

ESTUDIO DE AMENAZA Y VULNERABILIDAD POR FENOMENOS DE REMOCIÓN EN MASA MUNICIPIO DE CIENEGA, BOYACÁ



JOSÉ OLMOS OLMOS
ING. CIVIL – GEOTÉCNISTA

JUNIO DE 2013

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN.....	4
2.	ALCANCE.....	4
3.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	4
4.	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA.....	5
5.1.	Perfil Estratigráfico	5
5.2.	Caracterización Mecánica del Depósito (Arcilla).....	6
5.3.	Caracterización Mecánica de la Roca	9
6.	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	10
6.1.	Análisis Cinemático del Macizo Rocosos	16
6.2.	Evaluación de la Amenaza.....	17
6.3.	Evaluación de Vulnerabilidad	18
7.	EVALUACIÓN DEL DRENAJE NATURAL.....	23
7.1.	Criterios de Diseño para Obras de Drenaje.....	23
	Intensidad	23
	Coefficiente de Escorrentía.....	23
	Caudal de Aporte	24
	Secciones para las Obras de Drenaje	25
8.	PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN.....	26
	Plan de Prevención.....	26
	Plan de Mitigación	26
	Plan de Monitoreo	26
	Plan de Mantenimiento.....	26
9.	CONCLUSIONES.....	27
10.	ADVERTENCIA	27

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Registro gráfico de los ensayos de laboratorio del sondeo 2.....	6
Figura 2. Análisis de los parámetros de resistencia	7
Figura 3. Resultado de Ensayos de Compresión Inconfinada realizados en la Arcilla.	8
Figura 4. Ensayos de Carga Puntual sobre la Roca.....	9
Figura 5. Salida gráfica del software RocLab 1.0 para la caracterización mecánica de la roca.	9
Figura 6. Modelamiento del Piezométrico del Terreno.	10
Figura 7. Modelo Geológico - Geotécnico Perfil A.....	11
Figura 8. Modelo Geológico -Geotécnico - Perfil B.....	11
Figura 9. Modelo Geológico - Geotécnico Perfil C.	11
Figura 10. Distribución de los FS para el escenario actual en la condición extrema del Perfil A.	12
Figura 11. Análisis de falla planar para el escenario actual en la condición extrema del Perfil A	12
Figura 12. Distribución de los FS para el escenario actual en condición extrema - Criterio de Hoek - Brown - Perfil A.....	13
Figura 13. Distribución de los FS para el escenario actual en la condición extrema - Perfil B.	13
Figura 14. Distribución de los FS para el escenario actual en la condición extrema - Falla Planar - Perfil B.....	14
Figura 15. Distribución de los FS para el escenario actual en condición extrema - Criterio de Hoek-Brown - Perfil B.....	14
Figura 16. Distribución de los FS para el escenario actual en condición extrema - Perfil C.....	15
Figura 17. Distribución de los FS para el escenario actual en condición extrema - Falla Planar - Perfil C.....	15
Figura 18. Distribución de los FS para el escenario actual en condición extrema - Criterio de Hoek-Brown - Perfil C.....	16
Figura 19. Datos estructurales medidos en el macizo.	16
Figura 20. Resumen análisis cinemático del macizo.	16
Figura 21. Esquema de deslizamiento	19

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de resistencia a partir de ensayos de Corte Directo sobre el material de depósito.	7
Tabla 2. Parámetros de Resistencia obtenidos a partir de los ensayos de Corte Directo - Arcilla.	7
Tabla 3. Parámetros adoptados para los análisis de estabilidad.....	8
Tabla 4. Factor Ru determinado para los análisis de estabilidad.	10
Tabla 5. Criterios de resistencia de la estructura	18
Tabla 6. Clasificación de la tipología de la estructura	18
Tabla 7. Rangos de velocidad utilizadas en el estudio	19
Tabla 8. Categorías de presión lateral utilizadas en el estudio	20
Tabla 9. Solicitaciones para vías.	20
Tabla 10. Matriz de daño utilizada en el estudio IDp.....	20
Tabla 11. Valores del coeficiente de importancia.	21
Tabla 12. Clasificación de la Vulnerabilidad.	22
Tabla 13. Evaluación de la Vulnerabilidad.....	22
Tabla 14. Parámetros recomendados para la estimación del coeficiente de escorrentía en zonas no urbanizadas.	24

1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio se realiza con el objetivo de determinar la amenaza y vulnerabilidad por fenómenos de remoción en masa en un sector del municipio de Ciénega, Boyacá. De igual manera determinar el plan de medidas de mitigación y prevención, complementadas con la formulación de planes de seguimiento y monitoreo, los cuales deberán ser ejecutados por la entidad responsable de carácter obligatorio.

2. ALCANCE

El alcance del presente estudio es determinar la amenaza actual por fenómenos de remoción en masa y diseñar un plan de mitigación y monitoreo para garantizar la estabilidad local del área de estudio. Las recomendaciones contenidas en éste estudio se basan en los datos suministrados por la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia – UPTC y CORPOCHIVOR.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el área de estudio se presentan varias zonas con reptaciones, lo cual se evidencia en grietas y abultamientos en el terreno, como se puede observar en la siguiente fotografía:

Fotografía 1. Reptaciones en el área de estudio.



