular la probabilidad conjunta de c' y ϕ', lo que en otras palabras, es la probabilidad de que c' y ϕ' sean menores que los requeridos para establecer el equilibrio. Así, bajo la hipótesis de que c' y ϕ' son variables independientes, la probabilidad de que la cohesión (c') sea menor que la cohesión requerida (c'_r) y de que la fricción (ϕ') sea menor que la fricción requerida (ϕ'_r) para establecer el equilibrio, dados un ru y una aceleración horizontal, a_h, es

$$p(c' \le c'_r \text{ y } \phi' \le \phi'_r) = p(c' \le c'_r)p(\phi' \le \phi'_r) \quad (7)$$

donde:

$p(c' \le c'_r)$: probabilidad de que la cohesión (c') sea menor de la cohesión requerida (c'_r) para alcanzar el equilibrio

$p(\phi' \le \phi'r)$: probabilidad de que la fricción (ϕ') sea menor de la fricción requerida (ϕ'_r)

Este producto conduce a una matriz de datos a partir de la cual es posible generar una superficie de probabilidades en 3D, para cada material, como se

observa en las Figuras Nos. 2, 3, 4 y 5 para la arcilla, el conglomerado, el relleno y el contacto con roca del Terciario respectivamente.

Ahora bien, el volumen formado por la intersección entre la superficie generada por la Ecuación 7 y el plano $c'_{requerido}$ vs. $\phi'_{requerido}$ es la probabilidad de que los parámetros c' y ϕ' sean menores o iguales a los requeridos para establecer el equilibrio dados un ru y una a_h. Este valor de probabilidad no tiene en cuenta el carácter probabilístico de las variables ru y a_h.

Por último, considerando el carácter probabilistico de ru y a_h y las variables del problema (c', ϕ', ru y a_h) como independientes, se tiene que la probabilidad de falla es

$$P(falla) = P(c' \le c'_r \text{ y } \phi' \le \phi'_r)\, P(ru \ge \overline{ru})\, P(a \ge a_0 \text{ en } 50 \text{ años}) \quad (8)$$

donde:

P($ru \ge \overline{ru}$): probabilidad de que el valor de ru sea mayor o igual del ru promedio.
P($a \ge a_o$): probabilidad de que el valor de la aceleración de análisis a sea mayor o igual a a_o en un periodo de diseño 50 años.

2.1.5 *Probabilidad conjunta de c'y tanϕ'*

En las Figuras Nos. 2 a 5, se presentan los resultados de las probabilidades conjuntas de c' y $tan\phi'$ para los materiales que influyen de manera importante en la estabilidad de los taludes.

2.2 *Evaluación bajo condiciones naturales presentes y a las que pueda estar expuesto el proyecto.*

Para la evaluación de la amenaza por procesos de remoción en masa, se realizaron siete (7) cortes geológico-geotécnicos con el fin de abarcar todos los taludes de la mina y así mismo poder estudiar las probabilidades de falla en los sectores de la infraestructura que la rodea.

A continuación se hace un listado de los taludes estudiados y la infraestructura que se vería afectada en cada caso. La ubicación de cada perfil en planta se muestra en el Plano No.1.

a. Perfil 1 (Figura No.6): este perfil corresponde a un corte geológico – geotécnico de toda la mina, de oriente a occidente. Por medio de él, se analizaron las probabilidades de falla de la Avenida Caracas y del río Tunjuelito.

b. Perfil 2 (Figura No.7): con este perfil, se estimó la amenaza en el barrio la Aurora y de la Subestación de Energía.
c. Perfil 3 (Figura No.8): se realizó este perfil para evaluar la probabilidad de falla en el sector del antiguo relleno de escombros de la Aurora. Allí funciona actualmente un parqueadero de los alimentadores de Transmilenio.
d. Perfil 4 (Figura No.9): en este perfil se estudió la probabilidad de falla por fenómeno de remoción en los taludes del Río Tunjuelito al sur.
e. Perfil 5 (Figura No.10): se estudió este perfil para evaluar la necesidad o no de relocalizar algunas instalaciones de Cemex (Acopios de pilas de materiales).
f. Perfiles 6 y 7 (Figuras Nos.11 y 12): los análisis de estos dos perfiles están relacionados porque en el eventual momento de falla del talud del perfil 6, se genera un desembalse rápido que podría afectar la Av. Caracas, analizada por medio del perfil 7.

En las Figuras Nos. 13 a 19 se presentan, las superficies potenciales de falla. A partir de estas superficies de falla se realiza el análisis probabilístico para encontrar la probabilidad de falla.

Como en un mismo perfil se tienen diferentes materiales, se evaluó adicionalmente la incidencia de cada material en la estabilidad. Esto se hizo variando las propiedades de cada uno de los materiales y determinando con cual de ellos se obtenía la mayor probabilidad de falla.

Finalmente, para obtener la probabilidad conjunta de los parámetros de resistencia, se asume que el ru sea mayor que el ru promedio y que la aceleración sea mayor que la indicada en 50 años, se realizaron los diagramas mostrados en las Figuras Nos. 20 a 28. El volumen bajo la superficie limitada por la línea de cada aceleración corresponde a la probabilidad de falla. Por ejemplo, en el caso del talud de la Avenida Caracas, la probabilidad de falla para una aceleración de 0.10 g es la siguiente (aplicar la Ecuación 7):

Material determinante de la falla:		ARCILLA
		Probabilidad
$P(c' \leq c'_r$ y $\phi' \leq \phi'_r)$:	0.08	(Figura No. 19)
$P(ru \geq ru)$:	0.5	(Tabla No. 5)
$P(a \geq a_0$ en 50 años):	0.63	(Tabla No. 6)

Lo anterior arroja un valor de:

$$P_{falla} = 0.08 \times 0.50 \times 0.63 = 0.0252$$

En la Figura No.29 se muestra la variación de $P(c' \leq c'_r$ y $(\phi' \leq \phi'_r)$ con la aceleración horizontal, notándose la tendencia a aumentar la probabilidad de que c' y ϕ' sean menores que los requeridos para alcanzar el equilibrio al aumentar la aceleración. En la Figura No.30 se muestra la variación de la

probabilidad de falla en 50 años con la aceleración horizontal, donde no se observa una tendencia con la aceleración, debido a que, para un periodo de tiempo dado, es más improbable la ocurrencia de un sismo con alta aceleración que uno con baja aceleración, como se observa en la Tabla No.6.

En la Tabla No. 7 se consignan los resultados de las probabilidades de falla de cada talud, indicando cuál de los materiales interviene de manera importante en la estabilidad.

Tabla No. 7 Probabilidad de falla para cada uno de los taludes analizados CONDICIÓN ACTUAL

Perfil	ru	a_h	Material por el que falla	$P(c' \leq c'_r$ y $\phi' \leq \phi'_r)$	$P(ru \geq ru)$	$P(a \geq a_h$ en 50 años)	Probabilidad de falla
Perfil 1 Caracas	0.05	0	Arcilla	0.000	0.5	1.00	0.0000
		0.1		0.080	0.5	0.63	0.0252
		0.2		0.870	0.5	0.10	0.0435
Perfil 1 Tunjuelo	0.125	0	Arcilla	0.000	0.5	1.00	0.0000
		0.1		0.340	0.5	0.63	0.1071
		0.2		0.980	0.5	0.10	0.0490
Perfil 1 Tunjuelo	0.125	0	Contacto Ter	0.020	0.5	1.00	0.0100
		0.1		0.980	0.5	0.63	0.3087
		0.2		1.000	0.5	0.10	0.0500
Perfil 2, Aurora	0.05	0	Arcilla	0.000	0.5	1.00	0.0000
		0.1		0.001	0.5	0.63	0.0002
		0.2		0.470	0.5	0.10	0.0235
Perfil 2	0.05	0	Conglomerado	0.000	0.5	1.00	0.0000
		0.1		0.000	0.5	0.63	0.0001
		0.2		0.220	0.5	0.10	0.0110
Perfil 3	0.05	0	Relleno	0.000	0.5	1.00	0.0000
		0.1		0.014	0.5	0.63	0.0044
		0.2		0.320	0.5	0.10	0.0160
Perfil 5	0.125	0	Relleno	0.004	0.5	1.00	0.0020
		0.1		0.130	0.5	0.63	0.0410
		0.2		0.570	0.5	0.10	0.0285
Perfil 6	0.125	0	Relleno	0.000	0.5	1.00	0.0000
		0.1		0.000	0.5	0.63	0.0000
		0.2		0.410	0.5	0.10	0.0205

De estos resultados, se tienen los siguientes comentarios generales:

- Como se esperaba, la arcilla juega un papel importante en la estabilidad de los taludes. Esto se comprueba en la medida en que es el material por el que fallarían la mayoría de los taludes que están conformados por material in situ.
- En general, las probabilidades de falla para la mayoría de los taludes en la condición actual (sin incluir el del río Tunjuelito) están por debajo de 0.11.

- El sector más crítico corresponde al del río Tunjuelito ya que allí se presenta una probabilidad de falla de 0.31 para una aceleración de 0.1g. Debido a este resultado, y teniendo en cuenta que la geometría del contacto entre materiales en este sector no se ha determinado de manera precisa. Con geofísica se debe precisar la localización y geometría del contacto entre el terciario, el cono del Tunjuelo y el depósito glaciar contenidos en el perfil geológico-geotécnico 1.
- La probabilidad de falla para la Avenida Caracas está por debajo de 0.05.
- En el Perfil 7 se analizó el desembalse rápido. La conclusión de los análisis de este perfil llevan a que los taludes en la mina pueden fallar sin afectar la Caracas debido a que esta se encuentra apoyada en areniscas del terciario como se muestra en la Figura 12
- En estos análisis no se incluyó los resultados de estabilidad del perfil 4 por ser más favorable la condición de estabilidad que la del perfil 1 del costado del río Tunjuelito, por lo que se esperan menores probabilidades de falla de este sector.

3 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA

La evaluación de la vulnerabilidad se enfoca a establecer o valorar los posibles daños sobre la infraestructura de la ciudad y la afectación a la comunidad, que se puedan llegar a presentar ante la ocurrencia de la falla de los taludes que conforman el área minera de la Fiscala.

En los capítulos anteriores se caracteriza la amenaza a nivel de probabilidad de falla así como su magnitud y espacialidad, entendida esta última como la delimitación física del área posible de falla de los taludes actuales que conforman la mina. Para cada uno de los sectores o taludes se establece la vulnerabilidad asociada y por consiguiente la valoración de riesgo.

La vulnerabilidad de un sistema, en este caso el sistema mina - ciudad, se puede discriminar en vulnerabilidad física, corporal y funcional. Para este estudio la vulnerabilidad física se valora de manera cuantitativa mediante la evaluación de los costos de daño de los diferentes elementos expuestos, y la vulnerabilidad corporal y funcional se abordará de manera cualitativa definiendo el tipo de afectación.

3.1 Descripción física del área de influencia directa de la Mina

La Mina la Fiscala esta localizada sobre el cono del Tunjuelo y esta delimitada geográficamente en el oriente por la Avenida Caracas o antigua carretera a Usme, por el Occidente por un tramo de río Tunjuelo y por la Avenida Boyacá,

por el Sur con un el barrio La Aurora y el relleno del mismo nombre y por el Norte por los patios de maniobras de la mina. (Ver Plano No.1)

Ambientalmente se establece que el área de influencia de la mina La Fiscala está asociada a la actividad extractiva en cuyo proceso ha modificado el paisaje del área a las condiciones imperantes hoy en día con la perdida de toda cobertura vegetal y con la modificación de la red de drenaje del área, implicando de manera local la destrucción total del ecosistema río. La modificación de la red de drenaje va desde el cambio de curso del río Tunjuelo y sus afluentes hasta la canalización de los mismos cuerpos de agua. De hecho la ruptura del cauce del río, aguas abajo, y la consecuente inundación de las minas configuran que el ecosistema del río Tunjuelo a la altura de las áreas de explotación sea nulo.

Adicionalmente, tanto la corriente del río Tunjuelo como sus afluentes reciben grandes cargas de contaminantes, especialmente por descargas de aguas residuales, como es el caso del sector del barrio la Aurora donde la red de alcantarillado descarga sus aguas al canal recolector existente. En conclusión el valor ecológico del cauce y su ronda es muy bajo en cuanto a fauna, flora y calidad de agua, limitando su valor a la necesidad de continuidad del canal hidráulico para el manejo de la escorrentía y mitigar el efecto sobre los cambios geomorfológicos del cauce aguas arriba y aguas abajo del sector afectado.

Bajo el anterior contexto geográfico, a continuación se describen los elementos de la infraestructura urbana que se encuentra en el área de influencia directa de la mina y que en primera instancia deben ser considerados como elementos del sistema en riesgo. La Tabla No.8 muestra las características generales de los elementos del sistema en estudio.

A continuación se hace una descripción por cada límite geográfico de la mina:

3.1.1 Talud Oriental – Av. Caracas:

Infraestructura: Se encuentran hacia el Norte al frente del acceso a la mina las instalaciones de la Ladrillera Santa Fe, correspondiendo a patios de acopio y áreas de aislamiento. Siguiendo hacia el Sur se encuentran las instalaciones de la fábrica de vidrios y mucho más al Sur encontramos las instalaciones del portal de Usme perteneciente al sistema de Transmilenio.

Líneas vitales: El límite físico de esta zona lo conforma la Avenida Caracas, considerada como una vía arteria, definida como una vía de un carril de 8 a 10 m de ancho. En la actualidad y con la implementación del sistema Transmilenio hacia el costado norte de la mina, la vía funciona en dos sentidos

Tabla No.8 Matriz de elementos del sistema Mina La Fiscala - Ciudad

		ZONA				CARACTERISITCAS										
COMPONENTE	Descripción	E	W	N	S	b	Φ	L	A	Material	Funcionalidad	Estado	Pob. Servida			
						m	pulg	m	m2				Manz.	Barrio	Sector	Localidad.
Av. Caracas	Vía Arteria	X				8-10	-	190-270	-	Pav. Flexible	Movilidad entre localidades	Aceptable				X
Acueducto	Red matriz	X				-	20	190-270	-	-	Abastecimeinto a nivel de sector y localida	Aceptable				X
Acueducto	Red de distribución	X				-	3	190-270	-	Asbesto cemento - PVC	Abastecimiento a nivel de barrio y sector	Aceptable			X	
Alcantarillado pluvial	Pozos y redes	X			X	-	36	66	-	Concreto	Conducción aguas lluvias	Aceptable		X		
Alcantarillado Sanitario	Pozos y redes				X	-	8-20	50-600	-	Concreto	Conducción aguas servidas	Aceptable		X		
Quebrada Sta. Librada	Canal	X				-	-	190	5,42	Concreto	Escorrentía cuenca Q. Sta. Librada	Aceptable			X	
Edificaciones	Vivienda Básica				X	-	-	-	60	Mamposteria	Vivienda familiar	Aceptable	X			
Cra. 27 - Tr. 31-Cll.69	Vía interna				X	4-30	-	80-300	-	Pav. Flexible	Acceso local al barrio	Aceptable	X			
Acueducto	Red interna				X	-	3	634	-	Asbesto cemento	Abastecimento B. La Aurora	Aceptable	X			
Sub. Energía	115 KW				X	-	-	-	-	-	Abastecimiento C. Bolivar	Bueno			X	
Relleno la Aurora	Relleno antrópico				X	-	-	-	200	Relleno Heterogeneo	Parqueadero	Aceptable		X		
Canal B. La Aurora	Canal				X	-	-	80	1,34	Concreto	Recolector de aguas lluvias	Aceptable			X	
Rio Tunjuelo	Canal		X			-	-	420	9,61	Natural	Escorrentía cuenca R. Tunjuelo	Aceptable			X	
Mina	Patios			X		-	-	-	-	Rellenos	Almacenamiento temporal materiales	Aceptable	-	-	-	-

87000

aproximadamente hasta la entrada del barrio Danubio y de este punto al Sur, la vía presenta un solo sentido de tránsito hacia el Sur.

A nivel de redes de acueducto, de manera paralela a la Avenida Caracas y a partir del acceso al barrio Danubio Azul, hacia el Sur, se encuentra construido un tramo de la línea matriz Vitelma - Monteblanco y una red de distribución de 3" de diámetro.

Igualmente se encuentra la red de alcantarillado conformada por pozos y redes de aguas lluvias la cual va paralela a la vía.

Componente natural: En este sector encontramos un drenaje canalizado a la altura de la estación de Transmilenio y corresponde a la quebrada Santa Librada, el cual trascurre en sentido nor occidente entrando al terreno de Cemex, un poco al noreste del talud de la mina hasta su entrega al río Tunjuelo.

3.1.2 Talud Sur – Barrio La Aurora

Edificaciones: Hacia esta zona la mina limita con el extremo Noreste de la Urbanización la Aurora, conformada por unidades de vivienda básicas de tres pisos, construidas en predios de 3 m de frente por 12 m de profundidad. El trazado Urbano contempla un acceso principal vehicular con áreas de parqueadero en la zona central y accesos peatonales.

La urbanización corresponde a un área planificada y consolidada que cuenta con todos los servicios públicos, las unidades de vivienda están construidas mediante el sistema de muros cargueros y presentan condiciones aceptables de habitabilidad.

El sector del barrio que limita con la mina esta compuesta por 5 manzanas con 60 a 30 unidades de vivienda por manzana. El límite físico con la mina lo define un muro construido de manera longitudinal en sentido E-W y al interior de la mina cerca al muro esta conformado un jarillon.

Líneas vitales: Los sistemas de acueducto y alcantarillado corresponden a redes internas de bajo diámetro. Las redes principales se encuentran en la parte alta de la zona.

El sistema de alcantarillado recoge las aguas lluvias y servidas y las entrega a un canal recolector que trascurre de manera paralela a la corona del talud minero del cierre Sur, en sentido Oriente – Occidente. Este canal entrega las aguas al río Tunjuelo en la parte interna de la mina.

De manera paralela al talud se encuentra instalada una red de energía de alta tensión que da servicio a la parte sur de Ciudad Bolívar. En la zona de influencia del talud la línea esta montada sobre monopolos metálicos que se alinean con la corona del talud.

Elemento Puntuales: Como elemento puntual se considera la estación de energía que se localiza en la esquina sur oriental de la mina, Subestación de Usme. La estación es de 115 KW y pertenece a la Empresa de Energía de Bogotá.

El relleno de la Aurora se considera como un elemento puntual que debe ser considerado como elemento vulnerable. El relleno se localiza en el extremo sur occidental de la mina.

3.1.3 Talud Occidental – Río Tunjuelo:

Componente natural: En esta zona la mina limita con la Avenida Boyacá, pero entre el talud minero y la Avenida se encuentra un tramo desviado del río Tunjuelo, que trascurre de manera paralela a la corona del talud minero. Por lo anterior como elemento vulnerable se considera el canal del río.

En este sector el canal esta conformado con una sección trasversal de 20 m de ancho y ha sido causa continua de monitoreo e intervención para control del cambio de nivel de base del cauce aguas arriba.

3.1.4 Talud Norte - Mina:

Infraestructura: Esta zona se localiza dentro de la mina y corresponde a áreas de patios de maniobras y de almacenamiento temporal de materiales.

Igualmente se encuentra el lago sedimentador que en su parte posterior se recuesta sobre la Avenida Caracas, este lago cumple una función especial dentro del tratamiento que se realiza al material explotado y como área de disposición de los residuos finos del proceso de trituración y lavado.

3.2 Identificación de elementos expuestos

Una vez establecido de manera general la infraestructura existente en el área de influencia directa de la mina la Fiscala y con base en la espacialización de la amenaza por falla de los taludes que configuran la mina, se definen los elementos expuestos o en riesgo por la falla de los mismos.

Los elementos que se definan como no expuestos a la falla del talud se consideran que presentan un grado de exposición 0 y por tanto no son vulnerables a la falla analizada.

Se considera como elemento expuesto aquellos elementos que se localizan directamente en la corona del talud actual y son englobados por la superficie de falla establecida como crítica en los análisis de estabilidad. Así los elementos en riesgo a ser tenidos en cuenta en la evaluación de la vulnerabilidad son los que se describen a continuación; la identificación se adelanta por zona y por talud de análisis definidos con los perfiles de análisis asociados a cada talud (Ver Plano No.2).

3.2.1 Talud Oriental:

La zona o talud oriental se caracteriza por presentar dos eventos que pueden afectar el sistema, estos son definidos por los perfiles de análisis 1 y 7. El perfil 1 establece la amenaza por la falla del talud minero y el perfil 7 la falla del talud que delimita el lago de sedimentación.

La zona del talud minero que se encuentra amenazada se localiza en el tramo recto del talud en sentido sur norte, en una longitud de 266 m y la geometría de la falla define la corona de la misma en el borde exterior de Avenida Caracas. Ver mapa de Amenaza (Plano No.2).

Al talud del lago sedimentador se le asocia una superficie de falla crítica más superficial que la del talud minero y su geometría se ve condicionada al contacto con la roca, la falla involucra el canal de la quebrada Santa Librada en una longitud de 192 m.

De acuerdo a lo anterior se establecen como elementos vulnerables a la falla del talud minero:

La Avenida Caracas,
Red Matriz de Acueducto,
Red Local de acueducto,
Redes de Alcantarillado,
Canal quebrada Santa Librada.

No se encuentran amenazados:

Portal de Usme sistema Transmilenio,
Plantas físicas de ladrillera Santafe,
Planta física de fábrica de vidrios.

3.2.2 Talud Sur:

Para el talud del costado Sur se establecen dos zonas o áreas que presentan amenaza y se caracterizan con los perfiles de análisis 2 y 3.

No casi en el perfil de falla crítica

La zona con posibilidad de falla establecida con el perfil 2 se localiza al centro del talud con una geometría de falla traslacional condicionada por el nivel arcilloso de la cota 2557.94 en una longitud de 300 m. La superficie de falla critica en la parte posterior queda limitada a la altura del jarillón y canal de escorrentía que existe entre la corona del talud minero y el límite con el barrio la Aurora.

La zona de posibilidad de falla definida con base en el perfil 3 se localiza al costado occidental del talud sur y corresponde a una zona reconformada con rellenos de estériles. La zona amenazada esta definida por una falla rotacional sobre el relleno y afecta una longitud de 80 m, su límite superior se encuentra dentro de la misma mina a una distancia del relleno de la Aurora de 87 m.

El costado oriental del talud sur no presenta posibilidad de falla del talud.

Por lo anterior los elementos en riesgo asociados al talud Sur son:

Las redes de acueducto,
Las redes de Alcantarillado,
Vía interna barrió La Aurora,
Canal recolector,
La urbanización La Aurora,
Red de alta tensión,

El relleno La Aurora y la sub estación Eléctrica Usme no se consideran elementos en riesgo porque no se encuentran dentro del área de influencia de las posibles fallas de los taludes.

3.2.3 Talud Occidental:

El talud Occidental presenta un mecanismo de falla controlado por los estratos arcillosos, tipo traslacional, e involucra una longitud de 420 m. La superficie de falla posible esta alejada de la Avenida Boyacá e involucra el curso actual del río Tunjuelo.

3.2.4 Talud Norte:

El talud de la zona Norte esta conformado por rellenos con estériles del proceso minero como parte del proceso de retrollenado de la mina y para el confinamiento del lago sedimentador. Los mecanismo de falla de estos taludes

son de tipo rotacional y su área de influencia involucra pérdidas de parte del patio de maniobras y la falla del dique sedimentador.

Por lo anterior se consideran como elementos en riesgo el lago sedimentador y el patio de maniobras.

3.2.5 *Población afectada:*

Para determinar este elemento, que corresponde a la vulnerabilidad corporal y funcional, se establece para el caso de la urbanización La Aurora como la densidad de población que resulta fácilmente cuantificable mientras para elementos como vías y redes su valoración se realiza de manera cualitativa dado que su evaluación requiere de allegar información de entidades Distritales, la cual no es posible obtener en el tiempo neto del estudio. Este aspecto puede ser mejorado y complementado en el futuro.

Para tener un indicador de la población potencialmente afectada, en la Tabla No. 8, se asocia a cada elemento expuesto un área de afectación en términos urbanísticos, a nivel de manzana, barrio, sector o localidad.

3.3 Análisis de vulnerabilidad

Entendida la vulnerabilidad como la predisposición intrínseca de un sujeto o elemento a sufrir daño debido a posibles acciones externas, la vulnerabilidad de los elementos expuestos se establece con base en su exposición, resistencia, y resiliencia.

La vulnerabilidad por exposición para todos los elementos físicos identificados como vulnerables se establece como uno (**1**), dado que se localizan en la corona dentro de la zona posible de la geometría de falla y cero (**0**) para los elementos que se encuentran fuera de esta zona, condición que se asocia al control estructural del contacto roca depósito conglomerático.

La vulnerabilidad por resistencia de los diferentes elementos expuestos se establece como uno (**1**), teniendo en cuenta que la falla de los elementos producto del deslizamiento se asocia a la pérdida de soporte en la base, originando desplazamientos verticales de las estructuras y su falla. Lo anterior implica que la intensidad de daño de los diferentes elementos sea muy alta, más aún en elementos lineales o sistemas en serie como son las redes de acueducto y alcantarillado.

La resiliencia de los sistemas o elementos vulnerables esta asociada a la capacidad de las autoridades o empresas del estado y de los propietarios de la

mina a restablecer las condiciones iniciales de los elementos afectados ante la posible ocurrencia de un evento dañino. Este aspecto es de difícil cuantificación en el caso de las empresas del estado y por tanto se cualifica según el elemento evaluado.

3.3.1 Evaluación de daños

El nivel de daño esta asociado al tipo de solicitación del evento amenazante sobre el elemento físico vulnerable y a los efectos directos del daño sobre el sistema analizado.