Adicionalmente, en la zona de estudio, se encuentra agua superficial como se muestra a continuación:

Fotografía 2. Agua superficial en la zona de estudio.



4. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

Para la caracterización de materiales se hizo uso de registros de perforación y ensayos de laboratorio, de clasificación y resistencia, de 2 sondeos, un apique y una trinchera realizados. Esta información fue suministrada por la UPTC.

5.1. Perfil Estratigráfico

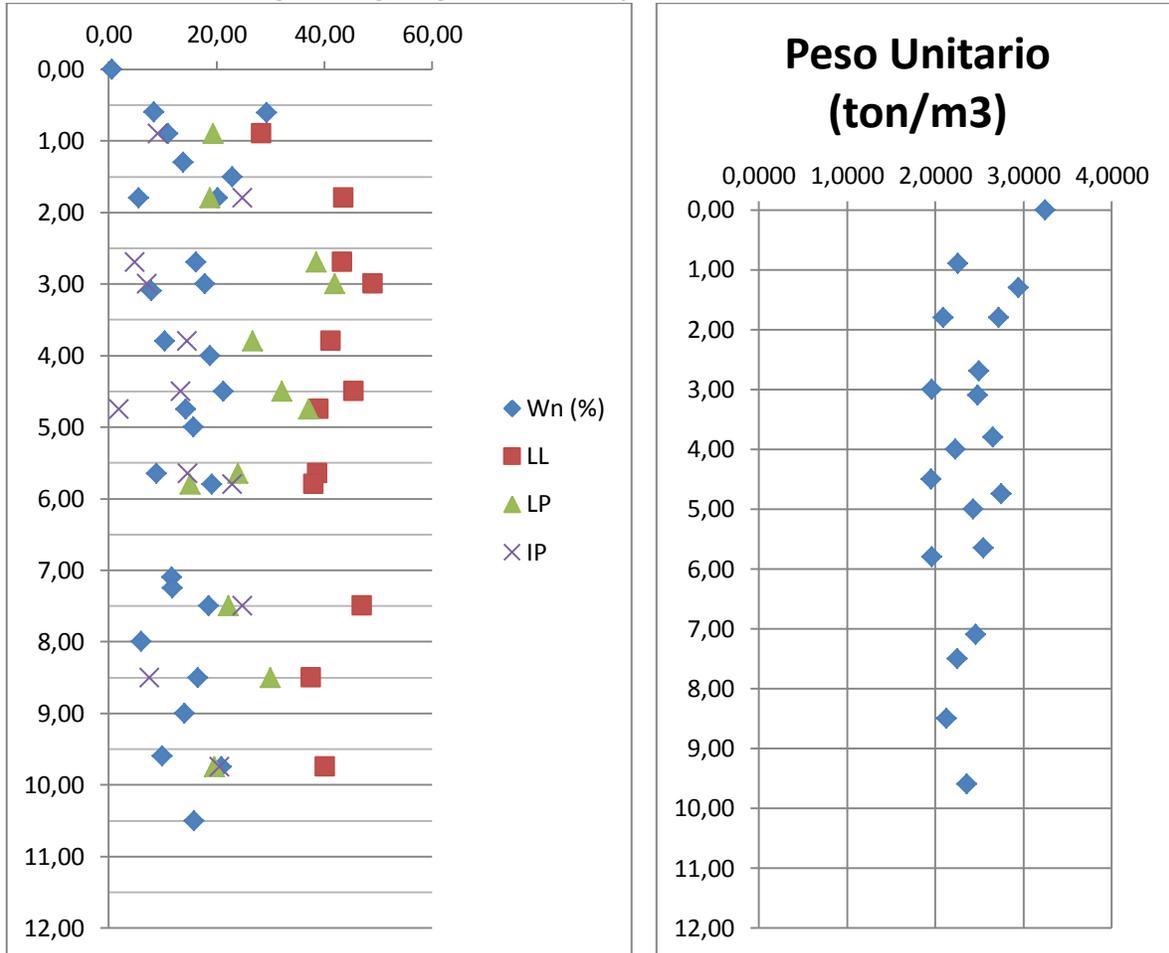
Profundidad 0.0 – 1.0/1.5 m

Arcilla de Color Gris. Consiste en un material arcilloso de color gris pardo claro, de plasticidad media, con presencia de gravas y lodolitas color gris claro.

Profundidad 3.0/4.0 m – en adelante

Arenisca. Arenisca compacta de color gris claro, con un grado de meteorización bajo, en matriz limo arcillosa de color café claro. Intercalaciones de arenisca friable.

Figura 1. Registro gráfico de los ensayos de laboratorio del sondeo 2.



5.2. Caracterización Mecánica del Depósito (Arcilla)

Debido a que en general el material de depósito es bastante uniforme, de acuerdo de a los ensayos de laboratorio practicados, se realizó un análisis global de los parámetros de resistencia obtenidos a partir de los ensayos de corte directo y compresión inconfiada realizados, para lo cual se generaron las gráficas esfuerzo cortante contra esfuerzo normal efectivo y se estableció la distribución de cada ensayo, de lo cual se obtuvo un valor promedio de los parámetros de resistencia para el material. A continuación se muestran los resultados obtenidos:

Tabla 1. Parámetros de resistencia a partir de ensayos de Corte Directo sobre el material de depósito.

CORTE DIRECTO					
MUESTRA	PROF	ESFUERZO	PHI	C (KPa)	TAU
AP1 – M2	0,90	21,75	13,28	190,75	195,88
S1 – M2	2,70	65,26	8,19	77,50	86,90
S1 – M4	4,75	114,80	9,54	128,00	147,29
S2 – M1	1,80	43,50	13,06	49,30	59,39

Figura 2. Análisis de los parámetros de resistencia

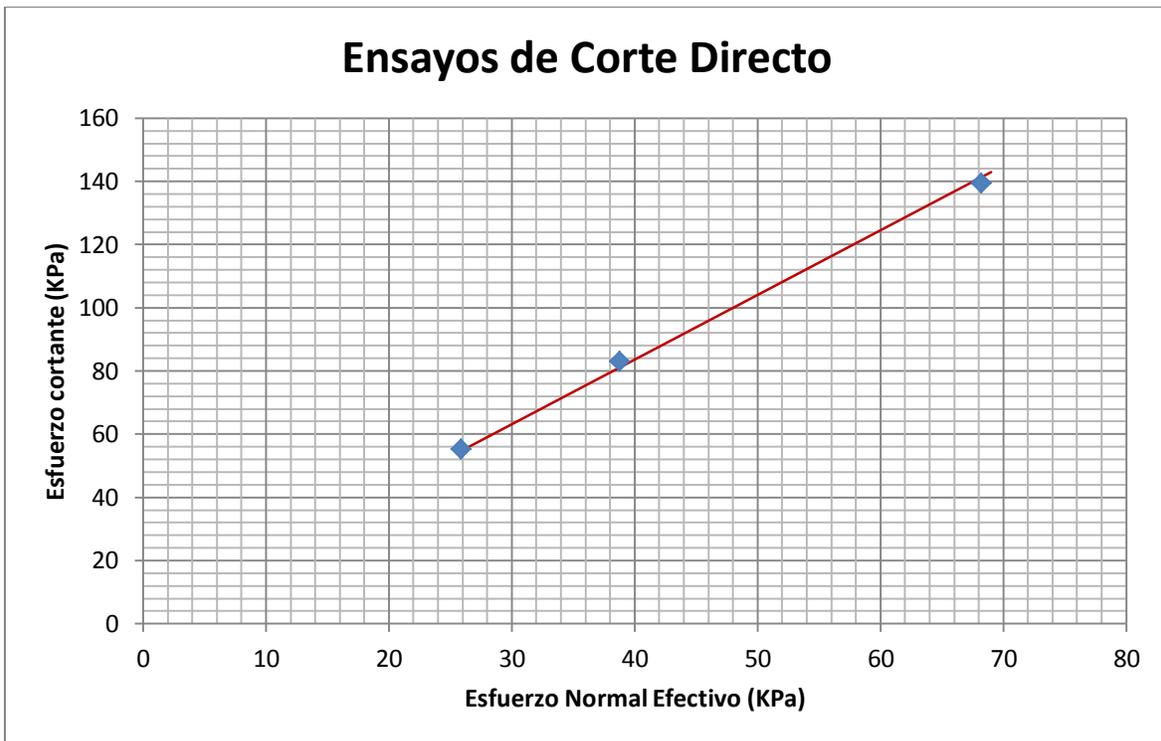
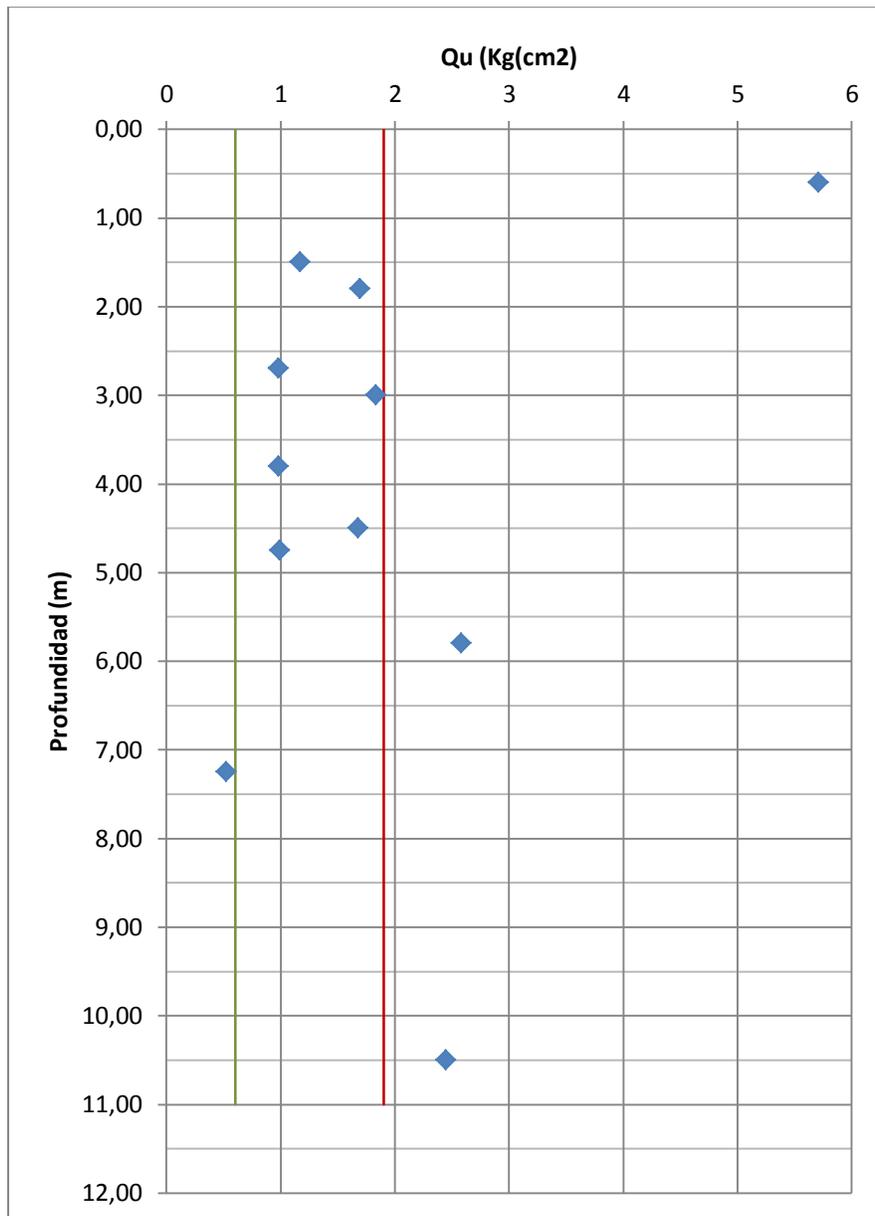