Componente físico

El nivel de daño de los elementos físicos que se identificaron como amenazados es de uno (**1**), es decir que los daños físicos se dan por pérdida total. Esto se asocia a que la vulnerabilidad por resistencia es uno (1). Para la cuantificación física se toman los siguientes criterios:

Para las edificaciones o viviendas del barrio La Aurora el costo de daño es el costo de la vivienda mas los costos de enseres y urbanismo. La Tabla No 9 muestra los valores correspondientes.

Tabla No.9 Costo de daño de vivienda por metro cuadrado

Items	2002	2004
(costo en pesos)	Vivienda	Vivienda
Costo construcción	250000	286225
Costo lote	52500	60107
Costo muebles y equipos	93750	107334
Costo Urbanismo	150000	171735
Costo total	**$ 546.250,00**	**$ 625.401,63**

Fuente: Estudio de Riesgo de los barrios México y Villa Jacqui.

Para las vías el costo de daño de la infraestructura es el correspondiente al valor de construcción, asumida como costo de la rehabilitación del corredor vial. Estos costos se aplican según la longitud o área de pavimento afectada, se considera que los costos de rehabilitación se realizan bajo los nuevos criterios urbanísticos establecidos para la Ciudad. La Tabla No 10 muestra los costos de rehabilitación de vías.

Tabla No.10 Costos por m^2 de pavimento (Pesos)

TIPO	AÑO 2003				AÑO 2004			
	PAV. RÍGIDO		PAV. FLEXIBLE		PAV. RÍGIDO		PAV. FLEXIBLE	
	CON REDES	SIN REDES	CON REDES	SIN REDES	CON REDES	SIN REDES	CON REDES	SIN REDES
Arterial	306000	183000	260000	136000	327420	195810	278200	145520
Intermedia	246000	150000	213000	115000	263220	160500	227910	123050
Local	225000	126000	209000	107000	240750	134820	223630	114490

Fuente: Instituto de Desarrollo Urbano

Para las redes de acueducto y alcantarillado el costo de daño se valora como el costo de construcción de la red. El criterio es la longitud efectiva afectada, ml de red instalada. La Tabla No 11 muestras los costos de construcción de redes.

Tabla No.11 Costos por ml de redes (Pesos)

REDES		
TIPO	Φ	$/m
Alcantarillado	8"	380000
	10"	380000
	12"	380000
	20"	380000
	36"	600000
Acueducto	3"	140000
	20"	1500000

Fuente: Empresa de Acueducto de Bogotá

Para la red de alta tensión el daño se asocia a longitud de red afectada.

Para los elementos hidráulicos como los cauces y canales existentes, el costo de daño se asocia al valor de recuperar la condición hidráulica del cauce o canal teniendo en cuenta su muy bajo valor ecosistémico y ante un evento de falla de un talud la continuidad hidráulica debe ser restablecida en el menor tiempo posible. La Tabla No 12 muestra los costos de reconformación de canales.

Tabla No.12 Costo reconformación de canales

Canal Zona Sur - Canal de recolección aguas lluvias
(sección trapezoidal taludes 1:1, altura 1m, revestido en concr

Item	Costo unitario $/m²
Excavación	13613
Relleno	13136
Concreto	129386
Localización y replanteo y otros	90000
costo canal /m²	**$ 246.134**
costo canal /m	**$ 1.654.023**

Canal Zona Oriental -Qda Santa Librada
(sección trapezoidal taludes 2H: 1V, revestido en flexoadoquin

Costo total del proyecto	$	158.464.447
Area total (m²)		1340
Longitud (m)		72
Costo canal/m²	**$**	**118.257**
Costo canal/m	**$**	**2.200.895**

Fuente: Estudio Diseño de Obras detalladas Qda. Limas

Canal Zona Occidental - Río Tunjuelo
(Sección trapezoidal - canal revestido en concreto)

Costo total del proyecto	$	9.500.000.000
Area total (m²)		23764
Longitud (m)		1300
Costo canal/m²	**$**	**399.764**
Costo canal/m	**$**	**7.307.692**

Fuente: Proyecto Canal Salitre

En caso de la red de energía de alta tensión que sale de la sub estación de 115 KW, la cual esta instalada sobre monopolos cuyo costo individual con tirada de red es del orden de los $40.000.000.oo.

Componente corporal:
Se considera que ante la ocurrencia de un evento de falla de algún talud de la mina la probabilidad de afectar físicamente a las personas es muy baja y se limitaría al personal que labora dentro de los límites de la mina. Por tanto la vulnerabilidad corporal se puede eliminar o mitigar mediante estrictos programas de seguridad dentro de la mina. Para efectos del presente estudio se asumen como 0.

Para establecer los niveles de afectación de este componente, se asocia el nivel de daño con la cobertura de servicio a nivel urbano, población afectada a nivel de manzana, barrio, sector y localidad.

Componente funcional:
La evaluación de los niveles de daño del sistema en su componente funcional se asocia a establecer de manera cualitativa para cada elemento vulnerable identificado los daños al sistema mina- ciudad, producto de la destrucción de la infraestructura local. Su valoración numérica es de difícil cuantificación por la necesidad de conocer en detalle la infraestructura de los elementos lineales y su diseño funcional, información que las empresas de servicios públicos no suministran fácilmente.

La matriz de Vulnerabilidad se presenta en la Tabla No 13 y contiene un resumen de la evaluación de los daños posibles de los diferentes elementos considerados como vulnerables.

3.3.2 Evaluación de Vulnerabilidad:

En la Tabla No 13 se presenta la evolución de la vulnerabilidad de los diferentes elementos del sistema ante la falla de los taludes mineros. Los datos se presentan según la sectorización dada y por elemento vulnerable.

3.3.2.1 Vulnerabilidad física

La vulnerabilidad física se presenta como el costo de daño de los elementos expuestos entendido como el costo de reparación para recuperar la funcionalidad del sistema. Dicho costo se presenta tanto para la falla parcial del talud como para la falla total de la zona amenazada.

Para la falla parcial se establece que la corona de las posibles superficies de falla es del orden de los 60 m, valor establecido en los registros históricos de las fallas presentadas en los taludes mineros de la mina la Físcala como minas vecinas, con modelos geotécnicos similares.

Talud Oriental:
Los elementos en riesgo de este sector son la Avenida Caracas, la red matriz y la red local del acueducto, la red de alcantarillado y el canal de la quebrada Santa Librada.

Avenida Caracas: Los daños físicos asociados a un evento de falla comprenden la pérdida de la banca de la vía en un tramo de 266 m, y el costo de reconstrucción para volver a las condiciones se servicio de la vía es de $

Tabla No.13 Matriz de Vulnerabilidad Mina La Fiscala

Zona	Talud	Perfil	Caracteristicas de la amenaza			Elemento expuesto	Estado	Organismo encargado	Daño asociado			Zona de impacto		Indice de daño	Capacidad remanente	Vulnerabilidad Fisica (miles $)					Vulnerabilidad Corporativa	Vulnerabilidad Funcional	RIESGO Pf x $daño
			Tipo	Material	Pf				menor	grave	Pf					Costo falla	Factor de daño	Costo de Daño			Poblacion	Daños asociados al	(miles $)
					Critica						Local					V/unit	Local	General	Local	General	Afectada	Servicio	General
Talud Este Av. Caracas	Mina	1	Traslacional	Arcilla	0,0435	Av. Caracas	Aceptable	IDU	Desconfinamiento, agrietamiento	Pérdida de banca	0,029	266	ml	1	0	$ 1.455	0,23	1,00	$ 87.312	$ 387.083	Sector	Inmovilización temporal, implementación de desvios	$ 11.225
						Acueducto 20"	Aceptable	Acueducto	Grietas en tubería rígida	Ruptura, desacople	0,0437	266	ml	1	0	$ 1.500	0,23	1,00	$ 90.000	$ 399.000	Localidad	Suspensión del servicio, inundacion mina	$ 17.436
						Acueducto 3"	Aceptable	Acueducto	Grietas en tubería rígida	Ruptura, desacople	0,029	266	ml	1	0	$ 140	0,23	1,00	$ 8.400	$ 37.240	Sector	Suspensión del servicio, inundacion mina	$ 1.080
						Alcanta. pluvial	Aceptable	Acueducto	Grietas en tubería rígida	Ruptura, desacople	0,029	266	ml	1	0	$ 600	0,23	1,00	$ 36.000	$ 159.600	Sector	Inundaciones mina	$ 4.628
	Lago Sedimentador	7	Rotacional	Análisis desembalse rápido	0,0000	Av. Caracas	Aceptable	IDU	Agrietamiento, asentamientos	Pérdida de banca	0,00	192	ml	1	0	$ 1.455	0,31	1,00	$ 87.312	$ 279.398	Sector	Inmovilización temporal, implementación de desvios	$ 0
						Acueducto 20"	Aceptable	Acueducto	Grietas en tubería rígida	Ruptura, desacople	0,00	192	ml	1	0	$ 1.500	0,31	1,00	$ 90.000	$ 288.000	Localidad	Suspensión del servicio, inundacion mina	$ 0
						Acueducto 3"	Aceptable	Acueducto	Grietas en tubería rígida	Ruptura, desacople	0,00	192	ml	1	0	$ 140	0,31	1,00	$ 8.400	$ 26.880	Sector	Suspensión del servicio, inundacion mina	$ 0
						Alcanta. pluvial	Aceptable	Acueducto	Grietas en tubería rígida	Ruptura, desacople	0,00	192	ml	1	0	$ 600	0,31	1,00	$ 36.000	$ 115.200	Sector	Inundaciones mina	$ 0
						Qda.Sta. Librada	Aceptable	DAMA Acueducto	Grietas en canal	Desbordamiento , inundación	0,00	192	ml	1	0	$ 2.201	0,31	1,00	$ 132.054	$ 422.572	Sector	Inundaciones mina	$ 0
Talud Oeste	Rio Tunjuelo	1	Traslacional	Arcilla Con	0.3087	Río Tunjuelo	Muy deteriorado	DAMA Acueducto	Fisuramiento paredes taludes del río	Desbordamiento, inundación	0,3087	420	ml	1	0	$ 7.308	0,14	1,00	$ 438.462	$ 3.069.231	Localidad	Inundación mina, desestabilizacion lines base rio	$ 947.472
Talud Norte	Mina	5	Rotacional	Relleno	0,0160	Patio de Maniobras	Aceptable	CEMEX	Pérdida de área	Inundación patio	0,016	100	ml	1	1	$ 1	0,60	1,00	$ 1	$ 1	Mina	Suspensión de actividades	$ 0
	Lag. Sed.	6	Rotacional	Relleno	0,0205	Lago sedimentador	Aceptable	CEMEX	Fisuras y grietas del di	Destrucción del dique, inundación	0,025	90	ml	1	0	$ 1	0,67	1,00	$ 1	$ 1	Mina	Inundación mina	$ 0
Talud Sur Barrio La Aurora	Mina	2	Traslacional	Arcilla Conglomerado	0.0235	Acueducto 3"	Aceptable	Acueducto	Grietas en tubería rígida	Ruptura, desacople	0,01567	300	ml	1	0	$ 140	0,20	1,00	$ 8.400	$ 42.000	Barrio	Suspensión del servicio	$ 658
						Alcanta. 8-12"	Aceptable	Acueducto	Grietas en tubería rígida	Ruptura, desacople	0,01567	300	ml	1	0	$ 380	0,20	1,00	$ 22.800	$ 114.000	Barrio	Suspensión del servicio, inundacion mina	$ 1.786
						Vias internas	Aceptable	IDU	Agrietamientos, desprendimientos	Perdida de banca	0,01567	60	ml	1	0,5	$ 3.435	1,00	1,00	$ 206.082	$ 206.082	Barrio	Desmovilización parcial	$ 3.229
						Canal recolector	Aceptable	Acueducto	Aparición de fisuras	Ruptura, inundación mina	0,02235	70	ml	1	0	$ 1.624	0,06	1,00	$ 97.446	$ 113.687	Barrio	Suspensión del servicio, inundacion mina	$ 2.541
						Viviendas	Aceptable	Caja de Vivienda	Aparición de fisuras	Destrucción	0,01567	228	un	1	0	$ 37.524	0,26	1,00	$ 2.251.447	$ 8.555.499	Barrio	Reubicación familias	$ 134.065
						Red alta tensión	Bueno	CODENSA	Inclinacion monopolo	Caida monopolo	0,0224	3	Un	1	0	$ 40.000	0,66	1,0	$ 79.200	$ 120.000	Localidad	Suspension servicio	-
	Relleno	3	Rotacional	Relleno	0,0160	Parqueadero	Aceptable		Sin daño	Sin daño	0,016	1	Un	0	1	$ 0	-	1	$ 1	$ 0	0	-	$ 0
	Aurora					Red alta tensión	Bueno	CODENSA	Sin daño	Sin daño	0,016	2	Un	0	1	$ 0	-	1	$ 1	$ 0	0	-	$ 0
																		Nivel de Daño Total		$ 14.333.474		Riesgo total	$ 1.124.121

daño inicial

o monitoreo?

plan de contingencia

0000288

387'083.200.oo Se considera que la reconstrucción involucra toda la banca de la vía.

Red de acueducto: La reparación de las redes del acueducto presentan un costo de $ 687'000.000.oo para la red matriz y un costo de $ 64'120.000.oo para la red local, el costo de la afectación física involucra el daño del elemento y no contempla los daños sobre la infraestructura minera que pueda ocasionar la escorrentía de las aguas descargadas a la presión de la red.

Red de alcantarillado: El costo de daño de la red es de $ 274'040.000.oo Igualmente este costo no contempla los daños sobre la infraestructura minera.

Canal quebrada Santa Librada: El costo de falla del canal se evalúa como los costos de recuperación de las condiciones hidráulica del mismo en una longitud de 192 m, resultando un valor de $ 422.572.000.oo. Las implicaciones físicas de la falla del canal no se tienen en cuenta porque la escorrentía de las aguas de la quebrada llegaría al lago sedimentador.

Talud Sur:
Los elementos en riesgo del sector son 5 manzanas la Urbanización la Aurora, las redes de acueducto y alcantarillado, la vía interna al barrio, la red de alta tensión y el canal recolector.

Unidades de vivienda: El costo de falla se asocia al valor de al vivienda y los enceres. La zona vulnerable corresponde a las manzanas localizadas directamente sobre la cresta del talud minero y presenta un costo total de $ 8.555.494.230,oo defiendo una longitud de la corona de falla de 60 m y tomando como unidad de medida la manzana el costo de falla es de $ 1.812.348.078.oo

Redes de acueducto: El costo de la reconstrucción de la red es de $42'000.000.oo para la red de acueducto de 3".

Red de alcantarillado: El costo de reconstrucción de la red es de $ 114'000.000.oo

Vía Interna: La reconstrucción de la vía partiendo de que el área de falla involucra la recuperación de la estructura en una longitud de 60 m y 30 m de ancha es de $206.000.00.oo.

Canal recolector: El costo de recuperación de las condiciones hidráulicas del canal son de $ 113.687.000.oo.

Torres de Energía: El costo de los monopolos se estima en $40.000.000.oo cada uno, la falla del talud involucraría de 2 a 3 monopolos.

Talud occidental:
La falla del talud occidental de la mina involucra el cauce actual del río Tunjuelo. Teniendo en cuenta la degradación del sistema río en este tramo, los costos de falla se asumen como los costos de recuperar la continuidad hidráulica del cauce como la reconformación del canal.

Para el cálculo del costo se tiene en cuenta que la canalización del cauce debe realizarse desde el cruce del río Tunjuelo con la Avenida Boyacá hasta la estructura de disipación recientemente construida. De esta forma el costo de falla es de $ 3'069.230.769.oo.

Es de recalcar que el proyecto de desvió y canalización del cauce del río planteado por la administración Distrital de acuerdo con el Plan de acción integral de la cuenca del río, entre Usme y Bosa publicado en la columna del Tiempo del día Jueves 22 de Julio del 2004. Establece que el trazado del cauce actual por los predios de la mina La Fiscala se mantiene. Lo anterior implica que el riesgo asociado a la falla del talud seguirá vigente en el tiempo y se deben establecer acciones para su control o en su defecto para la mitigación

Talud Norte:
Los costos de falla de este sector están relacionados con la afectación a la infraestructura minera. Su valoración económica debe ser cuantificada por el personal de CEMEX. En la zona norte se encuentran amenazados los patios de acopio y el lago sedimentador. Para el primero el área de afectación es de 0.4 Ha y el lago la falla sería del dique de confinamiento.

3.3.2.2 Vulnerabilidad funcional

Talud Oriental:
Avenida Caracas: En caso de falla de talud y pérdida de la banca de la vía el flujo vehicular en sentido sur norte se vería interrumpido generando el cierre de la vía. La comunidad afectada sería a nivel de sector.

La falla funcional no afectaría al sistema de trasporte masivo Trasmilenio dado que la vía del sistema esta construida hacia norte de la zona amenazada y por tanto no usa el tramo de vía amenazado. Solo se vería afectado el transito vehicular particular y de carga que viaja de sentido Norte – Sur. El impacto se mitiga mediante la adopción de un desvió temporal por el tramo de vía que conduce el flujo vehicular de en sentido Sur – Norte.

Red de acueducto: Se considera que el daño de la red matriz es el de mayor incidencia sobre la población beneficiada por le servicio. La cuantificación de la población afectada esta función de la cobertura y del diseño funcional de la red

Vitelma - Monteblanco, información que posee el Acueducto de Bogotá y es de difícil consecución. Para efectos del presente estudio se considera que la afectación puede llegar a ser a nivel de sectores o a nivel de Localidad.

Adicionalmente la escorrentía por la rotura de la red produce un efecto directo sobre la mina, al drenar las aguas de suministro hacia el talud minero. En este caso CEMEX se vería afectado.

Red de alcantarillado: La falla de la red de alcantarillado afecta de manera directa la comunidad que se localiza en los alrededores de la zona de falla, en este caso es muy baja a nula por no estar urbanizado el sector. La descarga incontrolada de las aguas lluvias y servidas hacia el talud de la mina generan problemas de operación de la mina, por tanto funcionalmente la mayor afectación por la rotura del alcantarillado sería CEMEX.

Talud Sur:
Unidades de vivienda: La población afectada es de 942 personas, las cuales deberían ser reubicadas bajo las mismas condiciones o mejores a las hoy existentes en el sector.

Redes de acueducto y alcantarillado: la población afectada sería las mismas 942 personas. Dado que las redes en la zona son redes finales de suministro el restablecimiento del servicio estará ligado a recuperación del área y a su nuevo uso.

Vía interna: Este elemento presenta una vulnerabilidad funcional muy baja, la afectación a la comunidad sería no acceder al área de parqueadero.

Canal recolector: La función del canal es poder conducir las aguas de escorrentía de la zona y de las aguas de los alcantarillados y entregarlas al río Tunjuelo, la falla del mismo implica que dichas aguas drenen hacia el talud minero y afecten la operación de la mina y la misma estabilidad del talud. Lo anterior conlleva a que la comunidad afectada sería CEMEX.

Torres de Energía: El suministro de la red se vería afectado con implicación en al incomodidad a la comunidad mientras el servicio sea restablecido, para lo cual la empresa de energía cuenta con planes de contingencia.

Talud occidental:
Partiendo de la condición actual del sistema río Tunjuelo a la altura de las áreas de explotación se considera que la falla del canal actual produciría un efecto similar al ya ocurrido con la inundación de la minas localizada al norte de la mina La Fiscala. Los directamente afectados serían CEMEX con las consecuencias de la falla en la producción minera.

El otro efecto sería sobre la dinámica de la corriente aguas arriba del sitio de falla, donde el cauce buscaría modificar su línea base, efecto que debe ser controlado de manera inmediata, para evitar trasladar la problemática local a lo largo del cauce del rió Tunjuelo.

Talud Norte:
La vulnerabilidad funcional ante la falla de la zona norte de la mina esta directamente ligada a la operación minera y los directamente afectados sería CEMEX. La evaluación del daño funcional sobre la operación minera deberá ser evaluada por los conocedores del proceso minero que se realiza en la mina.

4 EVALUACION DE RIESGO POR FALLA DE TALUDES MINEROS

La valoración del riesgo como el costo esperado de falla por la ocurrencia de un evento tipo deslizamiento en los taludes mineros se establece en función de la vulnerabilidad física, la cual fue cuantificada. El costo esperado de la falla funcional del sistema Mina – ciudad, no se evalúa en el presente estudio dado la necesidad de información no asequible a la consultoría de manera ágil y verás, de hecho las mismas empresas de servicios públicos, especialmente el Acueducto de Bogota, no cuenta con la información básica para este tipo de estudios.

4.1 Evaluación del riesgo.

El riesgo se estima como el costo de daño multiplicado por la probabilidad e ocurrencia del evento dañino. Así en la Tabla No 13 se presenta los estimativos del riesgo para cada uno de los elementos identificados como vulnerables.

El riesgo total para reestablecer las condiciones de funcionalidad del sistema Mina – Ciudad, tomado como la sumatoria de los riesgos de cada elemento expuesto es de $1.124´121.000.oo. El elemento en mayor riesgo es el río Tunjuelo con un valor de $947´472.000.oo que corresponde al 85 % del riesgo total.

El segundo elemento con mayor riesgo es la Urbanización La Aurora, con un valor de $134.065.000.oo, costo que involucra las manzanas que están localizadas adyacentes a la cresta del talud minero.

La avenida Caracas presenta un riesgo de $11.225.000.oo, mientras la red matriz construida paralela al talud minero es de $17.436.000.oo.

En general los riesgos asociados a las fallas de los taludes se pueden considerar bajos, teniendo en cuanta que las probabilidades de falla de los diferentes taludes a los 50 años de exposición son muy bajas, menores a 0,10, excepto el talud occidental asociado a la afectación del río Tunjuelo que es de 0,31. Percepción que debe verse con precaución porque ante un evento de falla los niveles de daño sobre el sistema Mina – Ciudad sería muy altos del orden de los $14.335.000.000.oo sin contar las afectaciones sobre los servicios que se prestan a la comunidad.

La falla de los taludes tiene como principal agente detonante el sismo de **0,2 g** para un periodo de retorno de 50 años, lo que implica que ante la ocurrencia de un evento símico de esta magnitud la falla de la infraestructura cercana a la mina, pero fuera del área de vulnerabilidad **1**, sea producto del sismo y no de la falla de los taludes. Por lo anterior el riesgo asociado de los elementos expuestos por la falla de los taludes quedan involucrados dentro de los límites establecidos en el mapa de amenaza. Los elementos que se localizan por fuera de este límite, ante la ocurrencia de un sismo, su falla quedará asociada a la vulnerabilidad sísmica de dichos elementos y no a la falla de los taludes.

5 PLAN DE MEDIDAS DE MITIGACION DEL RIESGO.

Con los diferentes factores y elementos que se evaluaron en la determinación de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo por falla de los taludes mineros que conforman la mina la Fiscala, especialmente con el conocimiento adquirido del modelo geotécnico de los taludes y los factores de inestabilidad en la zona de la mina, se plantean las diferentes alternativas de prevención, mitigación y control.

5.1 Consideraciones Generales

La evaluación de la Amenaza y Riesgo actual en el área estudiada permite concluir que la problemática de riesgo ha sido generada por la falta de planeación urbana y la alta intervención sobre el cauce y ronda del río Tunjuelo. La probable inestabilidad de los taludes mineros está asociada principalmente a la existencia de niveles arcillosos en los depósitos que conforman el cono del tunjuelo y a las infiltraciones de la escorrentía superficial de los drenajes naturales y canales construidos.

Los mecanismos de falla de los depósitos son de carácter progresivo y de poca velocidad, lo que permite tiempo de reacción ante la ocurrencia de un evento de falla. Los procesos presentan alto poder destructivo de acuerdo con las características de los mecanismos de falla. En la corona de falla la pérdida de soporte de la infraestructura construida produciría colapso sobre la misma y

hacia la base y frente de la zona de falla la masa movilizada presentaría un alto poder destructivo por su energía potencial y volumen movilizado.

Teniendo en cuenta que la Mina se encuentra en la etapa de retrollenado y abandono, el efecto de la falla de los taludes sobre la mina sería de baja magnitud y se asociaría a la reconformación de la masa movilizada según el programa de retrollenado que se defina para la misma.

5.2 Plan General de Acciones

El plan de acciones establece las medidas preventivas, correctivas y de mitigación que buscan en primera instancia, bajar los niveles de amenaza y riesgo a que está expuesta el sistema Mina - Ciudad, controlando los procesos o anulando los niveles de exposición de elementos en riesgo; y en segunda instancia, busca corregir las condiciones del entorno físico y ambiental que favorecen la ocurrencia de los procesos de inestabilidad.

Cada una de las medidas se debe convertir en planes y proyectos, los cuales en su conjunto se consideran esenciales para un manejo integral y sistemático de la problemática de riesgo actual del sistema mina - Ciudad.

5.2.1 Acciones y Medidas Preventivas

Dentro de este grupo se proponen las siguientes acciones:

Coordinación Interinstitucional: Esta acción es muy importante en el manejo de la emergencia ante un evento de falla, especialmente para armonizar y puesta en marcha de los diferentes planes de contingencia de CEMEX S.A. y de la entidades distritales como el Acueducto, IDU, Secretaría de Transito, DPAE, Caja de Vivienda, etc.

En este aspecto CEMEX S.A. deberá generar un área o sección responsable, la cual deberá establecer de manera conjunta con cada entidad los planes de contingencia, especialmente ante la afectación del rió Tunjuelo, de la Avenida Caracas, la red matriz del acueducto y del sistema de transmisión de energía.

Reubicación de familias: Si se asume el riesgo asociado para el Barrio La Aurora, esta actividad no se requiere como medida preventiva, en caso por el contrario, se deberá establecer de manera conjunta con el Distrito y la comunidad un programa de reubicación de las familias que quedan involucradas dentro del área amenazada.

Obras de protección y control: Este grupo de medidas busca mantener o mejorar las condiciones actuales de las áreas de las crestas de los taludes y

taludes. Involucra mantener la continuidad de los canales, minimizar las presiones por infiltraciones hacia el interior del talud, la protección con cobertura vegetal para el control de la erosión pluvial y por escorrentía.

Lo anterior implica el tratamiento de los canales naturales y construidos, para el río Tunjuelo mediante la impermeabilización del fondo y sus paredes y para los canales construidos mantener la impermeabilización de los mismos mediante un mantenimiento periódico. La mayor prioridad es el río Tunjuelo.

Monitoreo de los taludes: Esta actividad debe ser de carácter continuo, su diseño debe involucrar el monitoreo de los taludes, el funcionamiento de los canales naturales y construidos localizados alrededor de la mina y las variaciones de la condiciones físicas de los elementos expuestos.

El diseño del monitoreo definirá la necesidad de instalación de instrumentación y la periocidad del mismo. Adionalmente deberá estar ligado al sistema de alerta y a los planes de contingencia establecidos con las empresas de servicios y entidades del estado.

Definición de zonas de aislamiento: Aunque a la fecha esta acción no ha sido posible y no existe un área de aislamiento de la mina con relación a la infraestructura urbana, en el proceso de cierre y abandono de la misma se deberán establecer estas áreas que impidan la ocupación de áreas con amenaza.

Información pública: Esta actividad busca suministrar mediante campañas educativas la información y capacitación necesaria para mejorar la actitud de la comunidad frente a su medio físico, su entorno habitacional y ambiental.

5.2.2 Medidas de Mitigación

Este tipo de medidas tienden a mejorar las condiciones de estabilidad del sector disminuyendo en forma directa el riesgo y modificando las características de los eventos amenazantes.

Según los análisis de estabilidad se puede establecer que la principal medida para el control de la falla de los taludes es el relleno de la depresión de la mina, el cual, para que surta efecto debe alcanzar la cota del nivel arcilloso que se encuentra en los 2550 msnm, es decir una altura de relleno de 37 m. Esta medida permitiría bajar las probabilidades de falla, Pf, a valores menores de 0,015.

El retrollenado es un proceso que durará más de 10 años, tiempo en el cual las condiciones actuales de probabilidad de falla de los taludes para un sismo

de 0.2g, se mantienen y por ende el riesgo asociado. El retrollenado de la mina deberá obedecer a un diseño técnico y ambiental que defina prioridades y busque confinar los taludes con mayor probabilidad de falla como lo es el talud occidental contra el rió Tunjuelo, en el menor tiempo posible, reduciendo la exposición del talud a los agentes desestabilizantes.

Para cada talud se plantean las siguientes medidas inmediatas de mitigación, las cuales deben obedecer a un diseño específico.

Talud Av. Caracas

Obras de drenaje

Talud río Tunjuelito

Obras de drenaje, además se incluye la posibilidad de impermeabilizar el cauce del río. La urgencia de estas obras en este talud se debe a que es el que tiene la mayor probabilidad de falla en caso de un sismo de 0.20 g.

Por otro lado, como medidas permanente se pueden plantear:

- Monitoreo continuo de los taludes para tener idea del tiempo de respuesta en un caso eventual.
- Revegetalización de taludes
- Mantenimiento de cunetas.

6 EVALUACIÓN DE RIESGOS PARA EL ESCENARIO CON MEDIDAS DE MITIGACIÓN

A continuación se presenta la evaluación del riesgo con las posibles obras de mitigación para los taludes, en especial el talud del Tunjuelo que es el que presenta la condición más crítica.

6.1 Retrollenado del tajo de la mina:

Para la evaluación de la probabilidad de falla en esta condición de mitigación, se analizaron las siguientes condiciones:

A. El Fs de un talud que teniendo los parámetros de resistencia promedios con un *ru* promedio y sometido a la máxima aceleración dentro de los intervalos de análisis.

B. El Fs de ese mismo talud pero afectado por el *ru* máximo y la aceleración media.

Así, se define en este estudio y en esta metodología como probabilidad de falla admisible, la que corresponda a un talud que analizado en la condición más crítica entre la A y la B tenga un Fs de 1.0.

En primer lugar se realizaron gráficas del Fs para las condiciones A y B contra el ascenso del relleno en la mina. En las Figuras Nos. 31 a 36 se muestran los resultados obtenidos. Como se observa en estas figuras, a medida que el relleno se eleva por encima de la superficie de falla crítica el Fs comienza a mejorar. Se ha establecido en estas figuras un Fs mínimo de 1.20 y de 1.0 para las combinaciones de análisis asumidas.

Los resultados de las probabilidades de falla para las dos condiciones de mitigación (cota de llenado 2560 y 2565) se presentan en las Figuras Nos. 37 a 42, en donde además se muestran las tendencias para la condición actual. Como se observa en estas figuras, todas las probabilidades de falla se reducen. En las Figuras Nos. 43 y 44 y en la Tabla No. 14 se consignan los resultados de las probabilidades de falla para las dos condiciones de mitigación y para la situación actual con el sismo de mayor aceleración.

Tabla No. 14 Probabilidad de falla para cada uno de los taludes analizados CONDICIÓN DE MITIGACIÓN de retrollenado del tajo, para aceleración horizontal de 0.2g

Perfil	ru	Cota	$P(c' \leq c'_r$ y $\phi' \leq \phi'_r)$	$P(ru \geq ru)$	$P(a \geq a_h$ en 50 años)	Probabilidad de falla
Perfil 1 Caracas	0.05	2513	0.870	0.5	0.1	0.0435
		2560	0.160	0.5	0.1	0.0080
		2565	0.005	0.5	0.1	0.0003
Perfil 1 Tunjuelo	0.125	2513	1.000	0.5	0.1	0.0500
		2560	0.250	0.5	0.1	0.0125
		2565	0.000	0.5	0.1	0.0000
Perfil 2	0.05	2513	0.470	0.5	0.1	0.0235
		2560	0.240	0.5	0.1	0.0120
		2565	0.019	0.5	0.1	0.0010
Perfil 3	0.05	2513	0.320	0.5	0.1	0.0160
		2560	0.066	0.5	0.1	0.0033
		2565	0.048	0.5	0.1	0.0024
Perfil 5	0.125	2513	0.570	0.5	0.1	0.0285
		2560	0.013	0.5	0.1	0.0007
		2565	0.0002	0.5	0.1	0.0000
Perfil 6	0.125	2513	0.410	0.5	0.1	0.0205
		2560	0.100	0.5	0.1	0.0050
		2565	0.000	0.5	0.1	0.0000

6.2 Control drenaje en los taludes y canalización del río Tunjuelito.

A continuación se presenta el análisis en el escenario de un control de drenaje de los taludes, sin la realización de un retrollenado en el tajo. Este análisis propone una labor intensiva de drenaje en todos los taludes del tajo y la realización de un canal revestido en el tramo del canal del río Tunjuelo que cruza la mina. Esto conduciría a disminuir la presión de poros en los materiales ya que sólo se contaría como fuente de agua la recarga externa.

Por observaciones de campo se llego, de manera preliminar, a que con estas obras se disminuye la probabilidad de que *ru* sea mayor a *ru* promedio, de 0.5 a 0.25. En la Figura No.45 se muestra un gráfico similar al de la Figura No.30, en que se muestra la probabilidad de falla en 50 años de los taludes con labores intensivas de drenaje. Se puede observar la disminución general de la probabilidad de falla, sobre todo para el talud del Tunjuelo. En la Tabla No.15 se muestran estos resultados.

Tabla No. 15 Probabilidad de falla para cada uno de los taludes analizados con construcción del canal, para aceleración horizontal de 0.2g

Perfil	*ru*	a_h	P($c' \leq c'_r$ y $\phi' \leq \phi'_r$)	P($ru \geq ru$)	P($a \geq a_h$ en 50 años)	Probabilidad de falla
Perfil 1 Caracas	0.05	0	0.000	0.25	1.00	0.0000
		0.1	0.080	0.25	0.63	0.0126
		0.2	0.087	0.25	0.10	0.0022
Perfil 1 Tunjuelo	0.125	0	0.020	0.25	1.00	0.0050
		0.1	0.980	0.25	0.63	0.1544
		0.2	1.000	0.25	0.10	0.0250
Perfil 2	0.05	0	0.000	0.25	1.00	0.0000
		0.1	0.001	0.25	0.63	0.0001
		0.2	0.470	0.25	0.10	0.0118
Perfil 3	0.05	0	0.000	0.25	1.00	0.0000
		0.1	0.014	0.25	0.63	0.0022
		0.2	0.320	0.25	0.10	0.0080
Perfil 5	0.125	0	0.004	0.25	1.00	0.0010
		0.1	0.130	0.25	0.63	0.0205
		0.2	0.570	0.25	0.10	0.0143
Perfil 6	0.125	0	0.000	0.25	1.00	0.0000
		0.1	0.000	0.25	0.63	0.0000
		0.2	0.410	0.25	0.10	0.0103

6.3 Control con drenaje junto con retrollenado de los tajos

Como se ha observado, la solución más segura, es la de retrollenado, pero este es un proceso de largo tiempo. Por lo tanto una combinación de control de drenaje junto con retrollenado conduciría a la situación más estable. En la

Figura No. 46 la variación de la probabilidad de falla en 50 años con la cota de relleno para taludes con planes de drenaje intensivo y construcción de canal en el Río Tunjuelo. La Tabla No.16 muestra estos resultados.

Tabla No. 16 Probabilidad de falla para cada uno de los taludes analizados con construcción del canal y retrollenado, para aceleración horizontal de 0.2g

Perfil	ru	Cota	P($c' \leq c'_r$ y $\phi' \leq \phi'_r$)	P($ru \geq ru$)	P($a \geq a_h$ en 50 años)	Probabilidad de falla
Perfil 1 Caracas	0.05	2513	0.870	0.25	0.1	0.0218
		2560	0.160	0.25	0.1	0.0040
		2565	0.005	0.25	0.1	0.0001
Perfil 1 Tunjuelo	0.125	2513	1.000	0.25	0.1	0.0250
		2560	0.250	0.25	0.1	0.0063
		2565	0.000	0.25	0.1	0.0000
Perfil 2	0.05	2513	0.470	0.25	0.1	0.0118
		2560	0.240	0.25	0.1	0.0060
		2565	0.019	0.25	0.1	0.0005
Perfil 3	0.05	2513	0.320	0.25	0.1	0.0080
		2560	0.066	0.25	0.1	0.0017
		2565	0.048	0.25	0.1	0.0012
Perfil 5	0.125	2513	0.570	0.25	0.1	0.0143
		2560	0.013	0.25	0.1	0.0003
		2565	0.0002	0.25	0.1	0.0000
Perfil 6	0.125	2513	0.410	0.25	0.1	0.0103
		2560	0.100	0.25	0.1	0.0025
		2565	0.000	0.25	0.1	0.0000

7 DISEÑO DETALLADO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN SELECCIONADAS

Debido a que la obra principal de mitigación corresponde a un relleno, en el Plano No. 3 se dan algunas indicaciones generales para su conformación.

8 CONCLUSIONES

Las cuantificaciones de amenaza por probabilidad de falla indican que en condición de aceleración máxima (0.2g) y saturación promedio para los valores promedio de resistencia, los taludes con mayores probabilidades de falla en orden de magnitud serían:

Talud contra el río Tunjuelito con una probabilidad de falla de 0.025
Talud de la Avenida Caracas, con una probabilidad de falla de 0.0218

Ante estos resultados, se debe implementar una serie de obras de mitigación, algunas de las cuales requieren su implementación a corto plazo, así:

- Talud Río Tunjuelito: obras de subdrenaje, diseño y construcción de las obras necesarias para impermeabilizar el lecho del tramo entre el puente de la Avenida Boyacá y la rápida. A mediano plazo, el retrollenado permitiría disminuir la probabilidad de falla, pero esta solución esta en función de la velocidad del retrollenado.
- Talud Avenida Caracas: obras de subdrenaje y a mediano plazo el retrollenado.

Se recomienda mantener una comunicación frecuente con las entidades Distritales encargadas de servicios públicos y de prevención de emergencias para establecer planes de contingencia los cuales deberán comunicarse oportunamente a la comunidad que podría ser afectada.

Es necesario actualizar los resultados aquí expuestos, una vez se ejecuten las exploraciones complementarias para mejorar el modelo geológico del sector del talud contra el río Tunjuelito.

9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Hernández, F., 2003, EVALUACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE FALLA, Bitácora de un Geotecnista, Universidad Nacional de Colombia.

MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE SANTA FE DE BOGOTÁ, 1997

Haldar, A. Madevan, S., 2000, PROBABILITY, RELIABILITY AND STATISTICAL METHODS IN ENGINEERING DESIGN, Jhon Wiley & Sons, Inc.

Resolución número 364 de 2000, Secretaria de Gobierno – Dirección de Prevención y Atención de Emergencias.

Rocas y Minerales Ltda..

Pedro Hernández Borda
Geólogo MSc. Geotecnia
Mat. 144

Javier Antonio Millan Lopez
I. Civil MSc. Geotecnia
Mat. 2520232873
Especialista en Riesgo

En este estudio participaron los siguientes profesionales:

Isabel Cristina Gomez Gutierrez	Geóloga, MSc Geotecnia
Jhon Jairo Silva Castro	I.C. MSc. Geotecnia
ASESOR	
Félix Hernández Rodríguez	I.C. MSc. Geotecnia

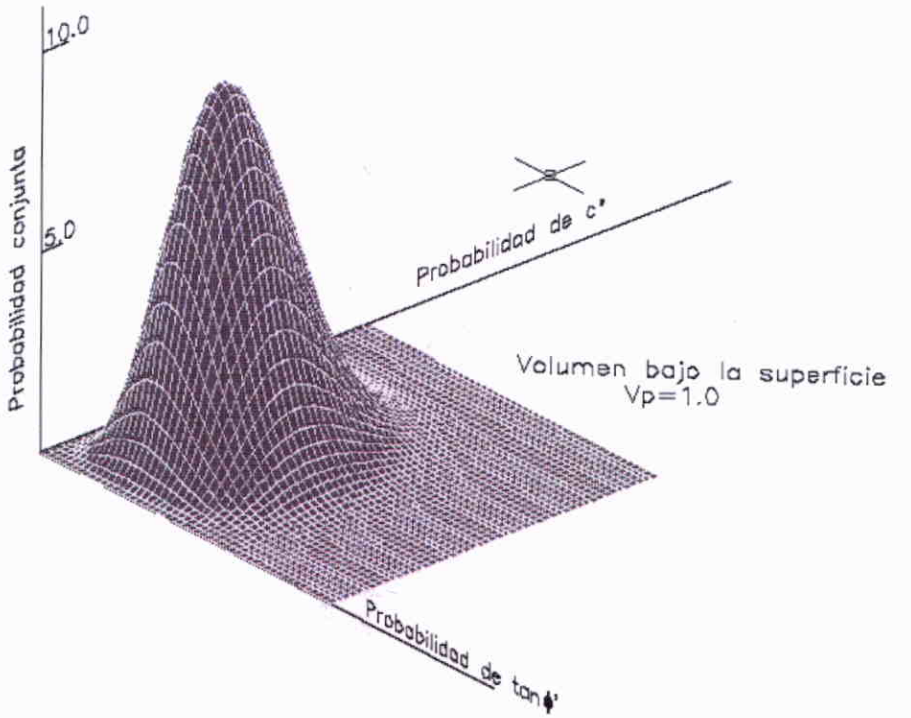


Figura 2. Probabilidad conjunta de c´ y ϕ´ para las arcillas.

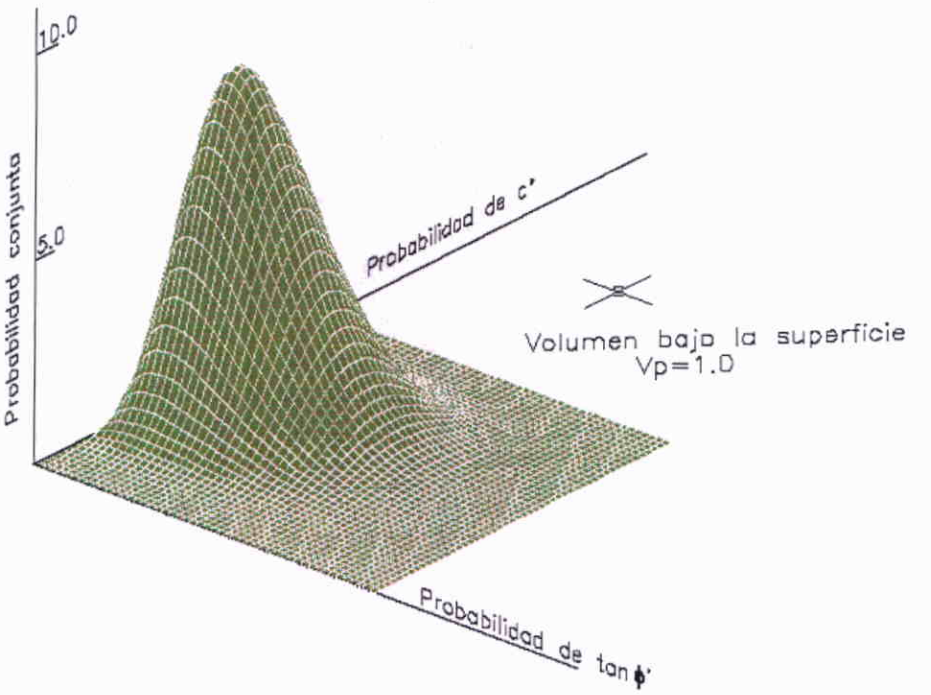


Figura 3. Probabilidad conjunta de c´ y ϕ´ para el conglomerado

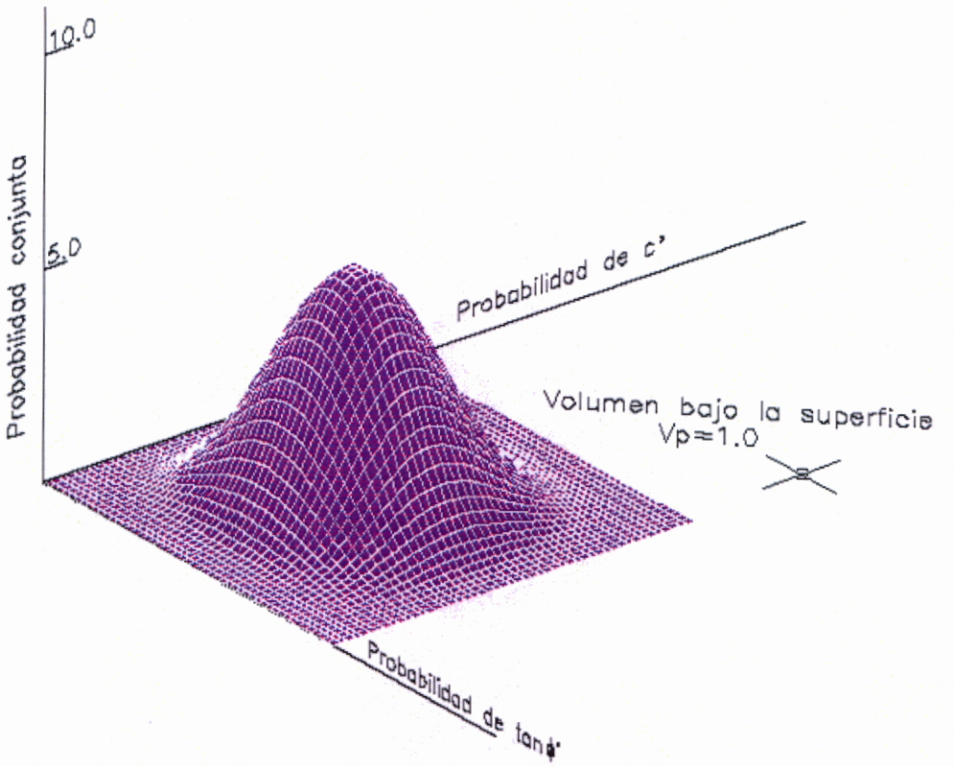


Figura 4. Probabilidad conjunta de c´ y ϕ´ para el material de relleno

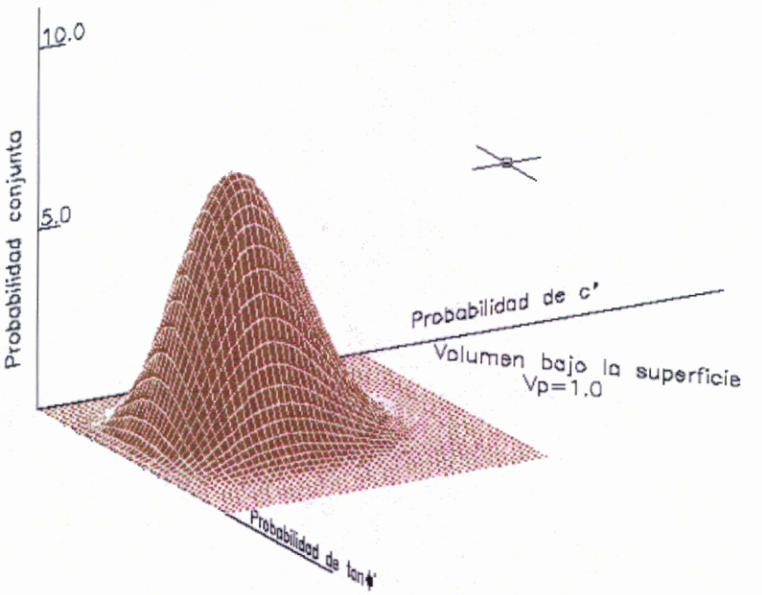
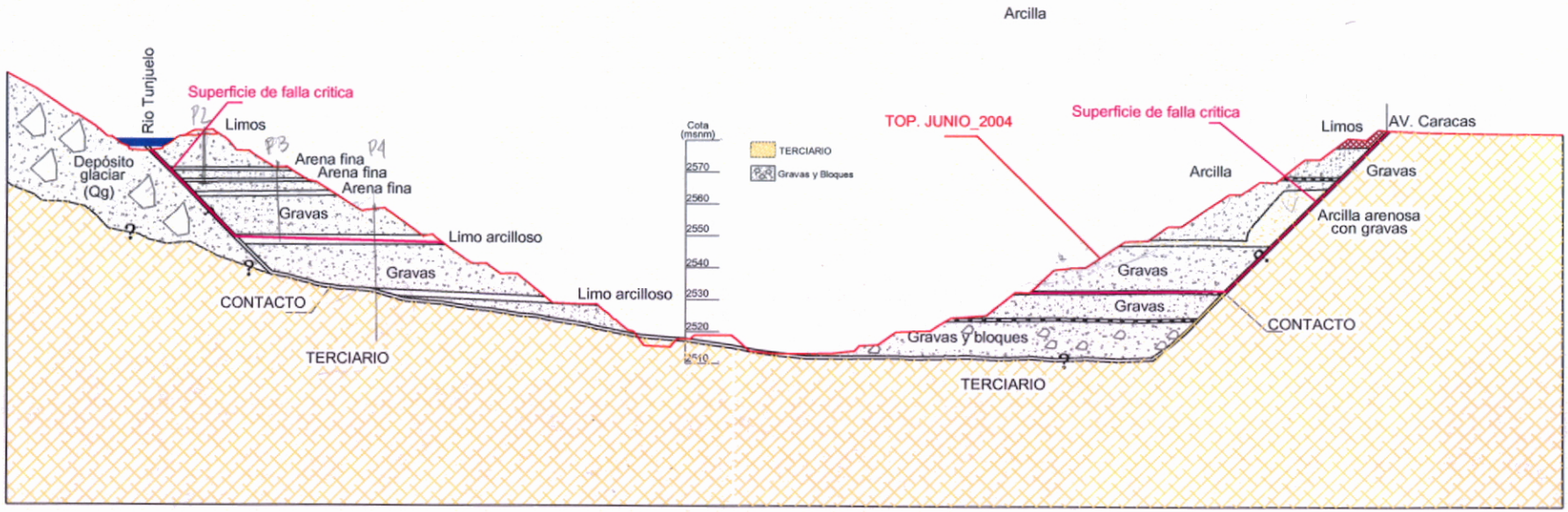