Tabla 2. Parámetros de Resistencia obtenidos a partir de los ensayos de Corte Directo - Arcilla.

c	32	KPA
phi	11,02	°

De igual forma se analizaron los ensayos de compresión inconfiada realizados sobre diferentes muestras de esta arcilla, cuyos resultados se muestran a continuación:

Figura 3. Resultado de Ensayos de Compresión Inconfinada realizados en la Arcilla.



En la anterior gráfica se analizó la distribución de la carga última obtenida de los resultados y se estableció un rango (en líneas) de valores para éste parámetro, extrayendo del mismo valor que se consideraron atípicos para el material. Teniendo en cuenta lo anterior se determinó un valor promedio de la cohesión no drenada de 125 KPa. Finalmente se adoptaron los valores promedio de cada ensayo.

Tabla 3. Parámetros adoptados para los análisis de estabilidad.

MATERIAL	γ (KN/m ³)	ϕ	C (KN/m ³)
CL	24,17	5,51	78,5

5.3. Caracterización Mecánica de la Roca

Para la caracterización geomecánica de la roca se utilizaron los ensayos de carga puntual realizados y la clasificación de GSI (Geological Strength Index) cuyo análisis fue realizado mediante el software RocLab 1.0 de la casa Rocscience.

Figura 4. Ensayos de Carga Puntual sobre la Roca

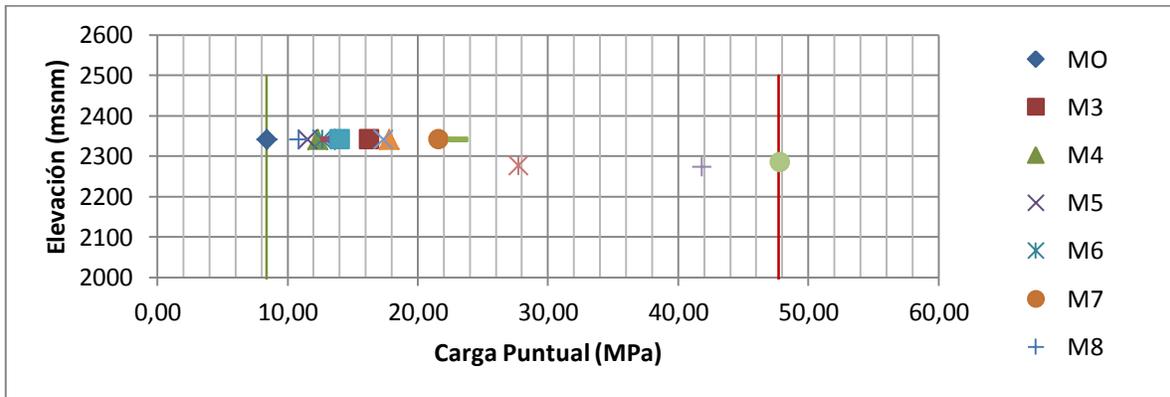
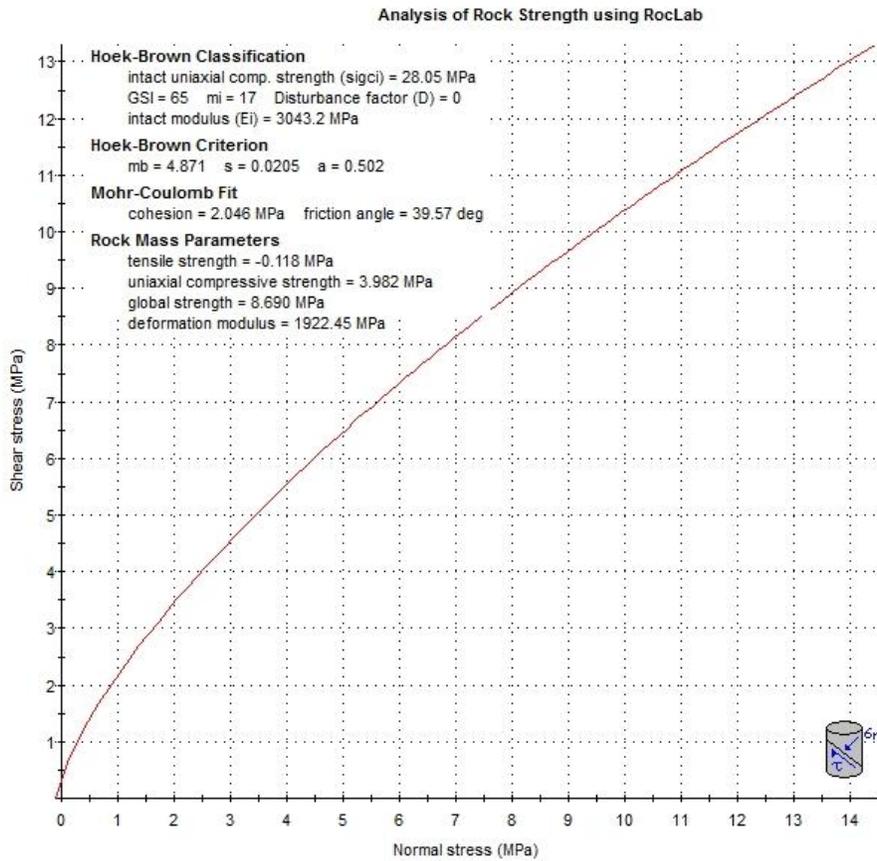


Figura 5. Salida gráfica del software RocLab 1.0 para la caracterización mecánica de la roca.



6. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Se efectuaron análisis de estabilidad del terreno mediante el software Slide 6.0, en tres (3) secciones de análisis representativa denominadas Perfil A, Perfil B y Perfil C (ver localización en plano anexo) trazada sobre la zona de pendiente crítica.

La condición de agua subterránea fue modelada mediante la determinación del factor Ru cuyos valores e relacionan a continuación:

Tabla 4. Factor Ru determinado para los análisis de estabilidad.

MATERIAL	γ (KN/m ³)	μ	σ	Ru	
				Normal	Extrema
Arcilla	24,17	39,24	145,02	0,27	0,41
Roca	25,98	58,86	155,88	0,38	0,38

Aplicando estos factores Ru se obtiene un régimen piezométrico equivalente al que se muestra en la siguiente figura:

Figura 6. Modelamiento del Piezométrico del Terreno.

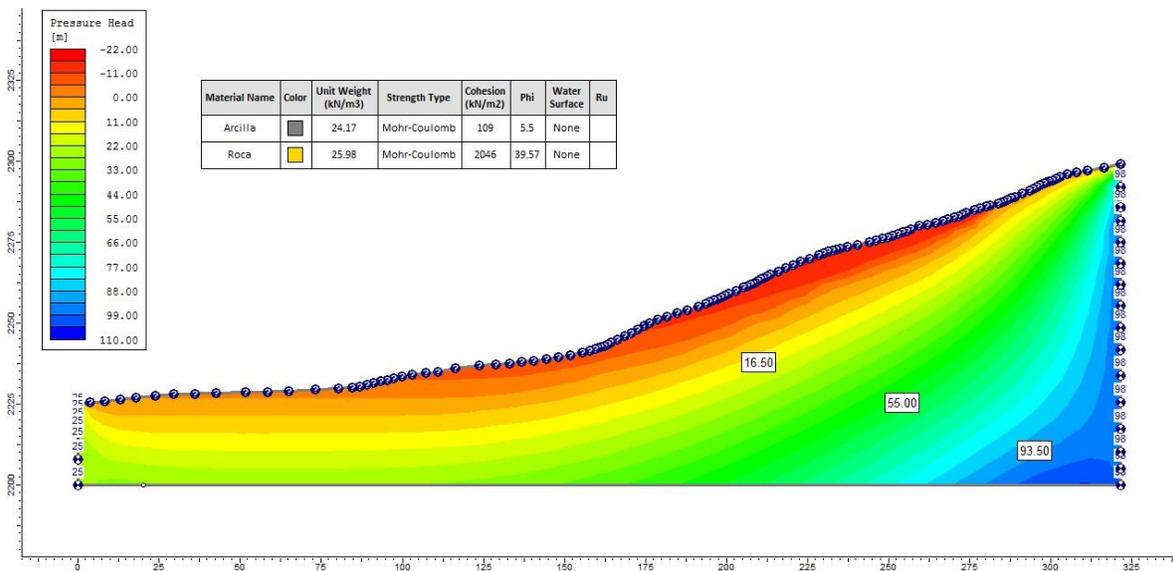


Figura 7. Modelo Geológico - Geotécnico Perfil A.

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi	Water Surface	Ru
Arcilla	■	24.17	Mohr-Coulomb	109	5.5	None	0.41
Roca	■	25.98	Mohr-Coulomb	2046	39.57	None	0.38

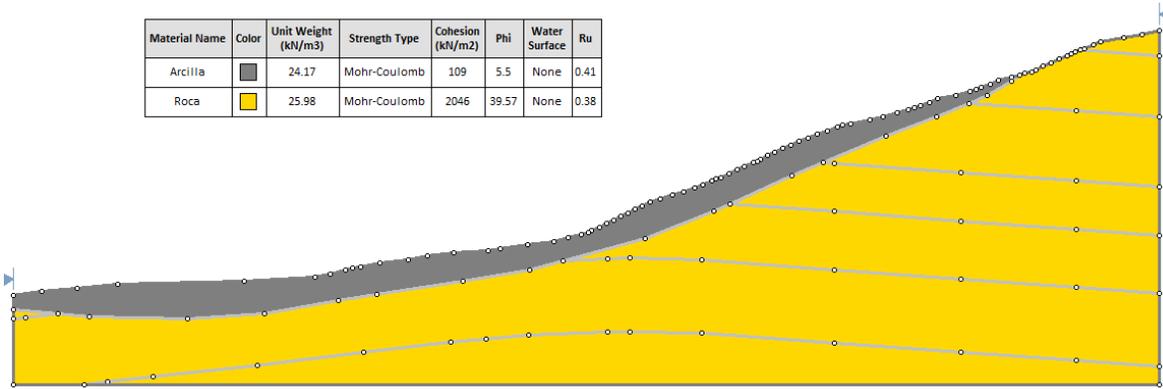


Figura 8. Modelo Geológico - Geotécnico - Perfil B

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi	Water Surface	Ru
Arcilla	■	24.17	Mohr-Coulomb	109	5.5	None	0
Roca	■	25.98	Mohr-Coulomb	2046	39.57	None	0

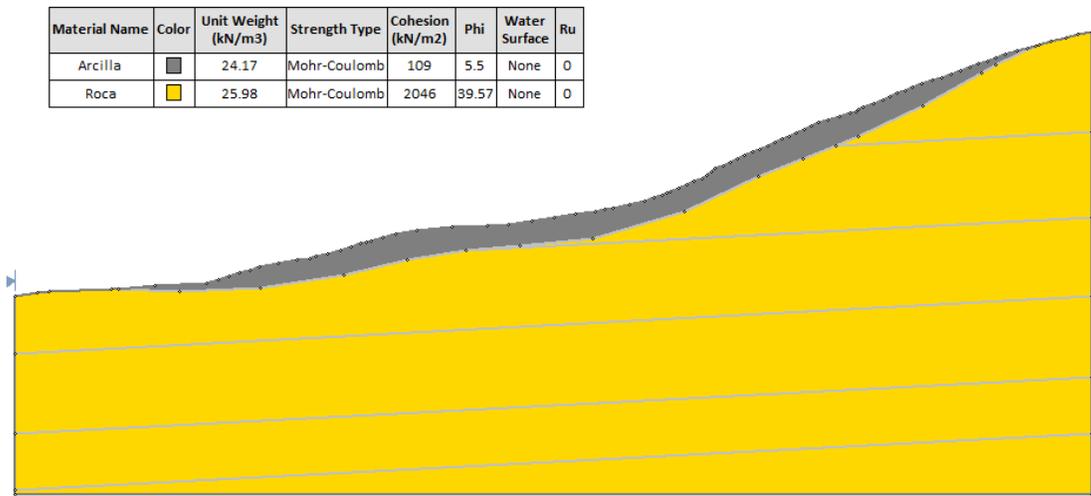


Figura 9. Modelo Geológico - Geotécnico Perfil C.

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi	Water Surface	Ru
Arcilla	■	24.17	Mohr-Coulomb	78.5	5.5	None	0.41
Roca	■	25.98	Mohr-Coulomb	2046	39.57	None	0.38



Este modelo fue analizado bajo condiciones normales, sin sismo, y en condiciones extremas, esto es en condición de saturación y de sismo. El sismo fue modelado introduciendo el valor de la aceleración de diseño establecido para Cienega por la NSR-10, igual a 0.2g. En los modelos se analizó el mecanismo de falla rotacional y planar. Adicionalmente, para la roca, se analizó tanto con el criterio de falla de Mohr – Coulomb como con el criterio de Hoek – Brown generalizado, haciendo uso del GSI antes definido.