Figura 5. Probabilidad conjunta de c´ y ϕ´ para el material del contacto



MINA DE AGREGADOS LA FISCALA
BOGOTA D.C

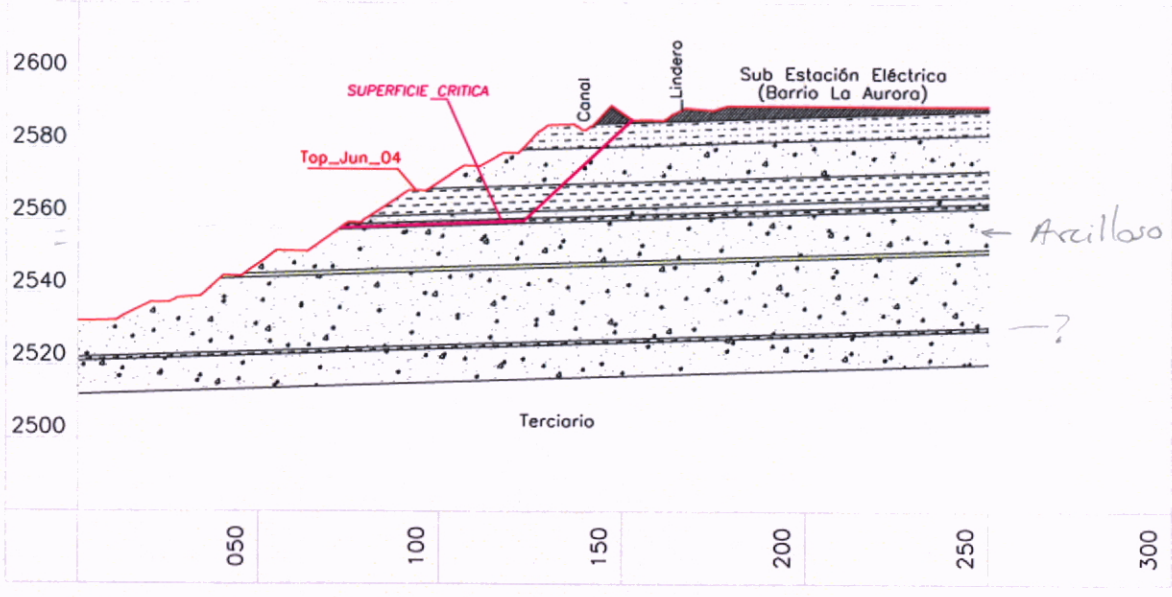
PERFIL GEOLOGICO–GEOTECNICO 1–1

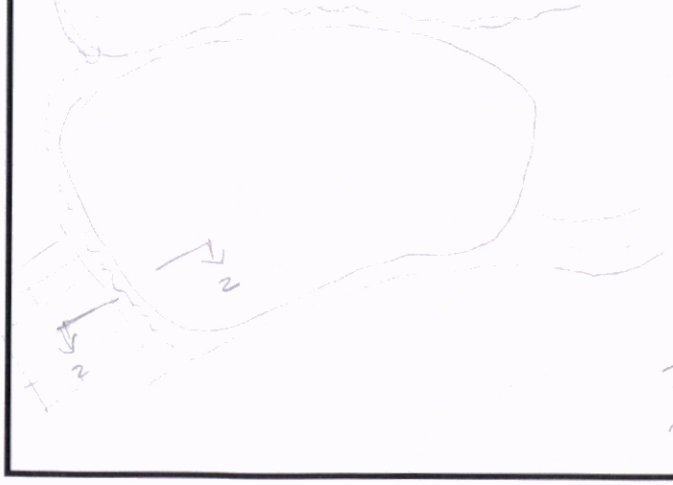
0 20 40 60 80 100m

ESCALA – 1:2000

PREPARO: P. A. H. B. Geol. M.P 114	CEMEX CONCRETOS DE COLOMBIA S.A	FIGURA No. 6
REVISO. J. SILVA C. Ing. Civil Geotéc.	ROCAS Y MINERALES LTDA. Ingenieros Consultores	ARCHIVO: FIG06_226
DIBUJO: A. DUARTE C.	JULIO DE 2004	

000043





Relleno

Limo

Conglomerado

Arcilla

Arena

Conglomerado arcilloso

MINA DE AGREGADOS LA FISCALA
BOGOTA D.C

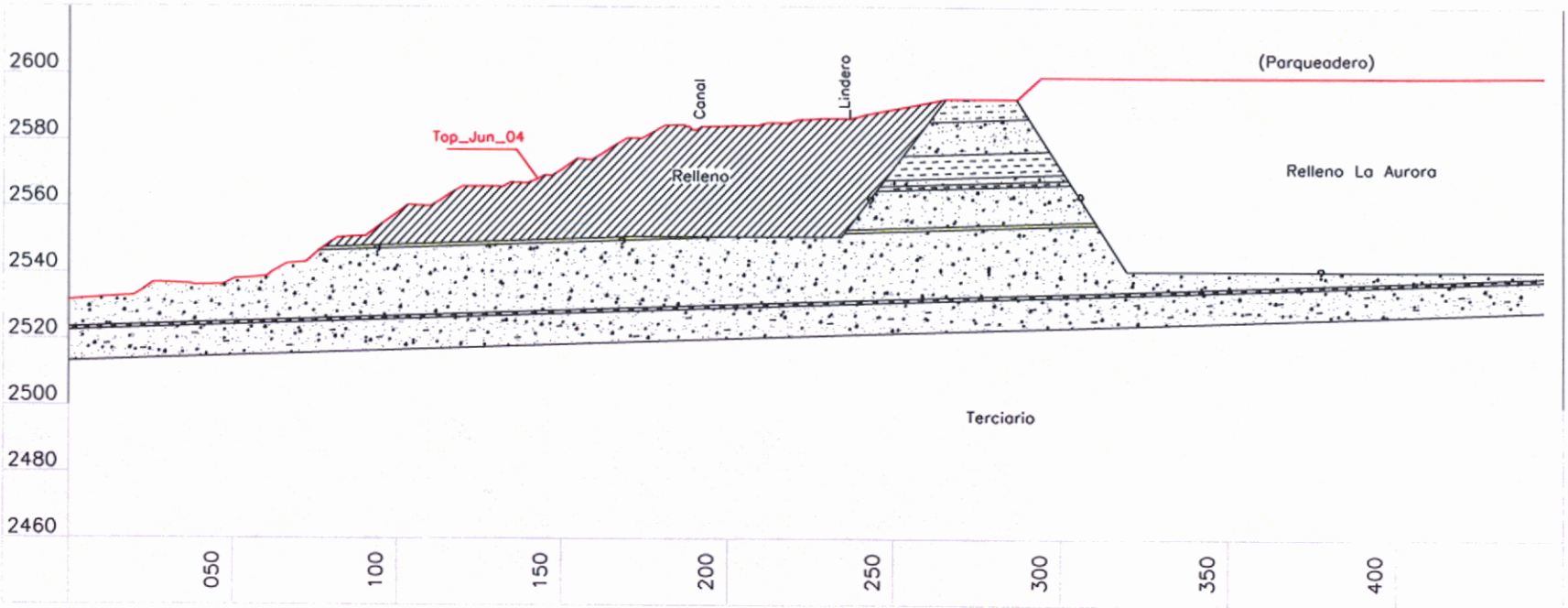
PERFIL GEOLOGICO–GEOTECNICO 2–2

0 20 40 60 80 100m

ESCALA – 1:2000

PREPARO: P. A. H. B. Geol. M.P 114	CEMEX CONCRETOS DE COLOMBIA S.A	FIGURA No. 7
REVISO: J. SILVA C. Ing. Civil Geotéc.	ROCAS Y MINERALES LTDA. Ingenieros Consultores	ARCHIVO: FIG07_226
DIBUJO: A. DUARTE C.	JULIO DE 2004	

000044





Relleno

Limo

Conglomerado

Arcilla

Arena

Conglomerado arcilloso

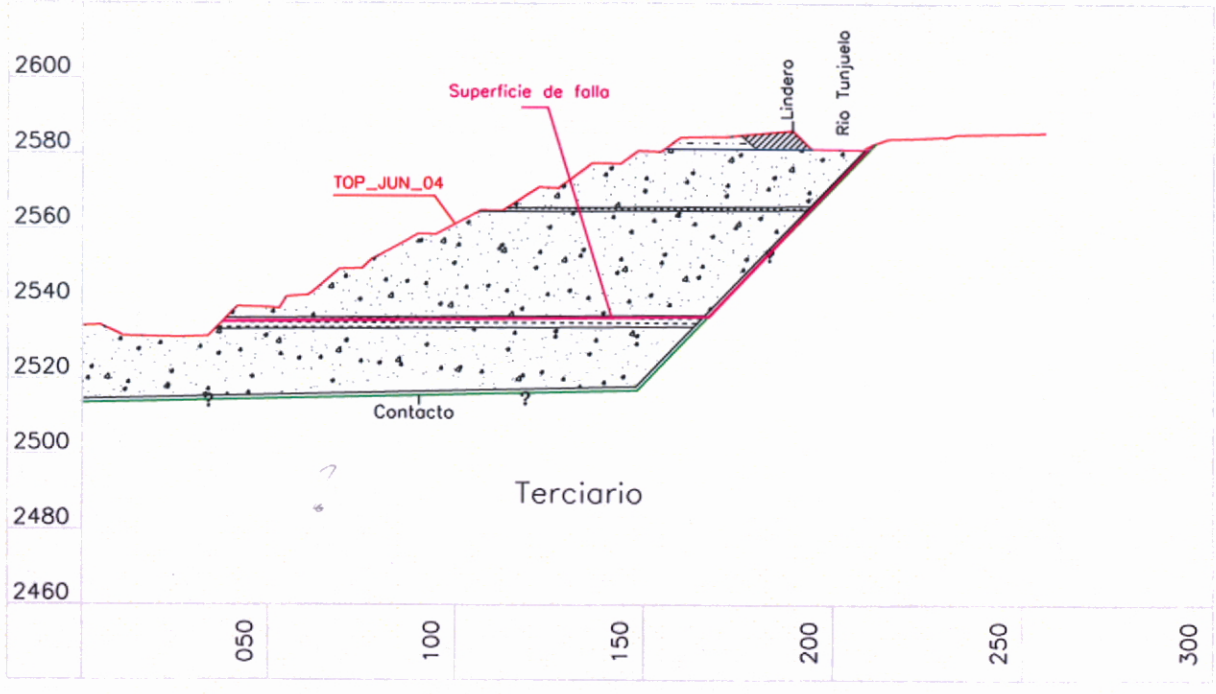
MINA DE AGREGADOS LA FISCALA
BOGOTA D.C
PERFIL GEOLOGICO–GEOTECNICO 3–3

0 20 40 60 80 100m

ESCALA – 1:2000

PREPARO: P. A. H. B. Geol. M.P 114	CEMEX CONCRETOS DE COLOMBIA S.A	FIGURA No. 8
REVISO: J. SILVA C. Ing. Civil Geotéc.	ROCAS Y MINERALES LTDA. Ingenieros Consultores	ARCHIVO: FIG08_226
DIBUJO: A. DUARTE C	JULIO DE 2004	

0000045



0000046



Relleno

Limo

Conglomerado

Arcilla

Arena

Conglomerado arcilloso

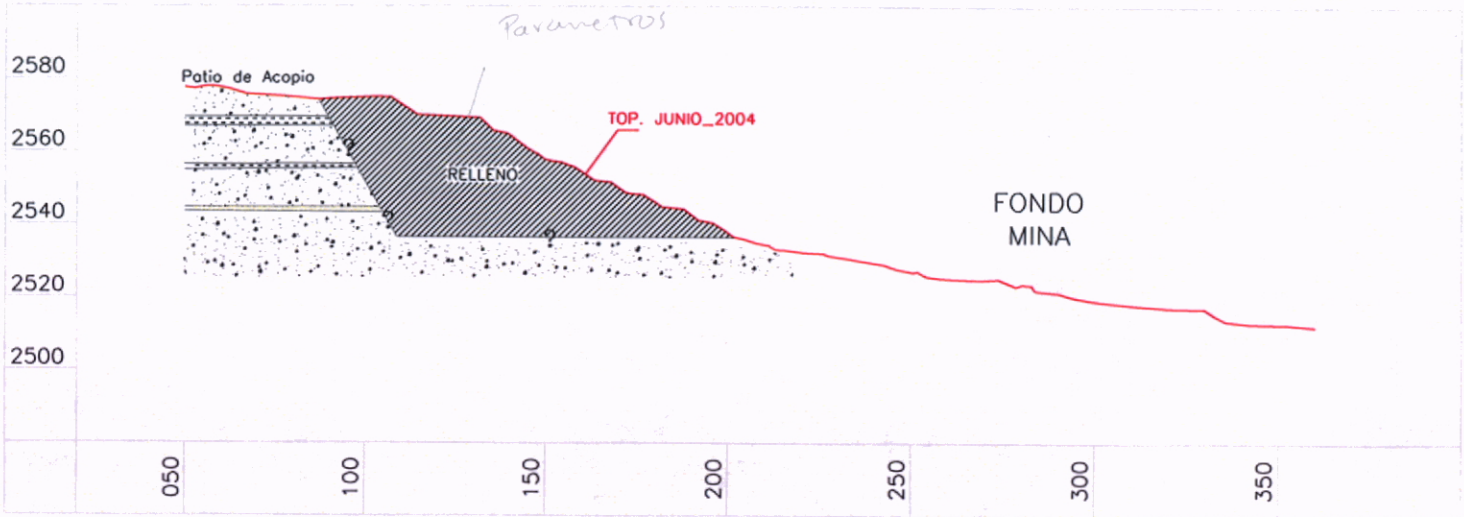
MINA DE AGREGADOS LA FISCALA
BOGOTA D.C

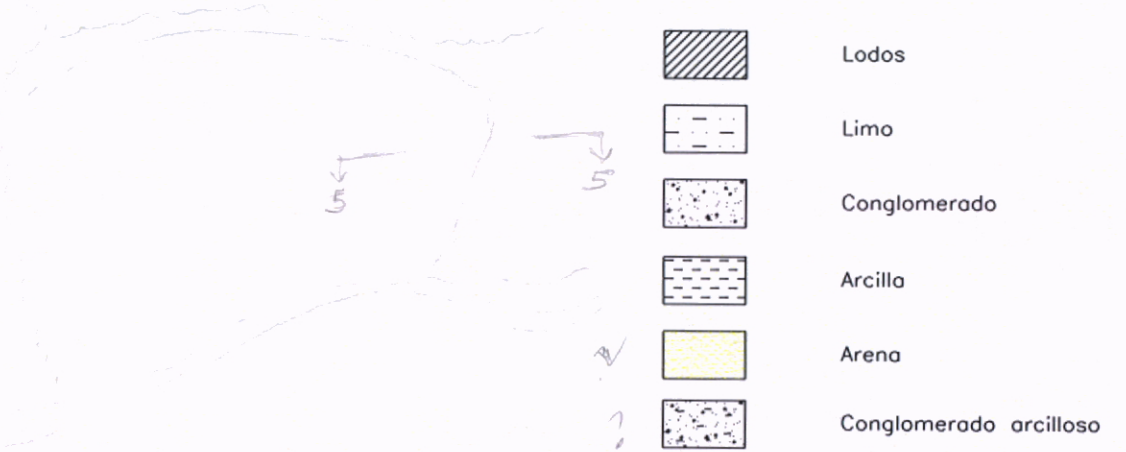
PERFIL GEOLOGICO-GEOTECNICO 4-4

0 20 40 60 80 100m

ESCALA - 1:2000

PREPARO: P. A. H. B. Geol. M.P 114	CEMEX CONCRETOS DE COLOMBIA S.A	FIGURA No. 9
REVISO. J. SILVA C. Ing. Civil Geotéc.	ROCAS Y MINERALES LTDA. Ingenieros Consultores	ARCHIVO: FIG09_226
DIBUJO: A. DUARTE C	JULIO DE 2004	





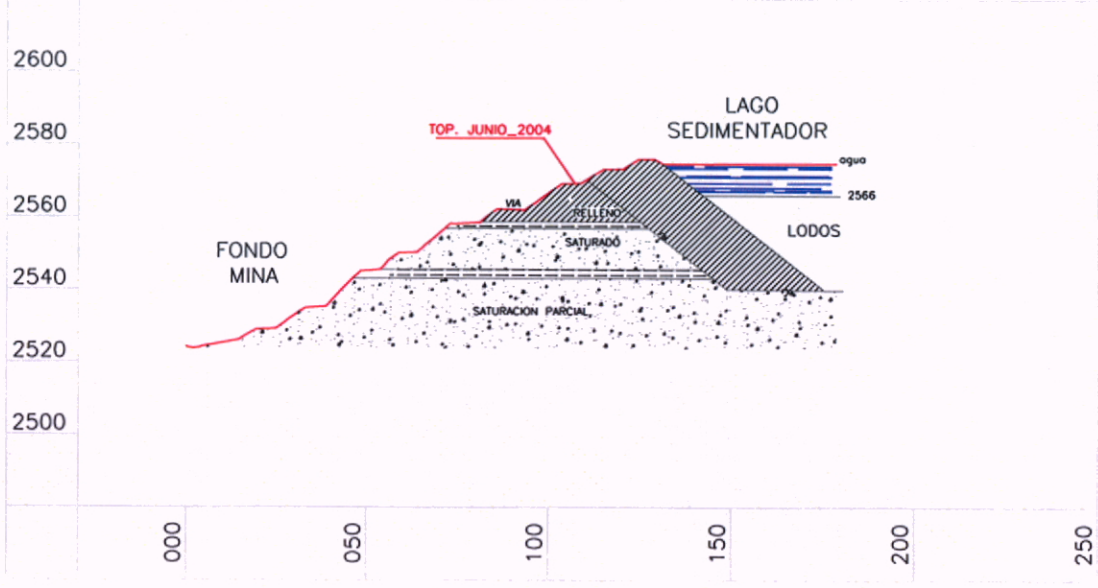
MINA DE AGREGADOS LA FISCALA
BOGOTA D.C

PERFIL GEOLOGICO–GEOTECNICO 5–5

0 20 40 60 80 100m

ESCALA – 1:2000

PREPARO: P. A. H. B. Geol. M.P 114	CEMEX CONCRETOS DE COLOMBIA S.A	FIGURA No. 10
REVISO. J. SILVA C. Ing. Civil Geotéc.	ROCAS Y MINERALES LTDA. Ingenieros Consultores	ARCHIVO: FIG10_226
DIBUJO: A. DUARTE C	JULIO DE 2004	



820000

Lodos

Limo

Conglomerado

Arcilla

Arena

Conglomerado arcilloso

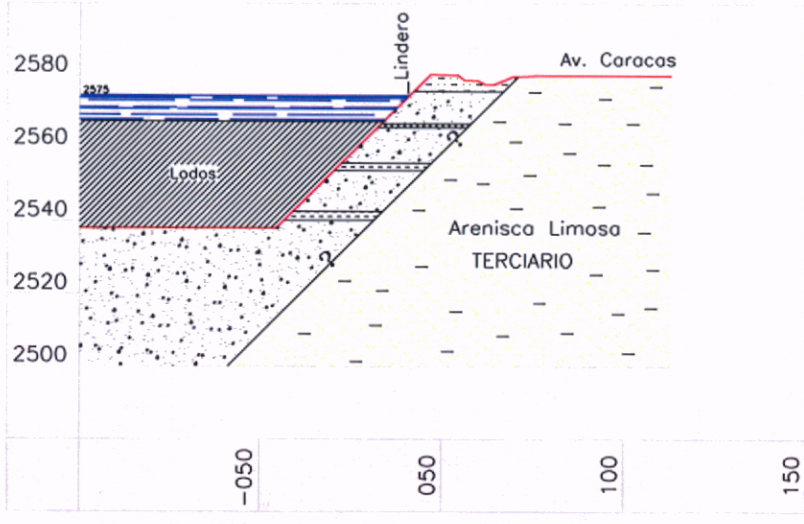
MINA DE AGREGADOS LA FISCALA
BOGOTA D.C

PERFIL GEOLOGICO-GEOTECNICO 6-6

0 20 40 60 80 100m

ESCALA - 1:2000

PREPARO: P. A. H. B. Geol. M.P 114	CEMEX CONCRETOS DE COLOMBIA S.A	FIGURA No. 11
REVISO. J. SILVA C. Ing. Civil Geotéc.	ROCAS Y MINERALES LTDA. Ingenieros Consultores	ARCHIVO: FIG11_226
DIBUJO: A. DUARTE C.	JULIO DE 2004	



670000

Lodos

Limo

Conglomerado

Arcilla

Arena

Conglomerado arcilloso

MINA DE AGREGADOS LA FISCALA
BOGOTA D.C

PERFIL GEOLOGICO-GEOTECNICO 7-7

0 20 40 60 80 100m

ESCALA - 1:2000

PREPARO: P. A. H. B. Geol. M.P 114	CEMEX CONCRETOS DE COLOMBIA S.A	FIGURA No. 12
REVISO: J. SILVA C. Ing. Civil Geotéc.	ROCAS Y MINERALES LTDA. Ingenieros Consultores	ARCHIVO: FIG12_226
DIBUJO: A. DUARTE C	JULIO DE 2004	

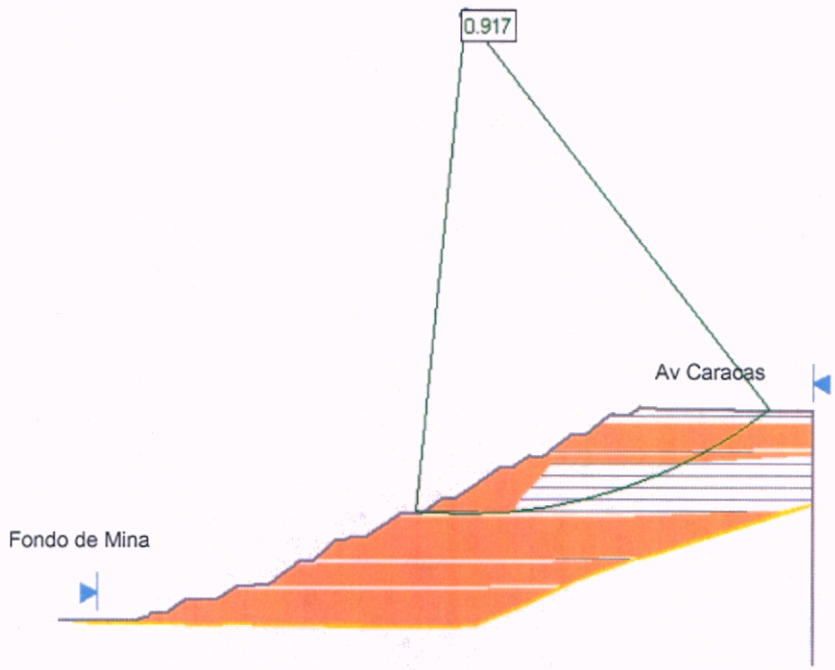


Figura 13. Perfil 1 Sector Av. Caracas superficie de falla crítica.

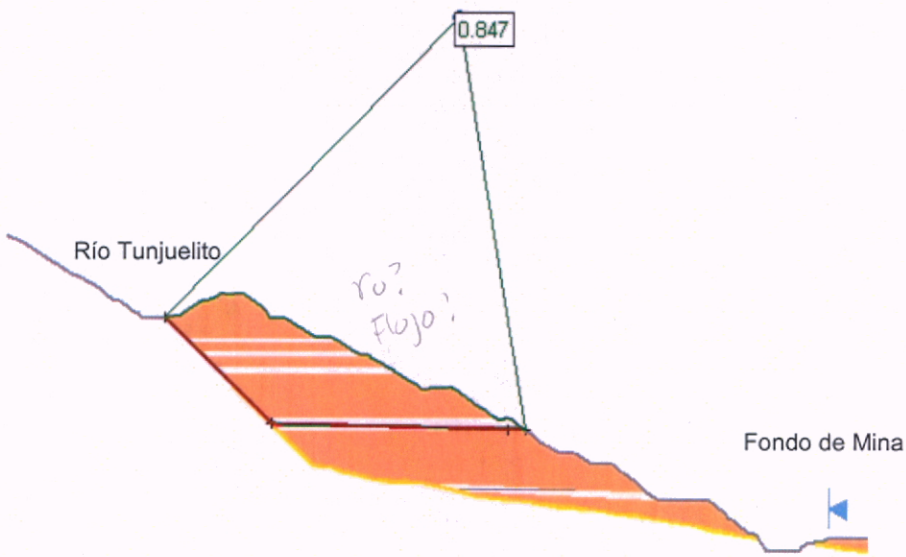


Figura 14. Perfil 1 Sector Río Tujuelito superficie de falla crítica

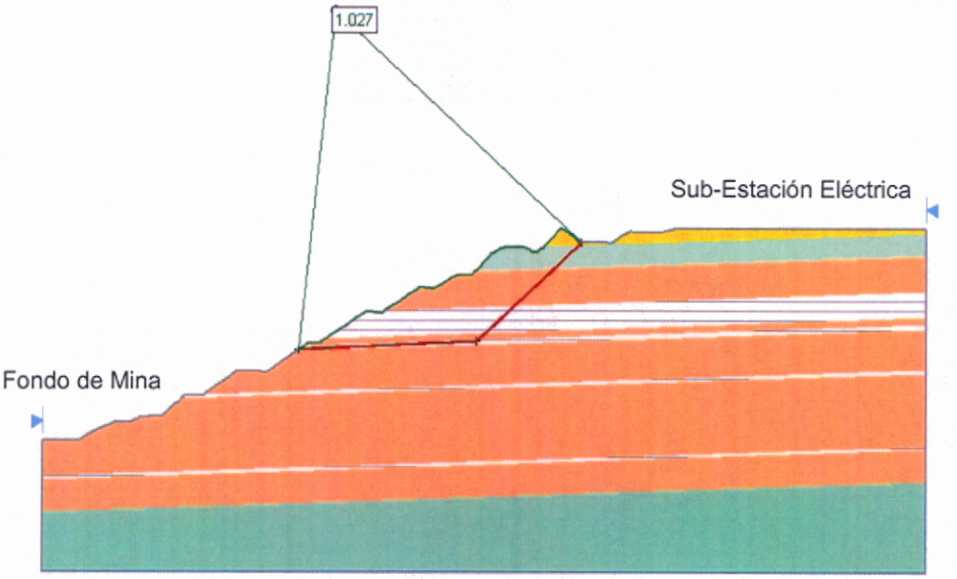


Figura 15. Perfil 2 Sector Sub-Estación (Barrio) Eléctrica superficie de falla crítica