Los resultados de los análisis para el escenario actual en condición extrema se presentan a continuación:

Figura 10. Distribución de los FS para el escenario actual en la condición extrema del Perfil A.

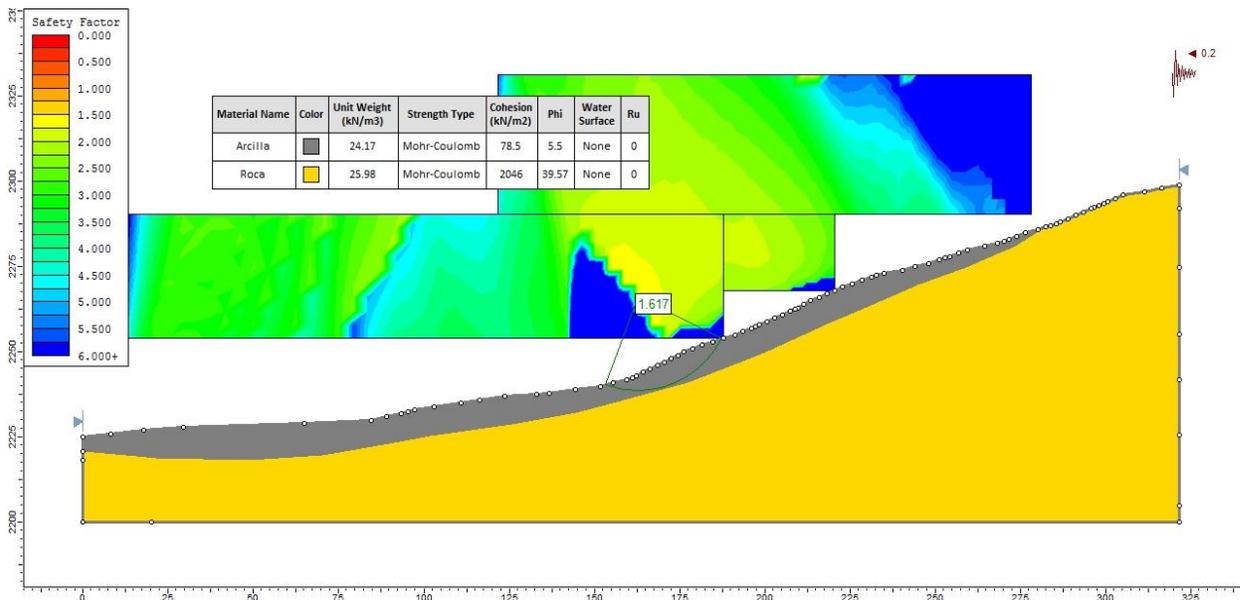


Figura 11. Análisis de falla planar para el escenario actual en la condición extrema del Perfil A

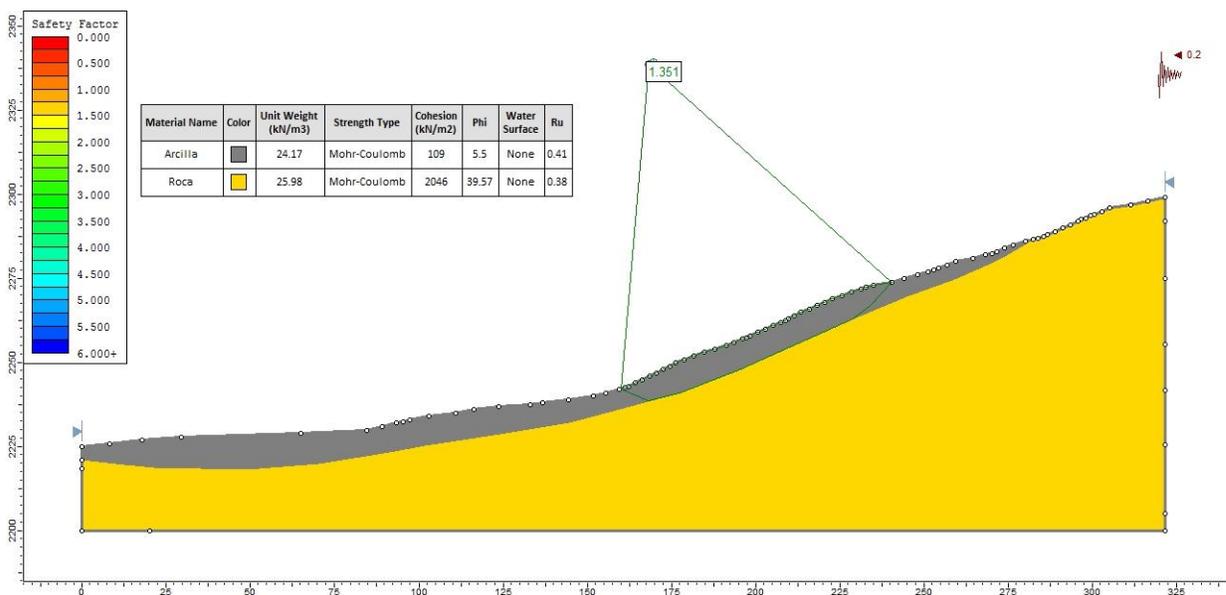


Figura 12. Distribución de los FS para el escenario actual en condición extrema - Criterio de Hoek - Brown - Perfil A