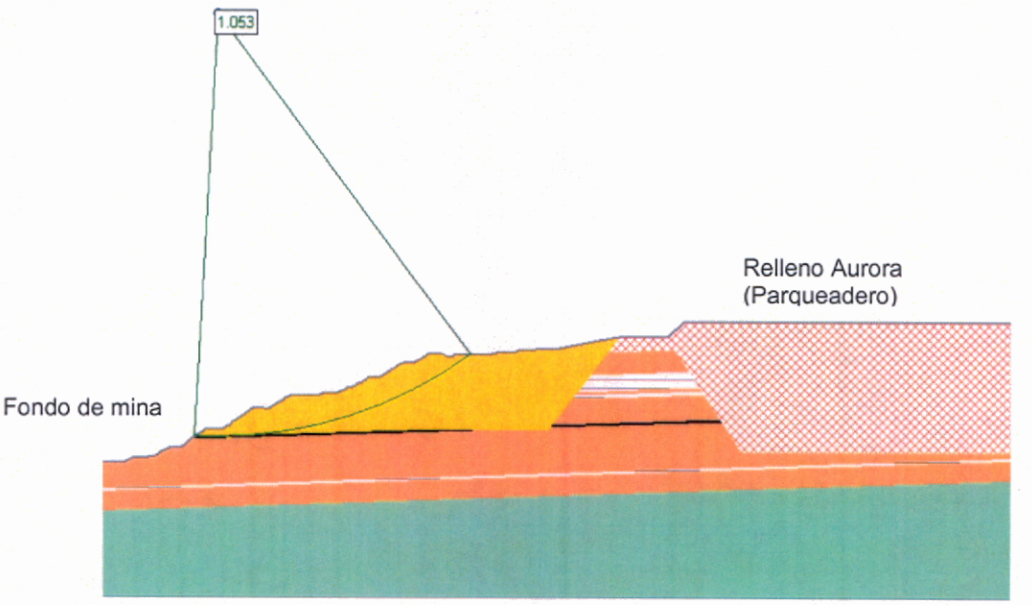


Figura 16. Perfil 3 Sector Relleno La Aurora superficie de falla crítica

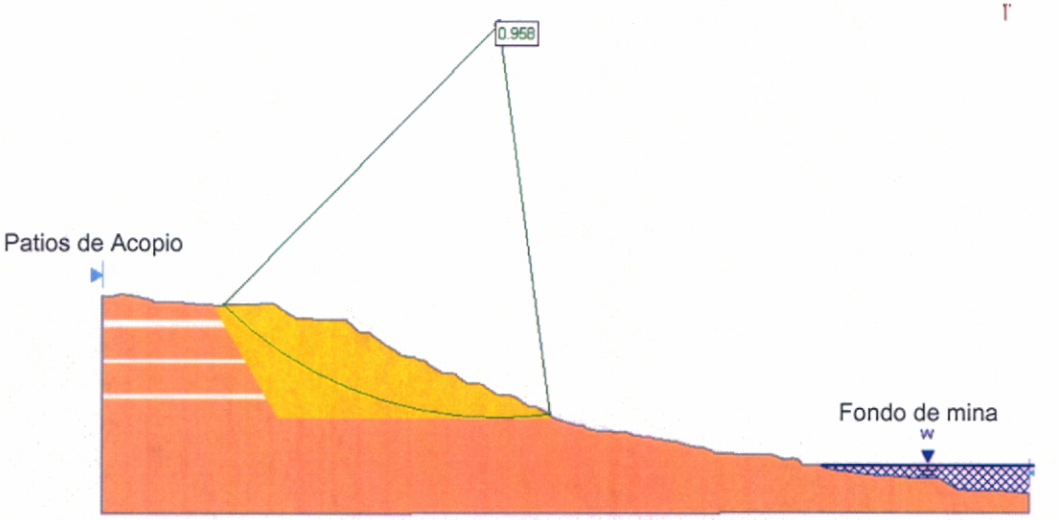


Figura 17. Perfil 5 Sector Patios de Acopio Cemex superficie de falla crítica

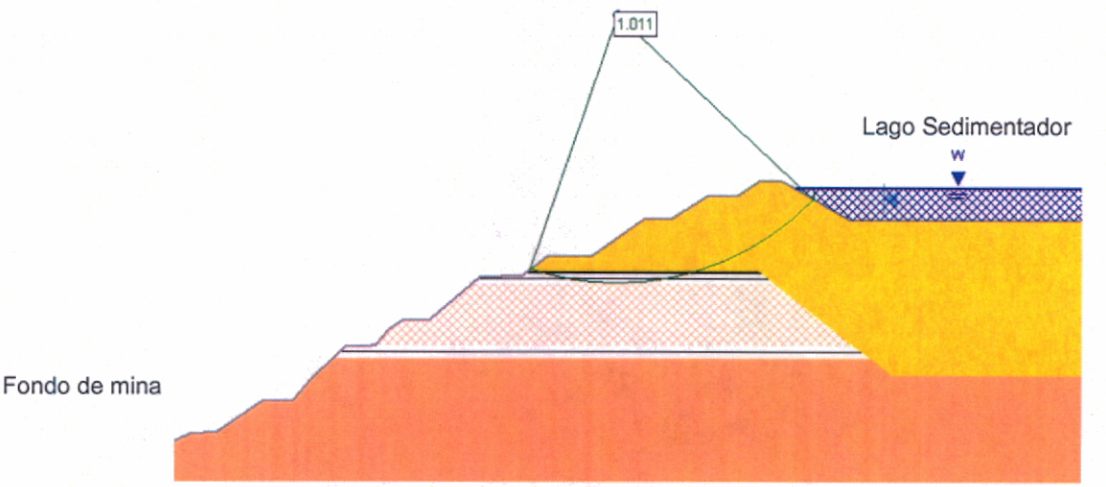


Figura 18. Perfil 6 Sector Lago Sedimentador superficie de falla crítica

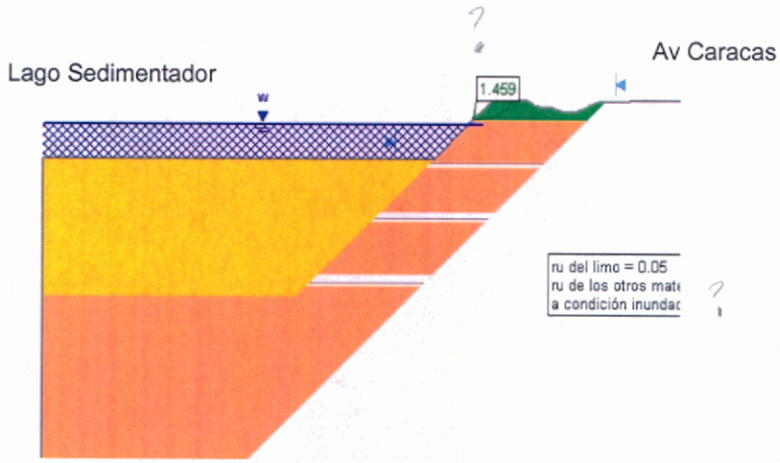
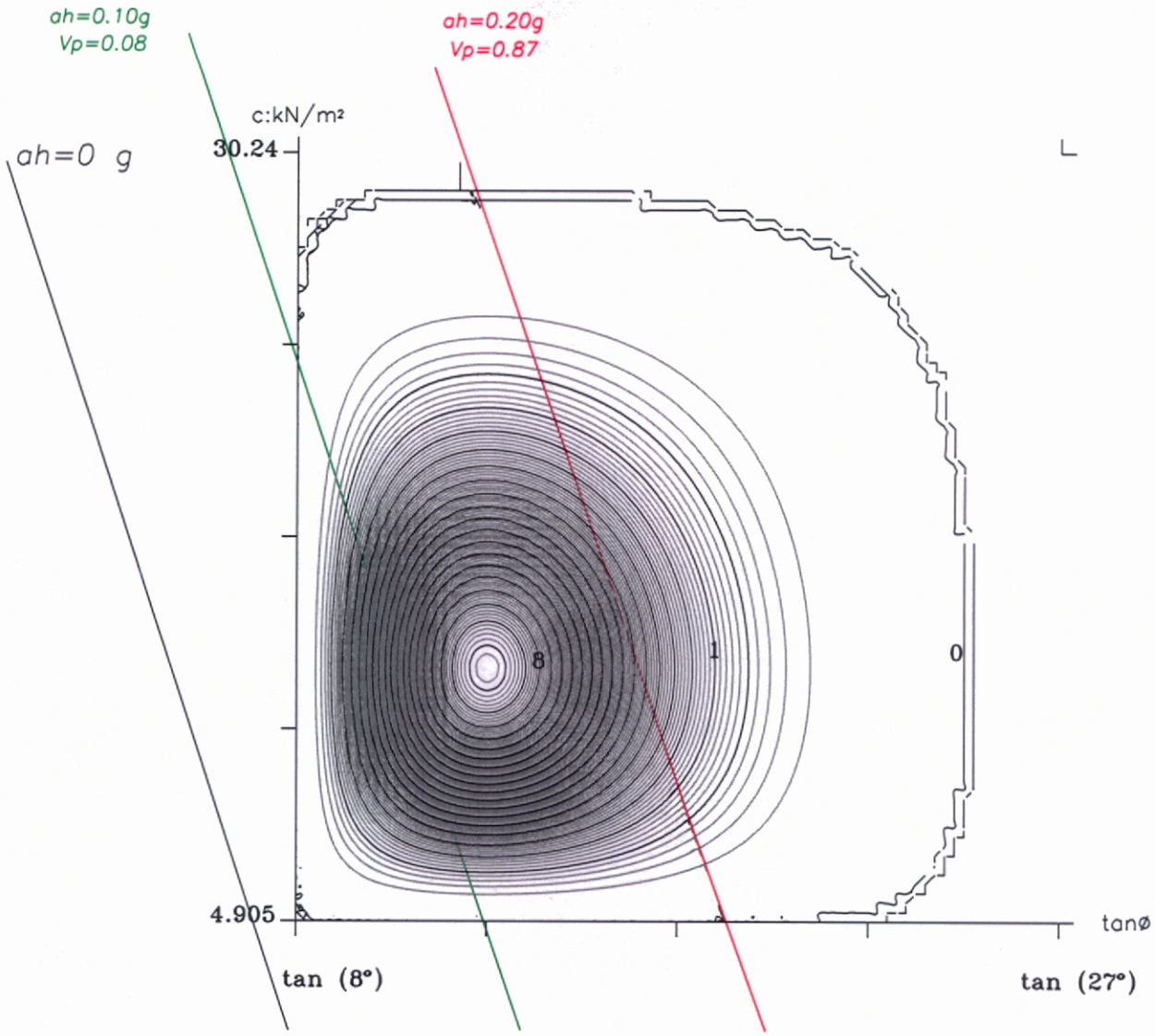


Figura 19. Perfil 7 Sector Lago Sedimentador – Av Caracas superficie de falla crítica



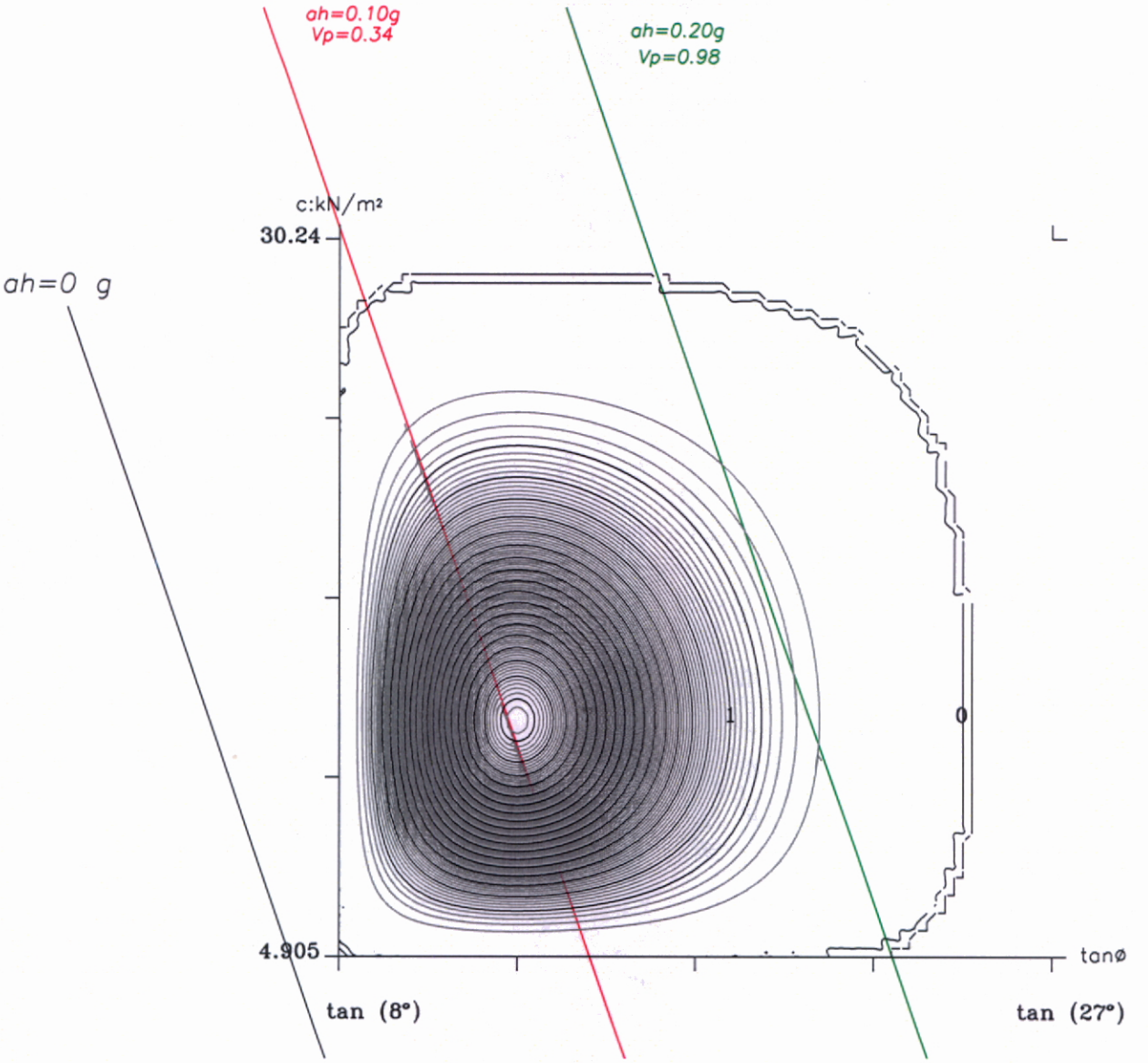
ru = 0.05

Vp= Probabilidad que c y ϕ sean menores que los requeridos para el equilibrio.
a_h= Aceleración horizontal.

MINA DE AGREGADOS LA FISCALA
BOGOTA D.C

PERFIL 1
DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD CONJUNTA DE c y tanø
TALUD AV. CARACAS CONDICION ACTUAL – ARCILLA
Material que falla: arcilla

PREPARO: I. GOMEZ G. Geol. Geotéc.	CEMEX CONCRETOS DE COLOMBIA S.A	FIGURA No. 20
REVISO: J. SILVA C. Ing. Civil Geotéc.	ROCAS Y MINERALES LTDA. Ingenieros Consultores	ARCHIVO: FIG20_226
DIBUJO: A. DUARTE C.	JULIO DE 2004	



ru = 0.125

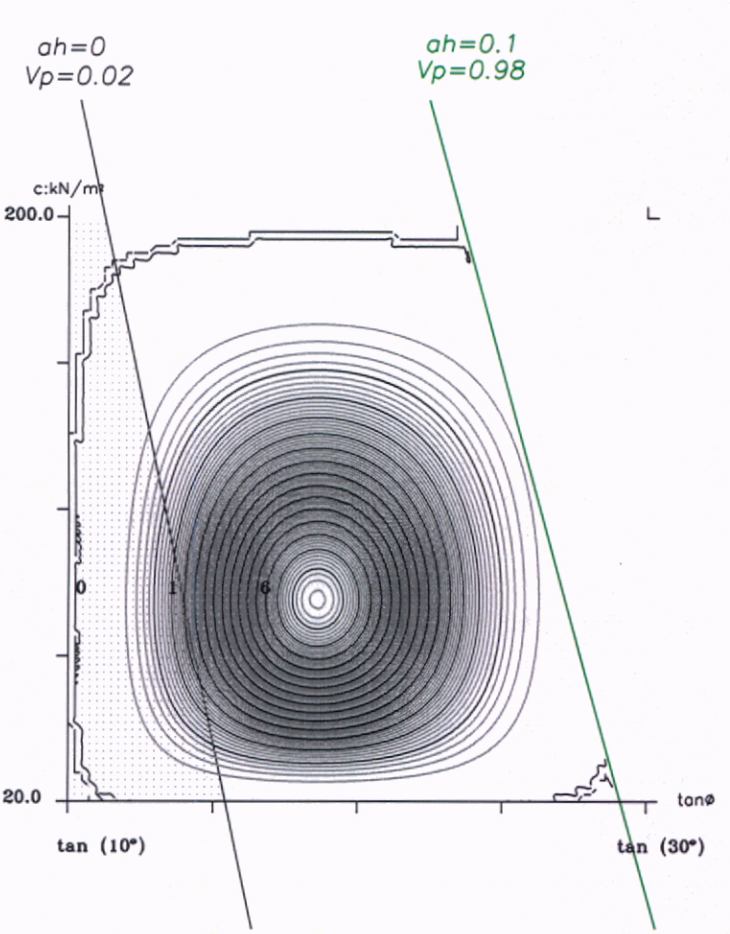
Vp= Probabilidad que c y ϕ sean menores que los requeridos para el equilibrio.

a:= Aceleración horizontal

MINA DE AGREGADOS LA FISCALA
BOGOTA D.C

PERFIL 1
DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD CONJUNTA DE c y tanø
TALUD TUNJUELO CONDICION ACTUAL
Material que falla: arcilla

PREPARO: I. GOMEZ G. Geol. Geotéc.	CEMEX CONCRETOS DE COLOMBIA S.A	FIGURA No. 21
REVISO. J. SILVA C. Ing. Civil Geotéc.	ROCAS Y MINERALES LTDA. Ingenieros Consultores	ARCHIVO: FIG21_226
DIBUJO: A. DUARTE C.	JULIO DE 2004	



ru = 0.125

Vp= Probabilidad que c y ϕ sean menores que los requeridos para el equilibrio.

a_h= Aceleración horizontal.

MINA DE AGREGADOS LA FISCALA
BOGOTA D.C

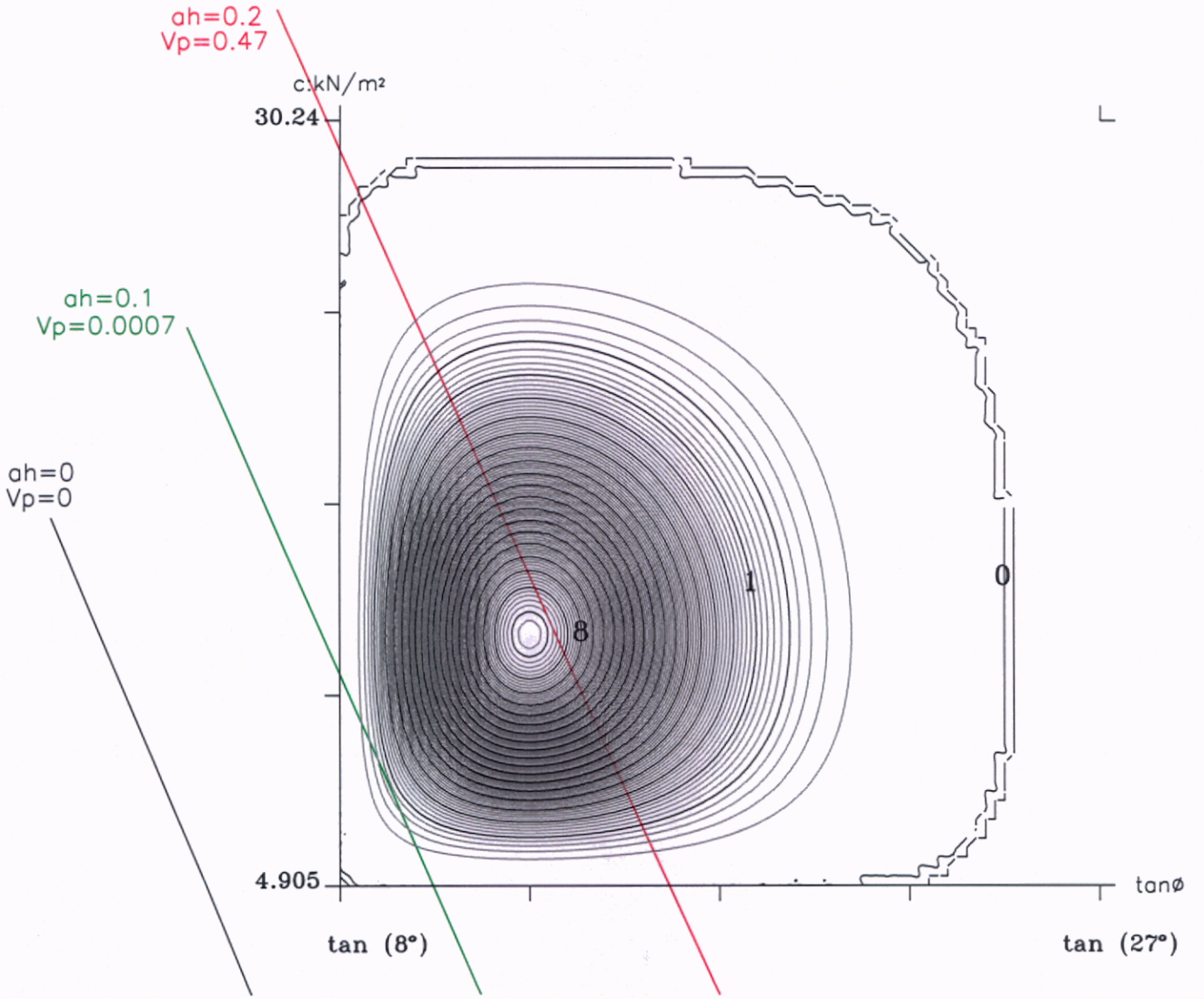
PERFIL 1

DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD CONJUNTA DE c y tanø

TALUD TUNJUELO CONDICION ACTUAL

Material que falla: Contacto con rocas del Terciario

PREPARO: I. GOMEZ G. Geol. Geotéc.	CEMEX CONCRETOS DE COLOMBIA S.A	FIGURA No. 22
REVISO. J. SILVA C. Ing. Civil Geotéc.	ROCAS Y MINERALES LTDA. Ingenieros Consultores	ARCHIVO: FIG22_226
DIBUJO: A. DUARTE C.	JULIO DE 2004	



ru = 0.05

Vp= Probabilidad que c y ϕ sean menores que los requeridos para el equilibrio.

a_h= Aceleración horizontal.

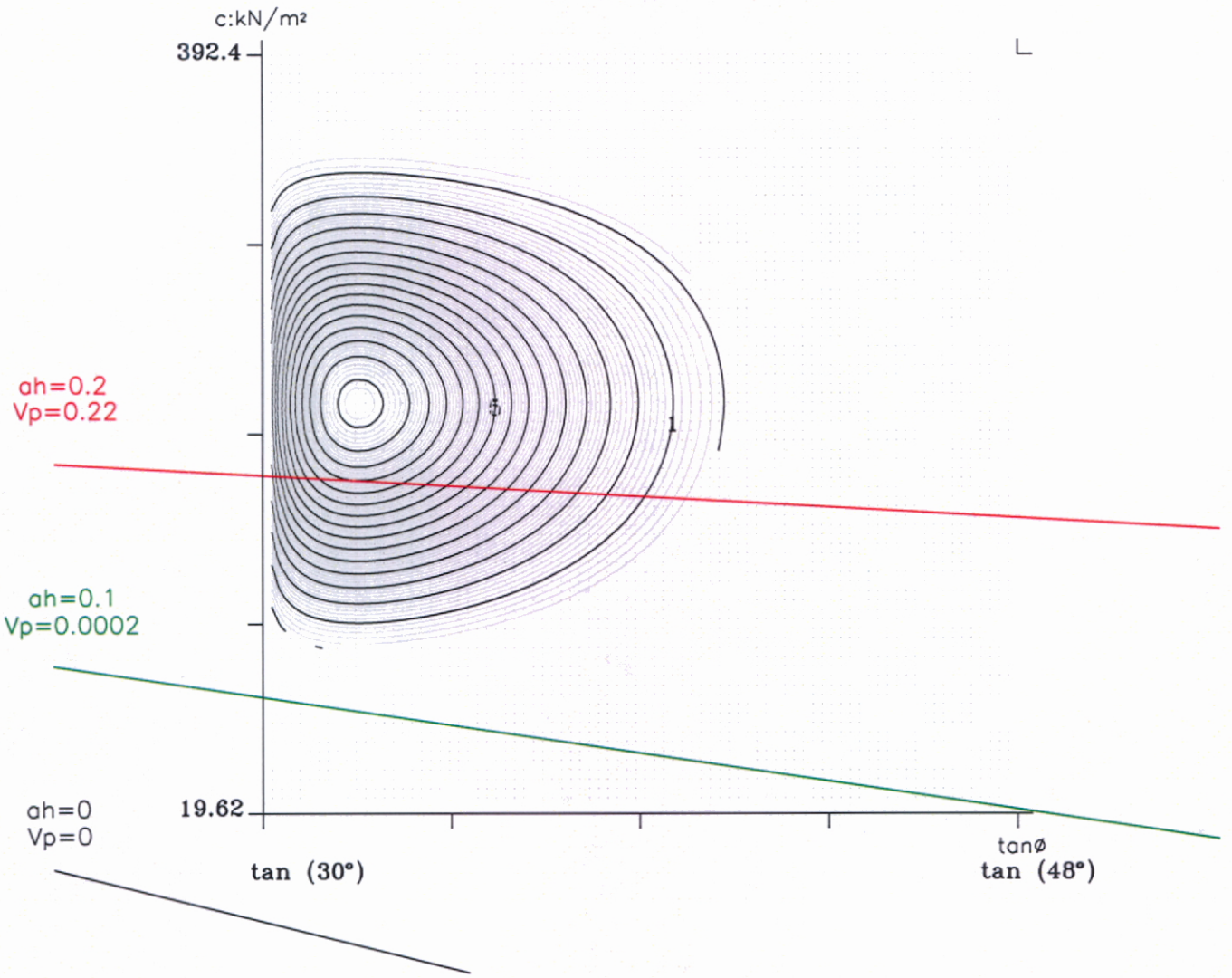
MINA DE AGREGADOS LA FISCALA
BOGOTA D.C

PERFIL 2

DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD CONJUNTA DE c y Tan ø

Material que falla: arcilla

PREPARO: I. GOMEZ G. Geol. Geotéc.	CEMEX CONCRETOS DE COLOMBIA S.A	FIGURA No. 23
REVISO: J. SILVA C. Ing. Civil Geotéc.	ROCAS Y MINERALES LTDA. Ingenieros Consultores	ARCHIVO: FIG23_226
DIBUJO: A. DUARTE C.	JULIO DE 2004	



ru = 0.05

Vp= Probabilidad que c y ϕ sean menores que los requeridos para el equilibrio.

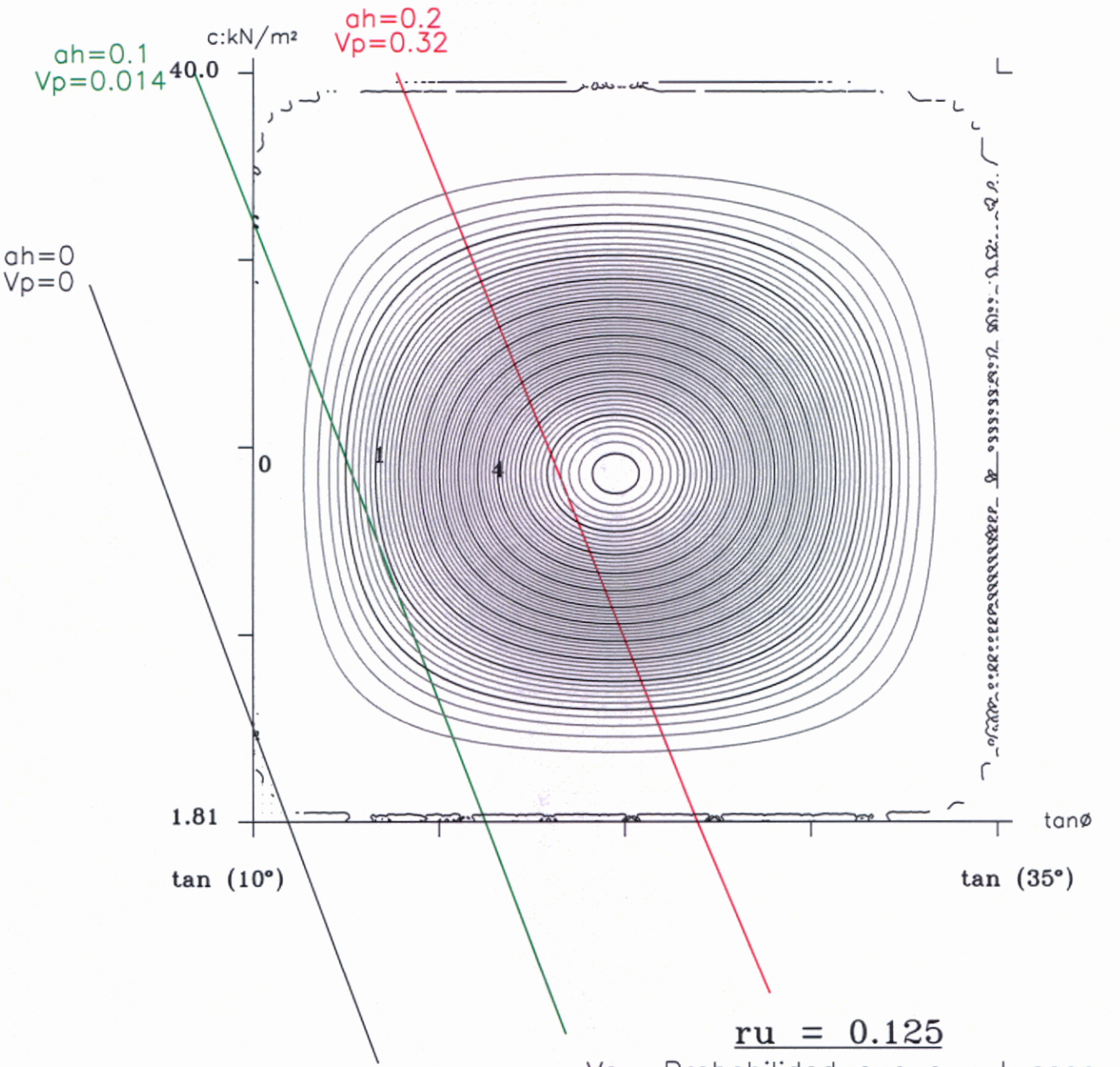
a_h= Aceleración horizontal.

MINA DE AGREGADOS LA FISCALA
BOGOTA D.C

PERFIL 2

DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD CONJUNTA DE c y Tan ø
Condición actual
Material que falla: Conglomerado

PREPARO: I. GOMEZ G. Geol. Geotéc.	CEMEX CONCRETOS DE COLOMBIA S.A	FIGURA No. 24
REVISO: J. SILVA C. Ing. Civil Geotéc.	ROCAS Y MINERALES LTDA. Ingenieros Consultores	ARCHIVO: FIG24_226
DIBUJO: A. DUARTE C.	JULIO DE 2004	



ru = 0.125

Vp= Probabilidad que c y ϕ sean menores que los requeridos para el equilibrio.

a_h= Aceleración horizontal.

MINA DE AGRAGADOS LA FISCALA
BOGOTA D.C

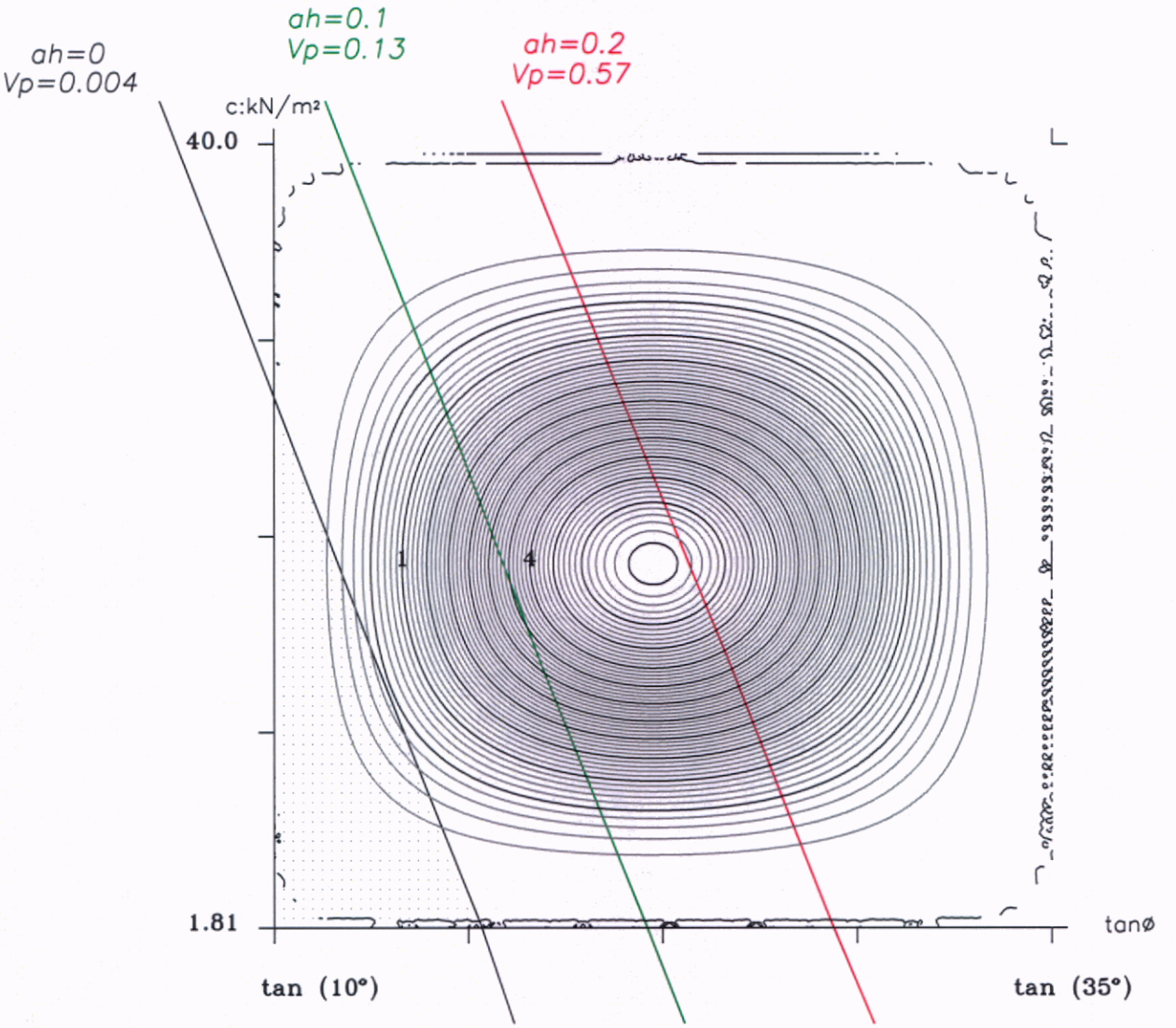
PERFIL 3

DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD CONJUNTA DE c y Tan ø

Condición actual

Material que falla: Relleno

PREPARO: I. GOMEZ G. Geol. Geotéc.	CEMEX CONCRETOS DE COLOMBIA S.A	FIGURA No. 25
REVISO: J. SILVA C. Ing. Civil Geotéc.	ROCAS Y MINERALES LTDA. Ingenieros Consultores	ARCHIVO: FIG25_226
DIBUJO: A. DUARTE C.	JULIO DE 2004	



ru = 0.05

Vp= Probabilidad que c y ϕ sean menores que los requeridos para el equilibrio.

a_h= Aceleración horizontal.

MINA DE AGREGADOS LA FISCALA
BOGOTA D.C

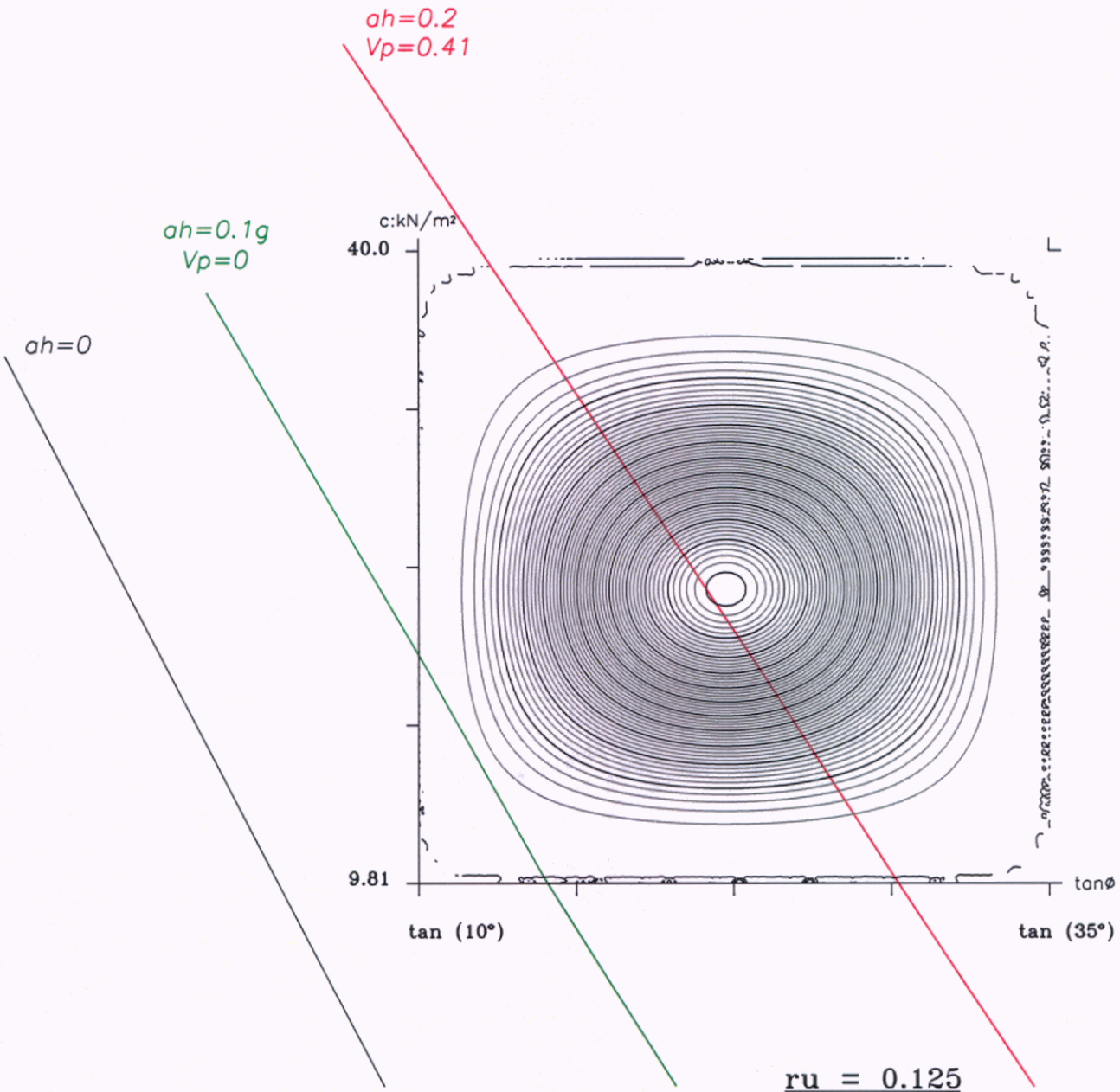
PERFIL 5

DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD CONJUNTA DE c y Tan ø

Condición actual

Material que falla: Relleno

PREPARO: I. GOMEZ G. Geol. Geotéc.	CEMEX CONCRETOS DE COLOMBIA S.A	FIGURA No. 26
REVISO: J. SILVA C. Ing. Civil Geotéc.	ROCAS Y MINERALES LTDA. Ingenieros Consultores	ARCHIVO: FIG26_226
DIBUJO: A. DUARTE C.	JULIO DE 2004	



ru = 0.125

Vp= Probabilidad que c y ϕ sean menores que los requeridos para el equilibrio.

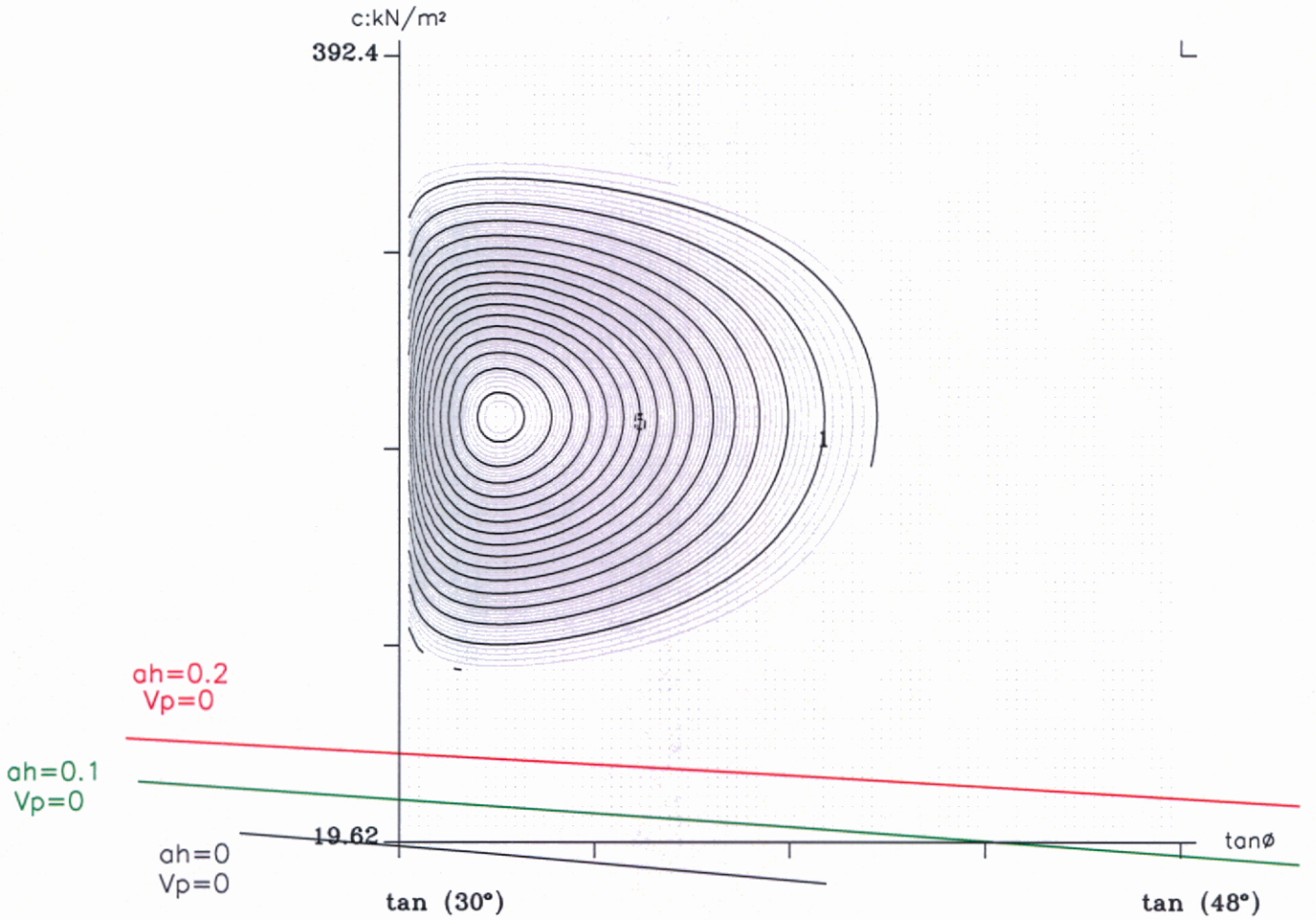
a_h= Aceleración horizontal.

MINA DE AGREGADOS LA FISCALA
BOGOTA D.C

PERFIL 6
DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD CONJUNTA DE c y Tan ø
Condición actual

Material que falla: Relleno

PREPARO: I. GOMEZ G. Geol. Geotéc.	CEMEX CONCRETOS DE COLOMBIA S.A	FIGURA No. 27
REVISO: J. SILVA C. Ing. Civil Geotéc.	ROCAS Y MINERALES LTDA. Ingenieros Consultores	ARCHIVO: FIG27_226
DIBUJO: A. DUARTE C.	JULIO DE 2004	



ru = 0.05

Vp= Probabilidad que c y ϕ sean menores que los requeridos para el equilibrio.

a_h= Aceleración horizontal.

MINA DE AGREGADOS LA FISCALA
BOGOTA D.C

PERFIL 7

DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD CONJUNTA DE c y Tan ø

Condición actual

Material que falla: Conglomerado

PREPARO: I. GOMEZ G. Geol. Geotéc.	CEMEX CONCRETOS DE COLOMBIA S.A	FIGURA No. 28
REVISO: J. SILVA C. Ing. Civil Geotéc.	ROCAS Y MINERALES LTDA. Ingenieros Consultores	ARCHIVO: FIG28_226
DIBUJO: A. DUARTE C.	JULIO DE 2004	

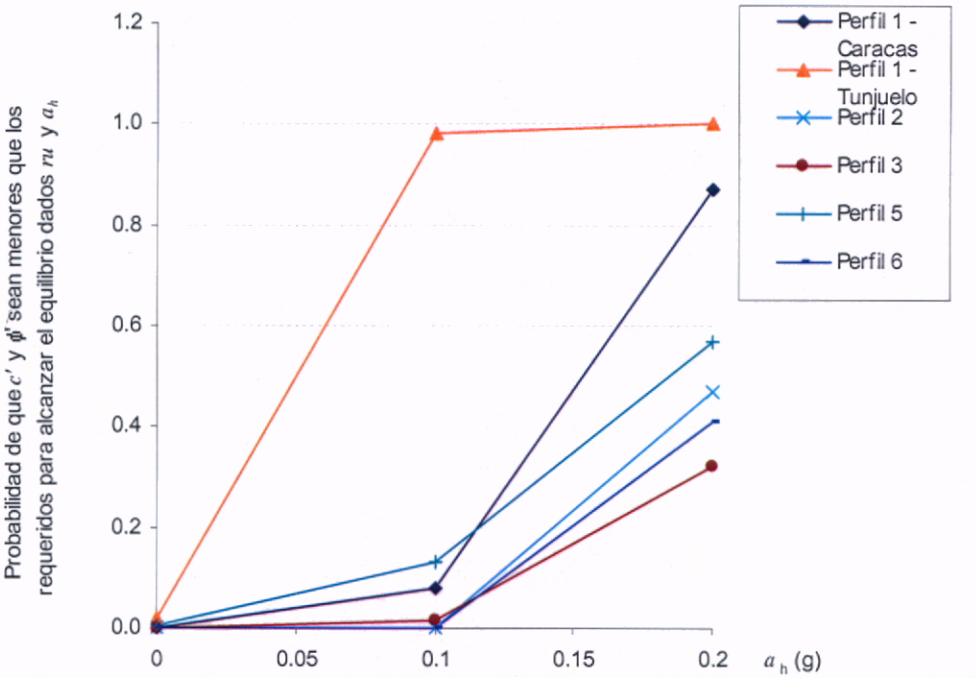


Figura 29. Variación de P($c' \leq c'_r$ y ($\phi' \leq \phi'_r$) con la aceleración horizontal, para la condición actual.

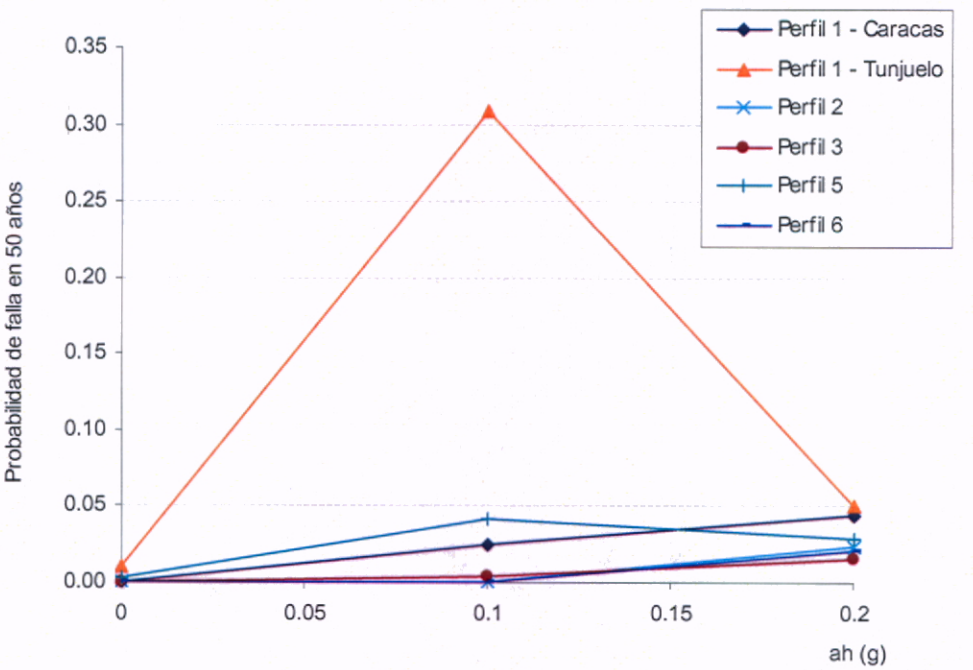


Figura 30. Variación de la probabilidad de falla en 50 años con la aceleración horizontal, para la condición actual.

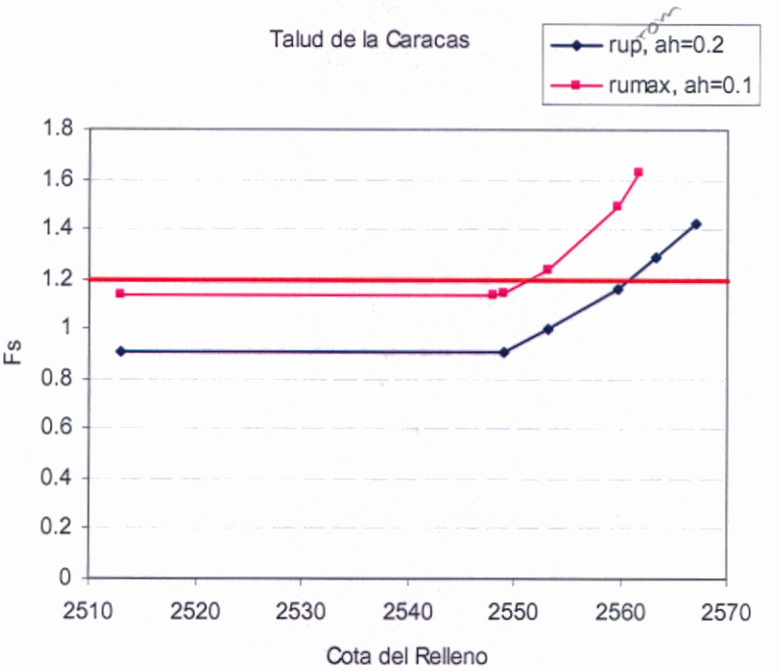


Figura 31. Factor de seguridad Vs cota de relleno Talud Av Caracas

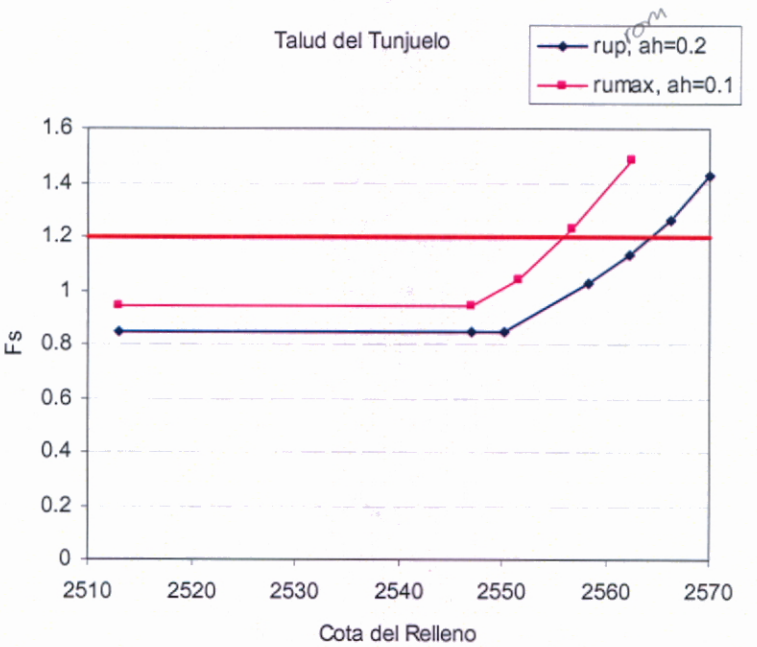


Figura 32. Factor de seguridad Vs cota de relleno Talud Río Tunjuelito

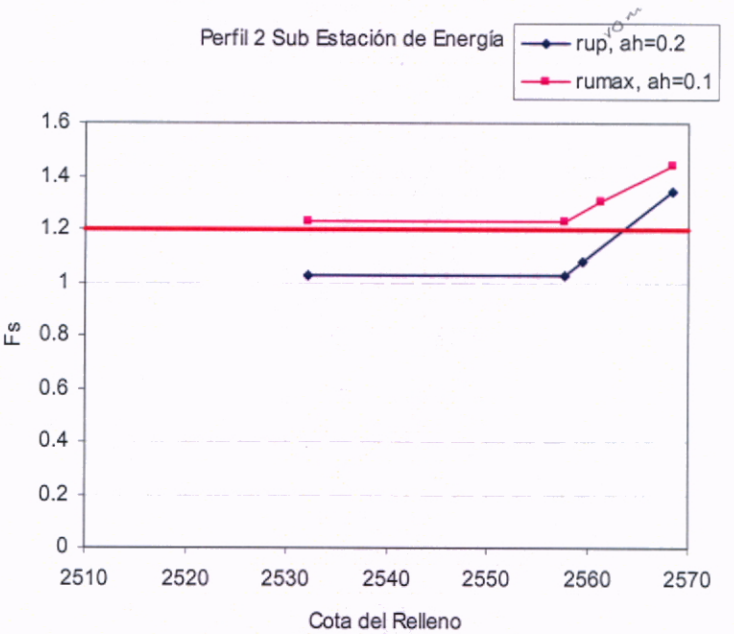


Figura 33. Factor de seguridad Vs cota de relleno Perfil 2 (Subestación de Energía)

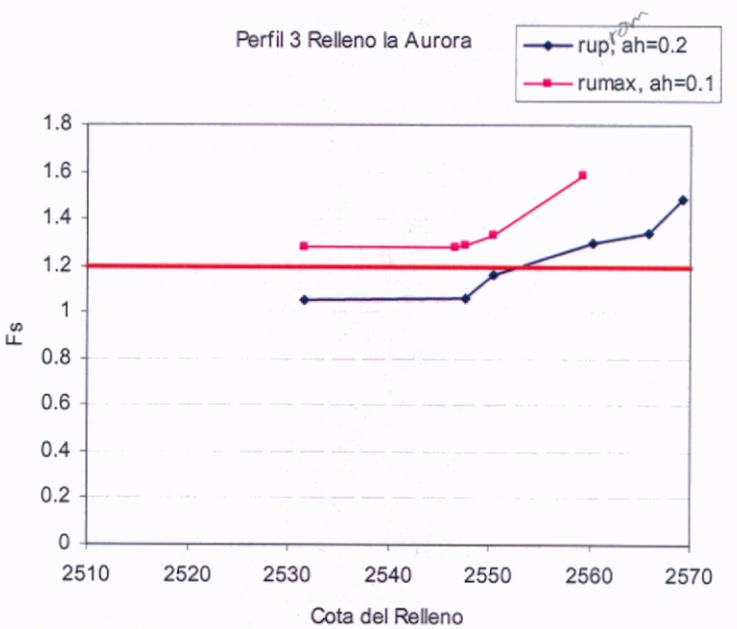


Figura 34. Factor de seguridad Vs cota de relleno Perfil 3 (Relleno La Aurora)

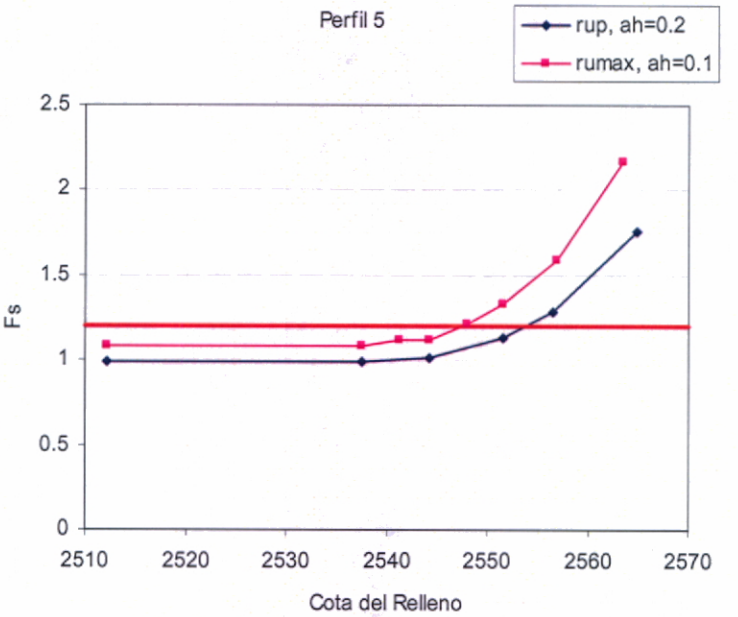


Figura 35. Factor de seguridad Vs cota de relleno Perfil 5 (Relleno Cemex)

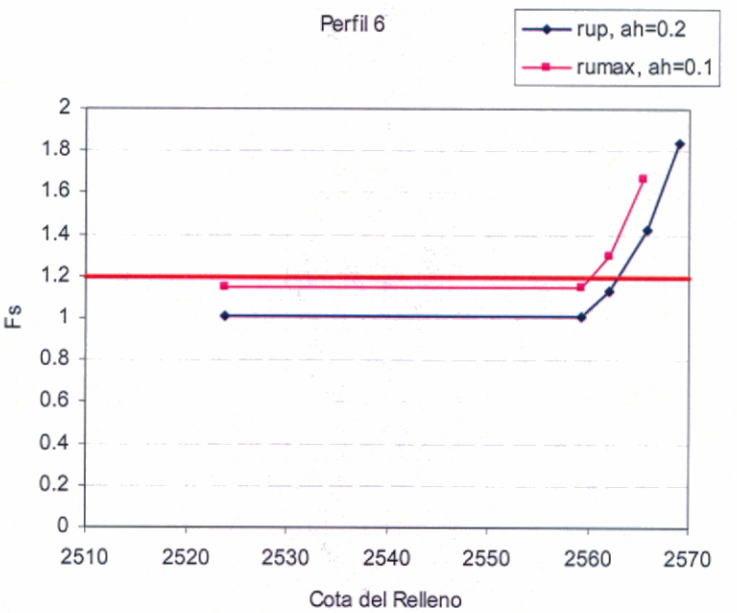
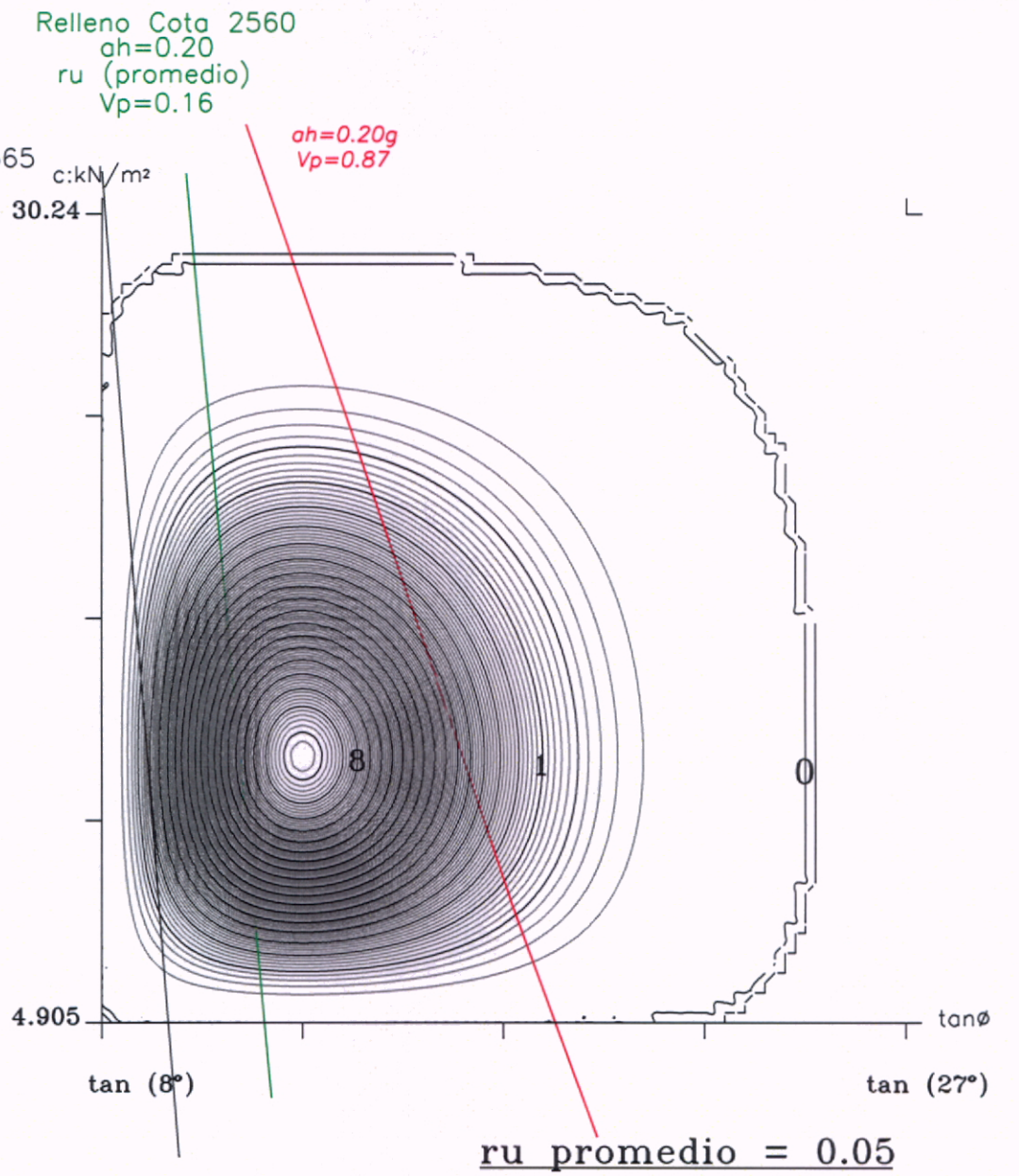


Figura 36. Factor de seguridad Vs cota de relleno Perfil 6 (lago Sedimentador)



ru promedio = 0.05

Vp= Probabilidad que c y ϕ sean menores que los requeridos para el equilibrio.

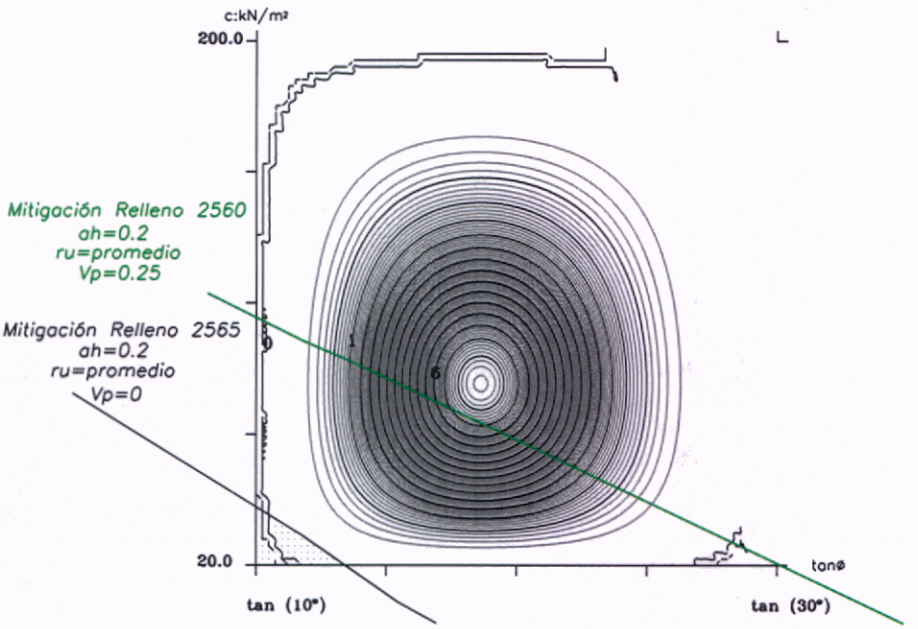
a_h= Aceleración horizontal.

MINA DE AGREGADOS LA FISCALA
BOGOTA D.C

PERFIL 1

DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD CONJUNTA DE c y Tan ø
TALUD DE LA Av. CARACAS
Condición de mitigación con retrollenado
Material que falla: Arcilla

PREPARO: I. GOMEZ G. Geol. Geotéc.	CEMEX CONCRETOS DE COLOMBIA S.A	FIGURA No. 37
REVISO: J. SILVA C. Ing. Civil Geotéc.	ROCAS Y MINERALES LTDA. Ingenieros Consultores	ARCHIVO: FIG37_226
DIBUJO: A. DUARTE C.	JULIO DE 2004	



ru = 0.125

Vp= Probabilidad que c y ϕ sean menores que los requeridos para el equilibrio.

a_h= Aceleración horizontal.

MINA DE AGREGADOS LA FISCALA
BOGOTA D.C

PERFIL 1

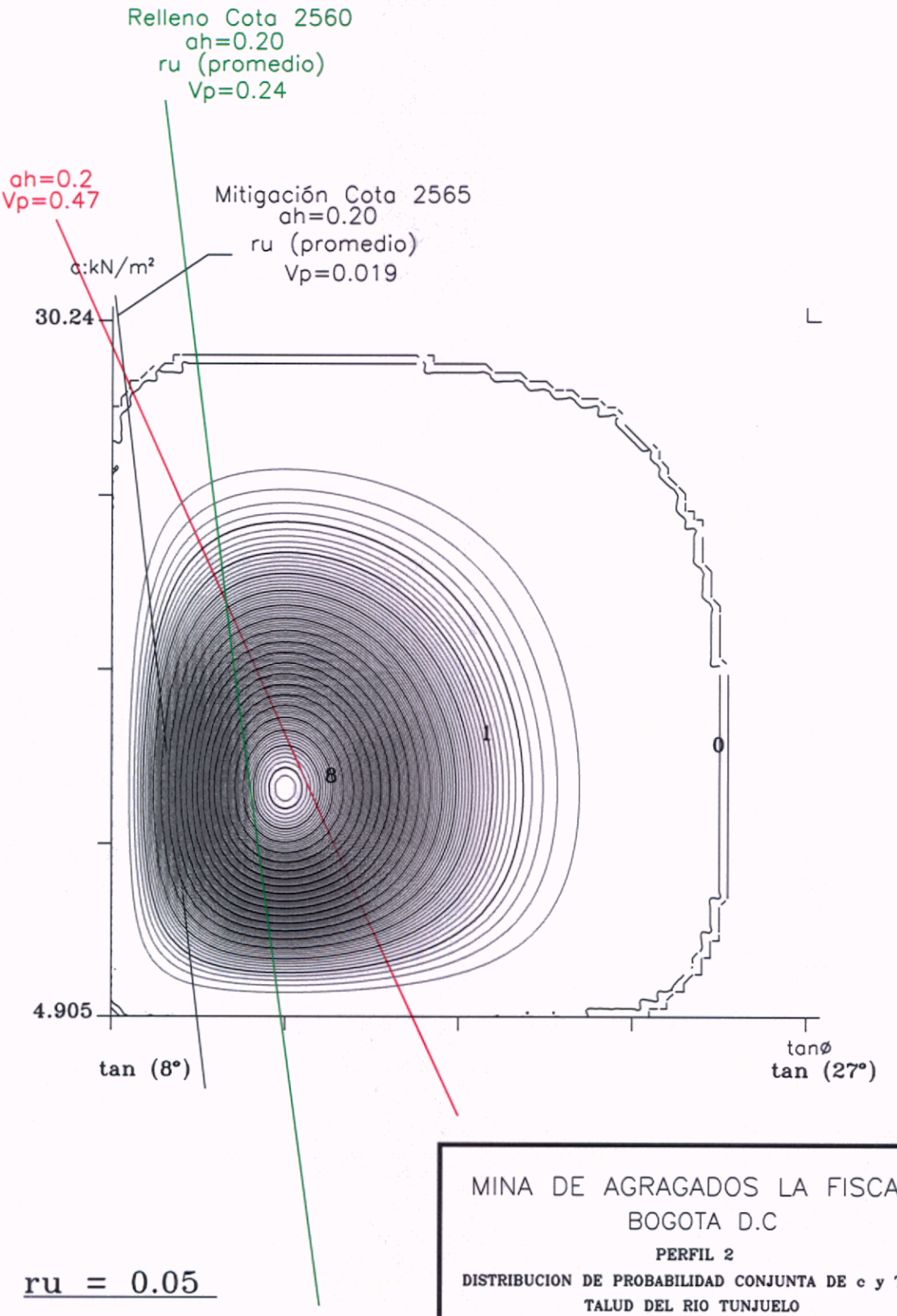
DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD CONJUNTA DE c y Tan ø

TALUD DEL RIO TUNJUELO

Condición de mitigación con retrollenado

Material que falla: Contacto con Roca del Terciario

PREPARO: I. GOMEZ G. Geol. Geotéc.	CEMEX CONCRETOS DE COLOMBIA S.A	FIGURA No. 38
REVISO: J. SILVA C. Ing. Civil Geotéc.	ROCAS Y MINERALES LTDA. Ingenieros Consultores	ARCHIVO: FIG38_226
DIBUJO: A. DUARTE C.	JULIO DE 2004	



ru = 0.05

Vp= Probabilidad que c y ϕ sean menores que los requeridos para el equilibrio.

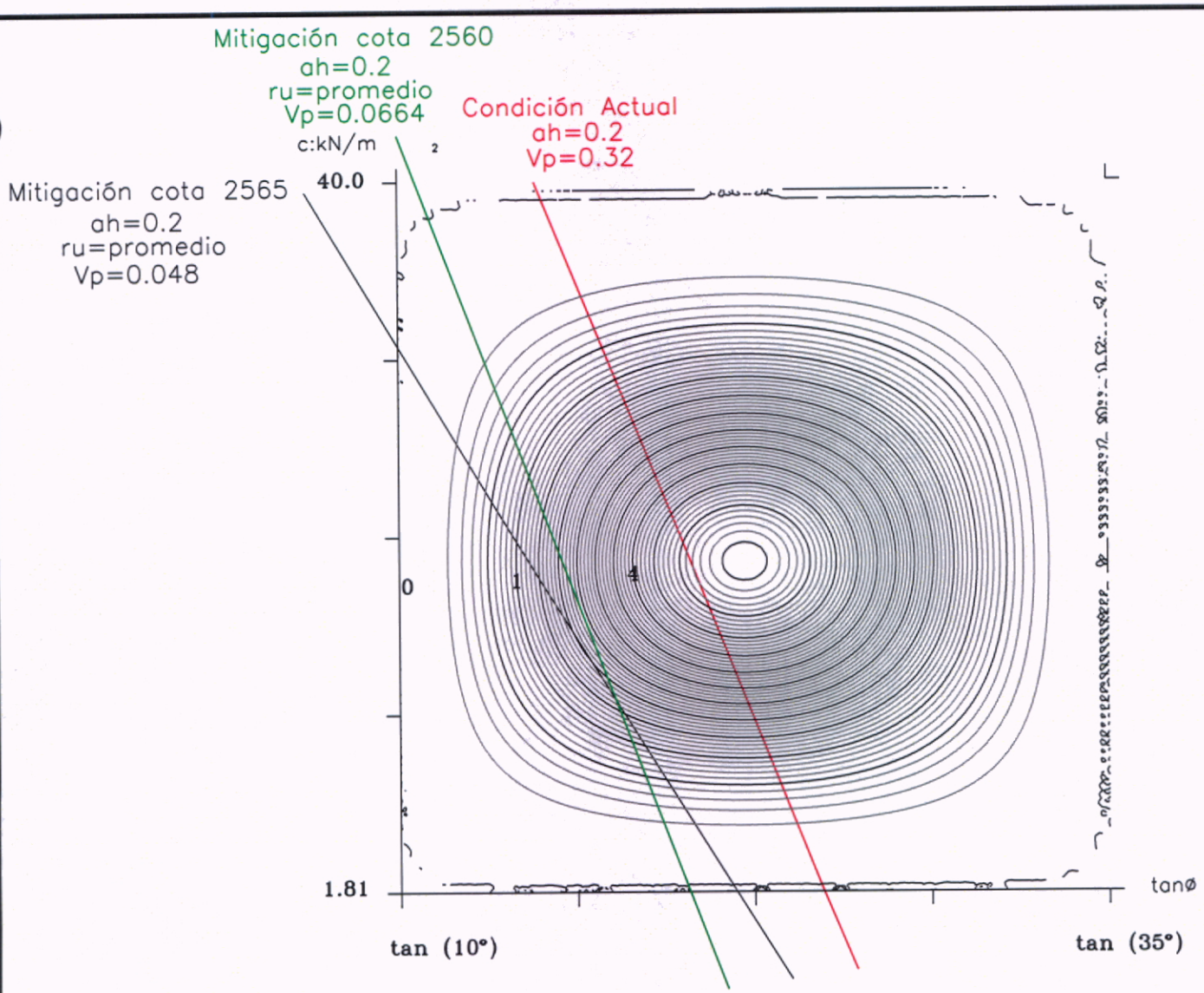
a_h= Aceleración horizontal.

MINA DE AGRAGADOS LA FISCALA
BOGOTA D.C

PERFIL 2

DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD CONJUNTA DE c y Tan ø
TALUD DEL RIO TUNJUELO
Condición de mitigación con retrollenado
Material que falla: Arcilla

PREPARO: I. GOMEZ G. Geol. Geotéc.	CEMEX CONCRETOS DE COLOMBIA S.A	FIGURA No. 39
REVISO: J. SILVA C. Ing. civil Geotéc.	ROCAS Y MINERALES LTDA. Ingenieros Consultores	ARCHIVO: FIG39_226
DIBUJO: A. DUARTE C.	JULIO DE 2004	



ru = 0.05

Vp= Probabilidad que c y ϕ sean menores que los requeridos para el equilibrio.

a_h= Aceleración horizontal.

MINA DE AGREGADOS LA FISCALA
BOGOTA D.C

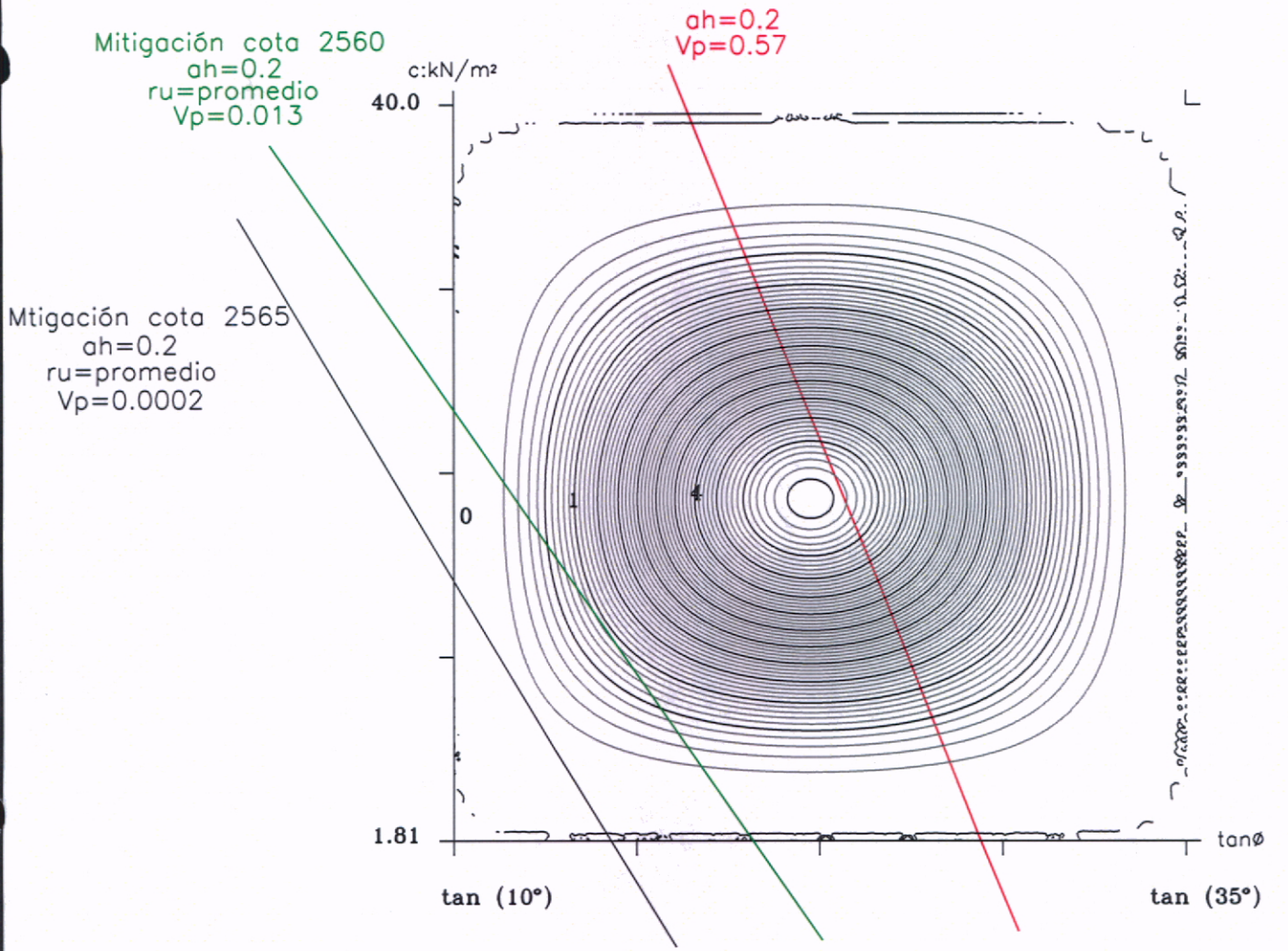
PERFIL 3

DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD CONJUNTA DE c y Tan ø

Condición de mitigación con retrollenado

Material que falla: Relleno

PREPARO: I. GOMEZ G. Geol. Geotéc.	CEMEX CONCRETOS DE COLOMBIA S.A	FIGURA No. 40
REVISO: J. SILVA C. Ing. Civil Geotéc.	ROCAS Y MINERALES LTDA. Ingenieros Consultores	ARCHIVO: FIG40_226
DIBUJO: A. DUARTE C.	JULIO DE 2004	



ru = 0.125

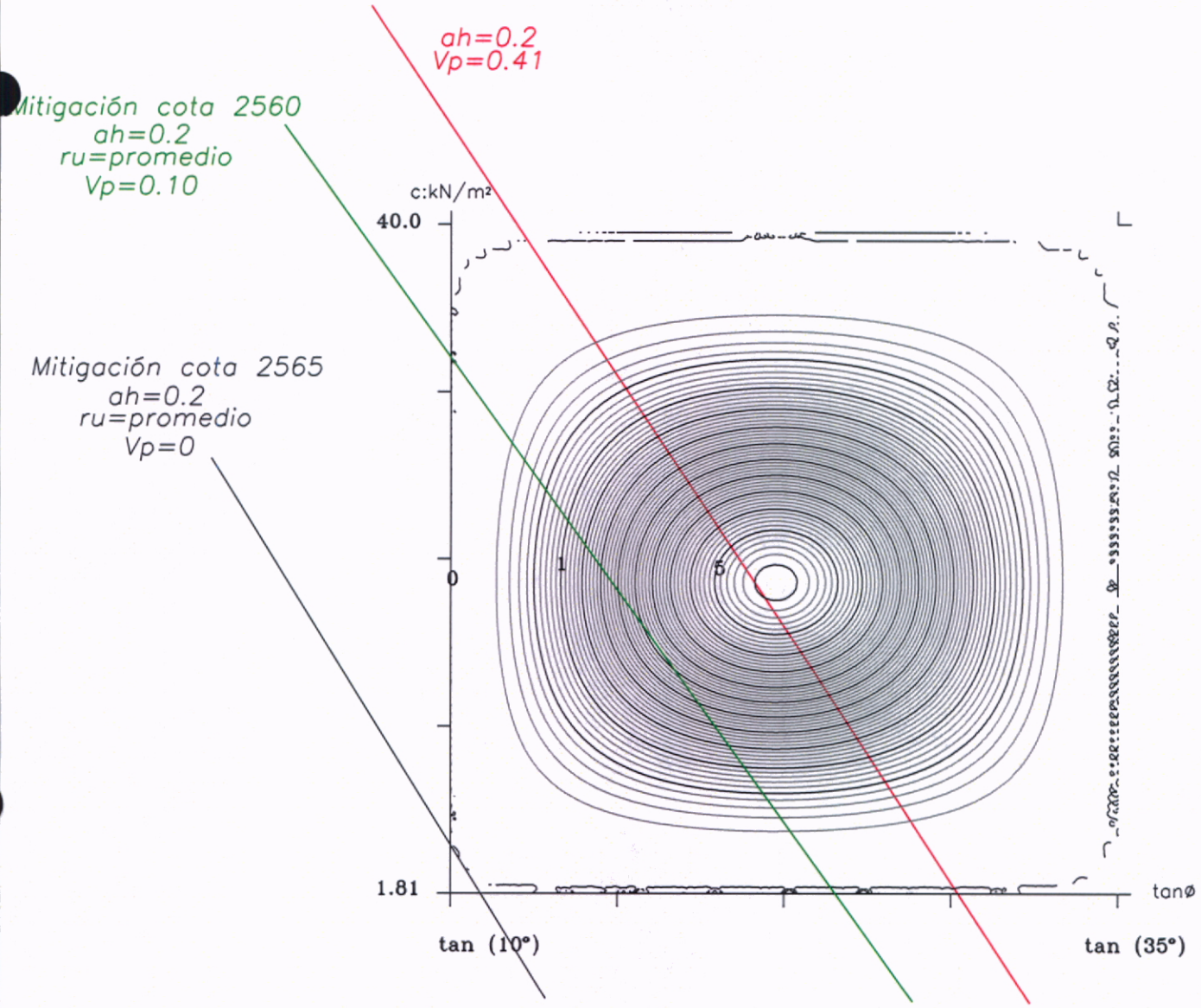
Vp= Probabilidad que c y ϕ sean menores que los requeridos para el equilibrio.

a_h= Aceleración horizontal.

MINA DE AGREGADOS LA FISCALA
BOGOTA D.C

PERFIL 5
DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD CONJUNTA DE c y Tan ø
Condición de mitigación con retrollenado
Material que falla: Relleno

PREPARO: I. GOMEZ G. Geol. Geotéc.	CEMEX CONCRETOS DE COLOMBIA S.A	FIGURA No. 41
REVISO: J. SILVA C. Ing. Civil Geotéc.	ROCAS Y MINERALES LTDA. Ingenieros Consultores	ARCHIVO: FIG41_226
DIBUJO: A. DUARTE C.	JULIO DE 2004	



ru = 0.125

Vp= Probabilidad que c y ϕ sean menores que los requeridos para el equilibrio.

a_h= Aceleración horizontal.

MINA DE AGRAGADOS LA FISCALA
BOGOTA D.C

PERFIL 6

DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD CONJUNTA DE c y Tan ø

Condición de mitigación con retrollenado

Material que falla: Relleno

PREPARO: I. GOMEZ G. Geol. Geotéc.	CEMEX CONCRETOS DE COLOMBIA S.A	FIGURA No. 42
REVISO: J. SILVA C. Ing. Civil Geotéc.	ROCAS Y MINERALES LTDA. Ingenieros Consultores	ARCHIVO: FIG42_226
DIBUJO: A. DUARTE C.	JULIO DE 2004	

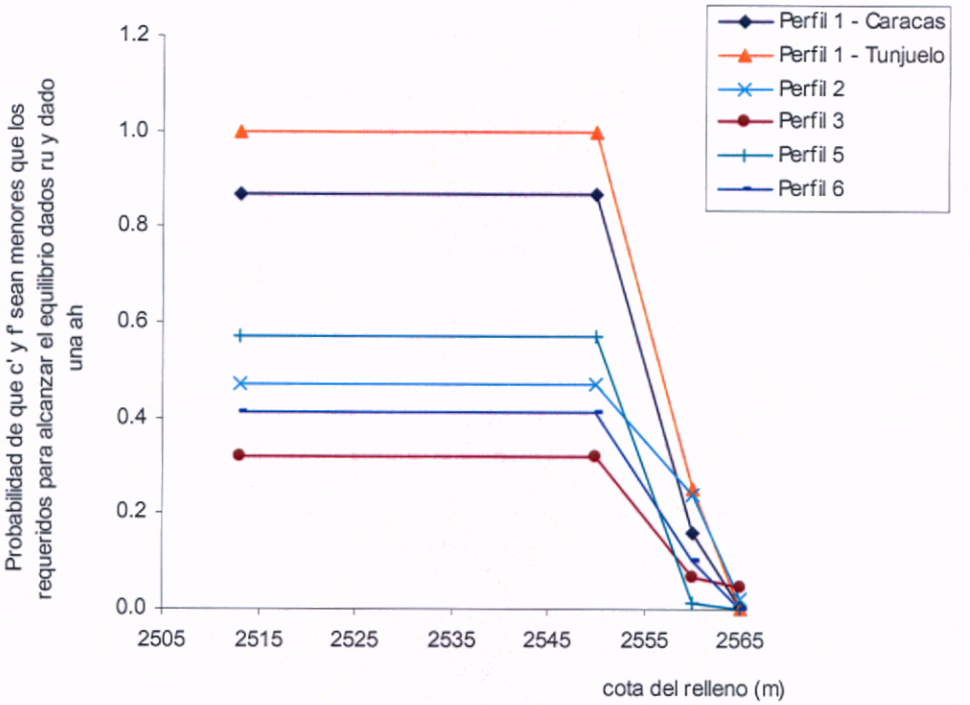


Figura 43. Variación de P($c' \leq c'_r$ y ($\phi' \leq \phi'_r$) con la altura de la cota para la solución de mitigación de retrollenado del tajo.

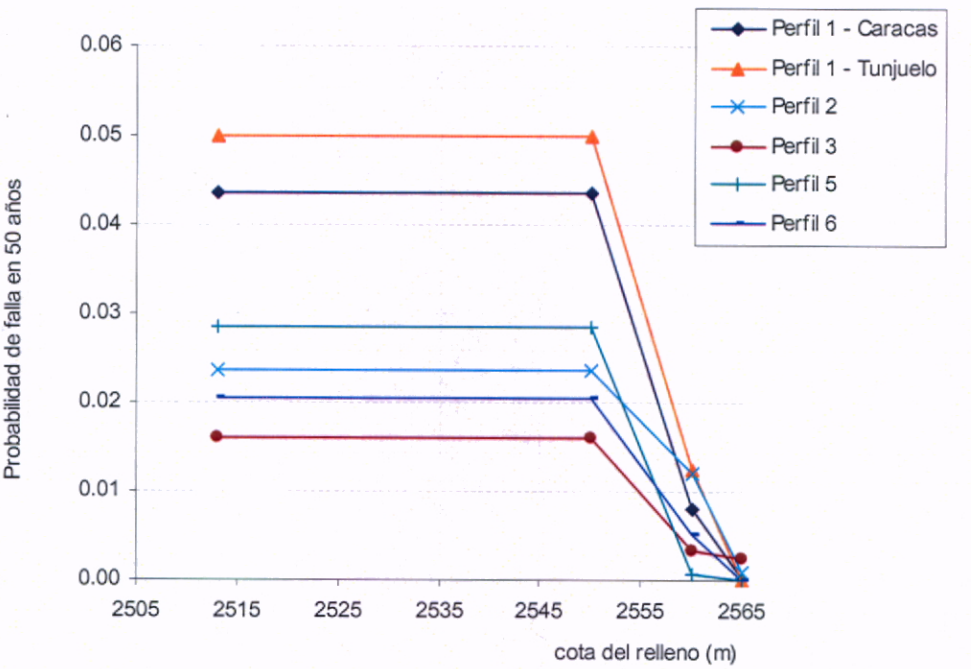


Figura 44. Variación de la Probabilidad de falla en 50 años con la altura de la cota para la solución de mitigación de retrollenado del tajo.

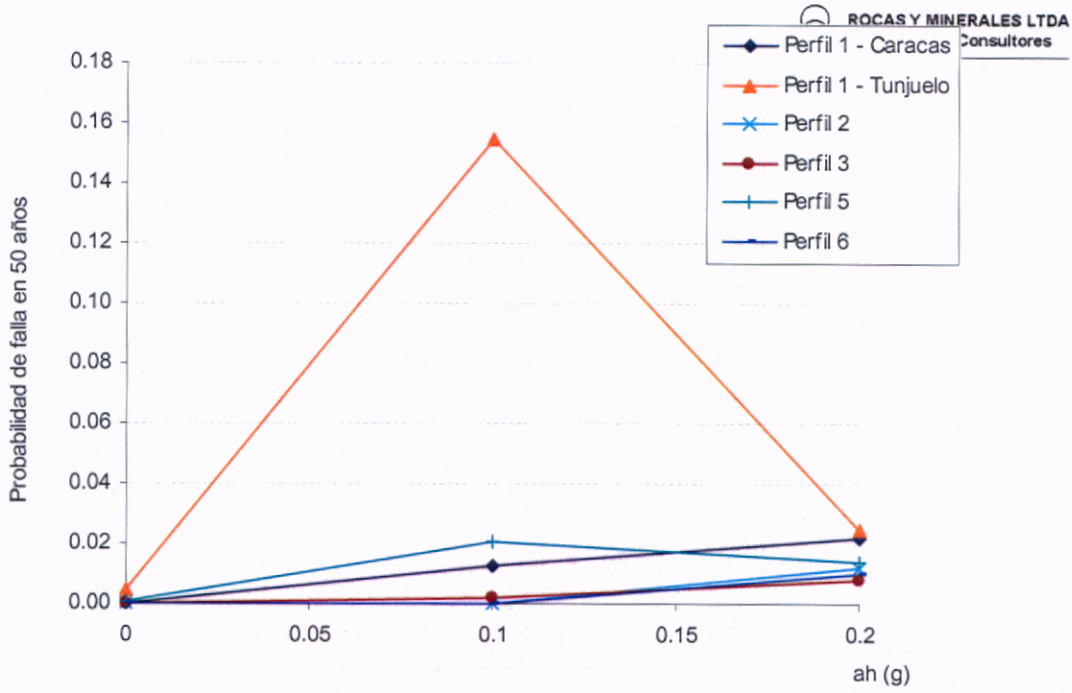


Figura 45 Variación de la probabilidad de falla en 50 años con la aceleración horizontal para la solución de mitigación de control de drenaje.

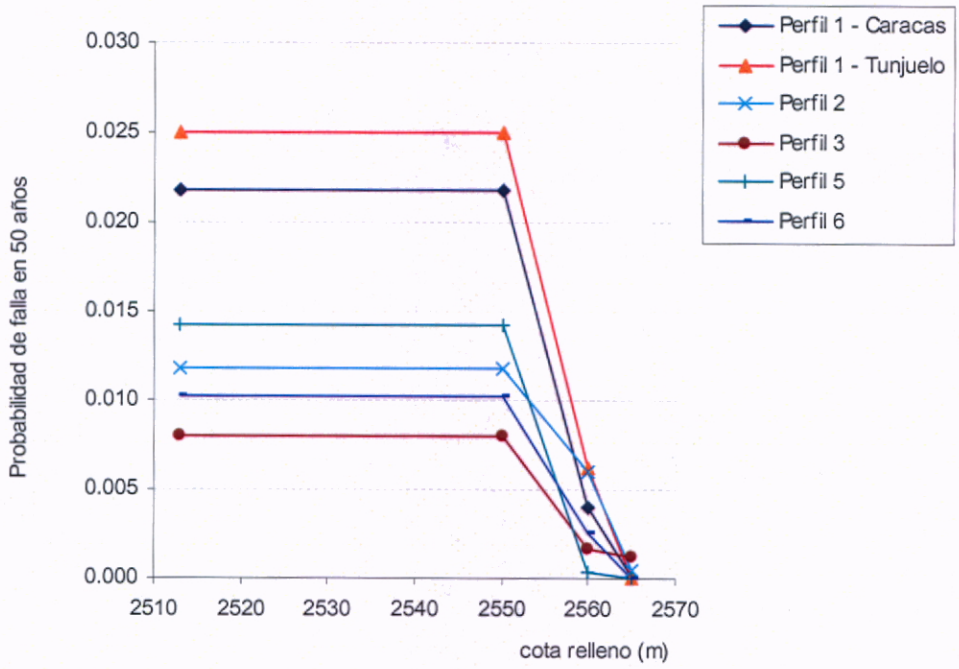


Figura 46 Variación de la probabilidad de falla en 50 años con la altura de la cota para la solución de mitigación de control de drenaje y retrollenado del tajo.

E=94500

E=94750

E=95000

E=95250

N=93500

N=93250

N=93000

N=92750

N=92500

N=92250

N=92000

LADRILLERA SANTAFE

TRANSMILENIO
PORTAL DE USME

S/E ENERGIA
USME 115 KV

NUEVO
SAN ANDRES

RELLENO LA AURORA

Casas

Casas

BARRIO LA AURORA

RIO TUNJUELITO

AVDA CIRCUNVALAR

AVDA CHICAMOCHA

LAGO 2

ACOPIO DE FINOS

ACOPIO DE ARENA

ACOPIO DE CRUDO

GRAVA 1" TIPO I LOTE 3

GRAVA 1" TIPO I LOTE 1

ARENA GRUESA TIPO II LOTE 2

GRAVA 1/2" LOTE 3

ARENA GRUESA TIPO I LOTE 1

CALA

RELLENO

VIVERO

CANCHA FUTBOL

PLAYA SUR

CUARTO

OFICINA ALMACEN

CUARTO

CASETA VIGILANCIA

AVENIDA BOYACA

DESPACHOS

PORTERIA

ENTRADA

Cll 69S

Cll 68AS

Falla Traslacional

Falla Rotacional

Socavación

Pf: Probabilidad de falla para una aceleración de 0.2g, un ru promedio, en 50 años

ACTUALIZACIONES	
ACTUALIZO	FECHA
CEMEX	JUNIO/04

MINA DE AGREGADOS LA FISCALA

BOGOTA D.C

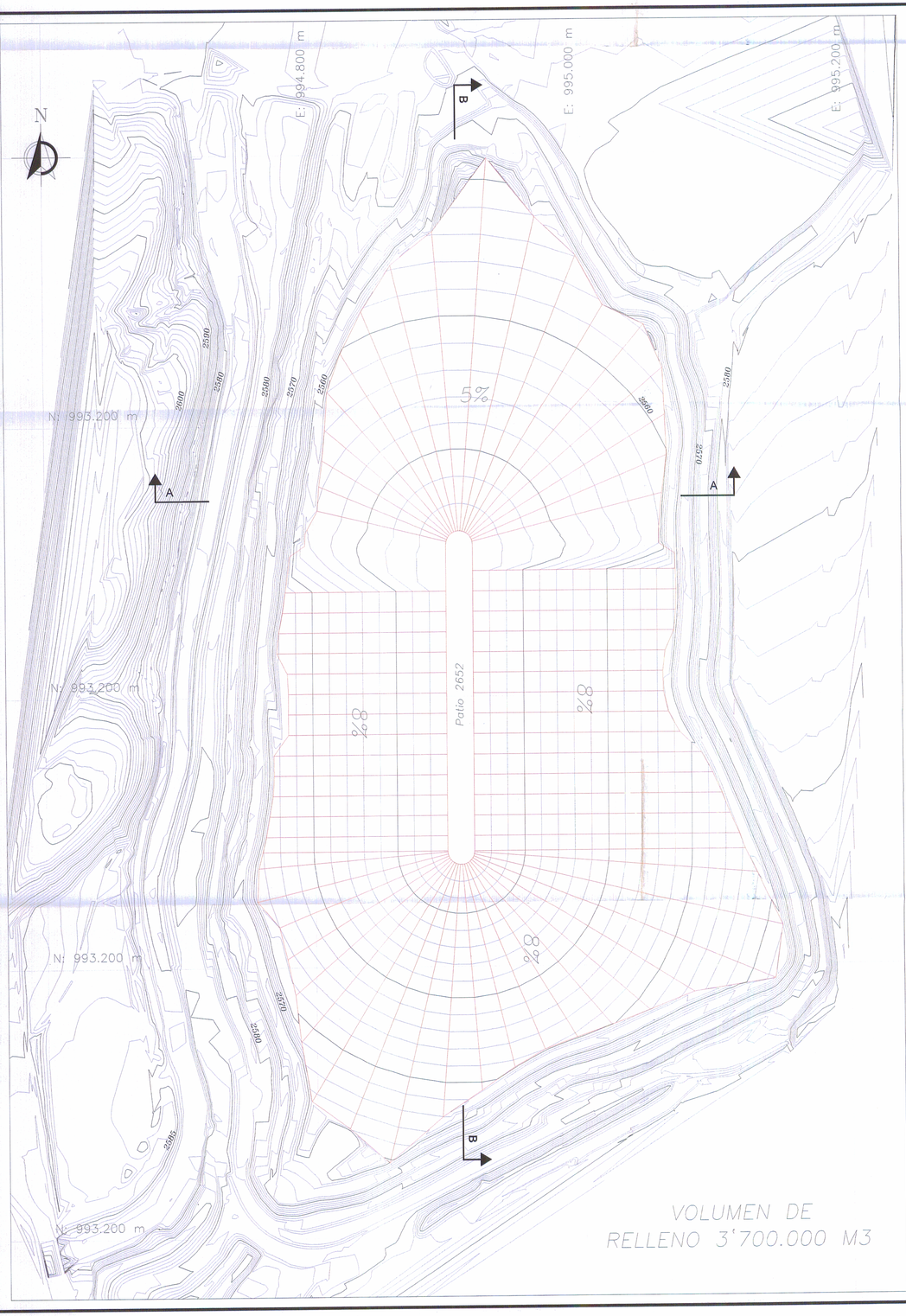
PLANO DE ZONIFICACION DE AMENAZA

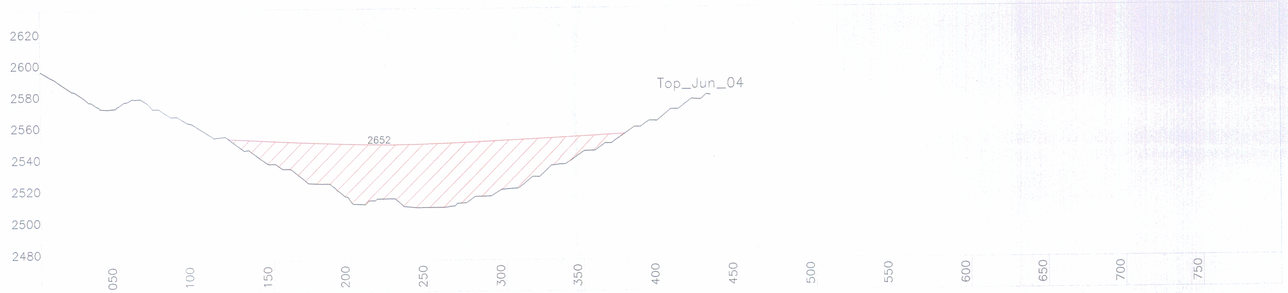
0 40 80 100m

ESCALA - 1:2000

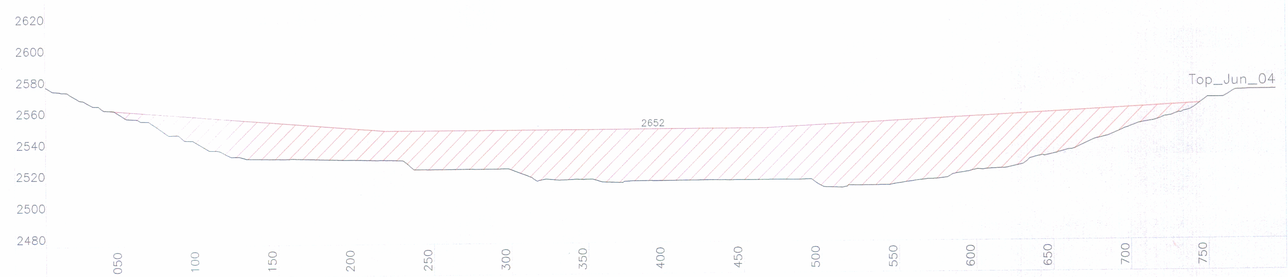
PREPARO: P. HERNANDEZ B. Geol. Geotécnista	CEMEX CONCRETOS DE COLOMBIA S.A	PLANO No. 2
REVISO. J. SILVA C. Ing. Civil Geotéc.	ROCAS Y MINERALES LTDA. Ingenieros Consultores JULIO DE 2004	ARCHIVO: PL02_226

00000273





PERFIL A-A
ESCALA – 1.2000



PERFIL B-B
ESCALA – 1.2000

MINA DE AGREGADOS LA FISCALA
BOGOTA D.C
PLANO DE MITIGACION
PERFILES A-A Y B-B

0 40 80 100m
ESCALA – 1:2000

PREPARO: J. SILVA C. Ing. Civil Geotéc.	CEMEX CONCRETOS DE COLOMBIA S.A	PLANO No. 3
DIBUJO: A. DUARTE C.	ROCAS Y MINERALES LTDA. Ingenieros Consultores JULIO DE 2004	ARCHIVO: PL03-226

2,0000