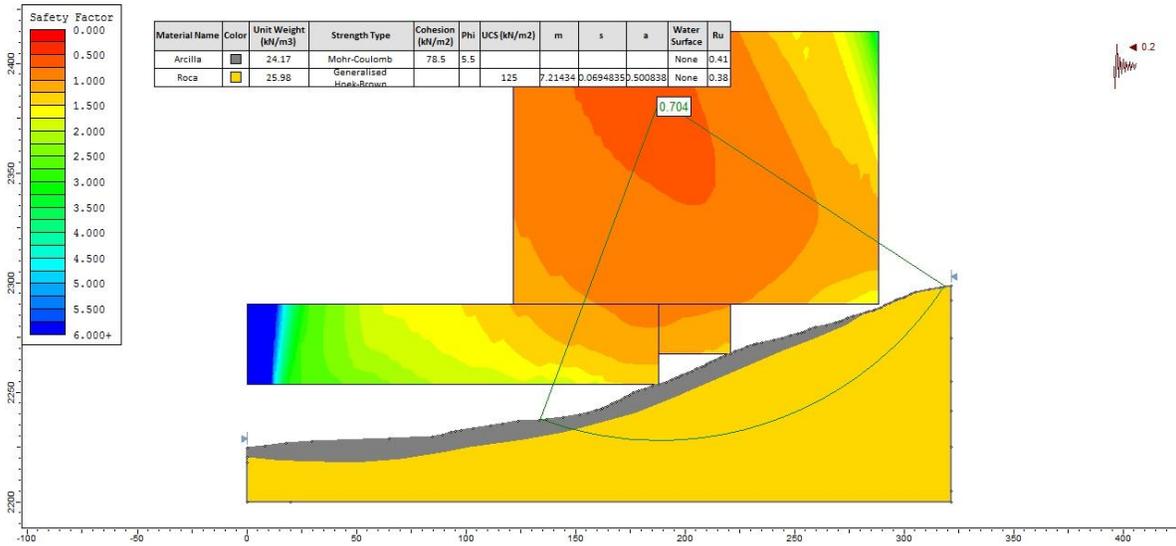


Figura 13. Distribución de los FS para el escenario actual en la condición extrema - Perfil B.

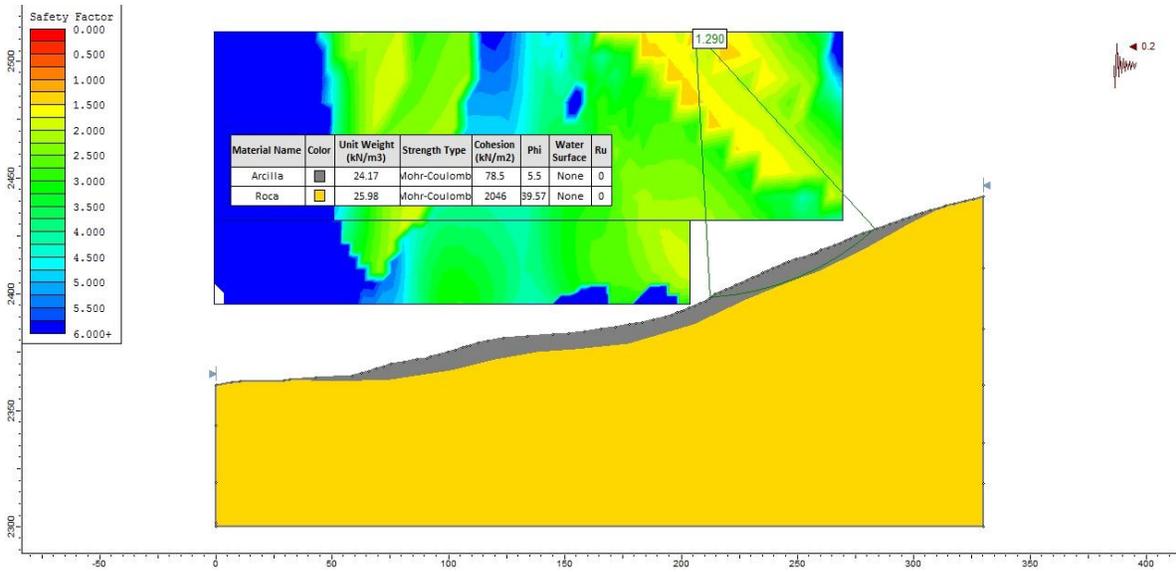


Figura 14. Distribución de los FS para el escenario actual en la condición extrema - Falla Planar - Perfil B.

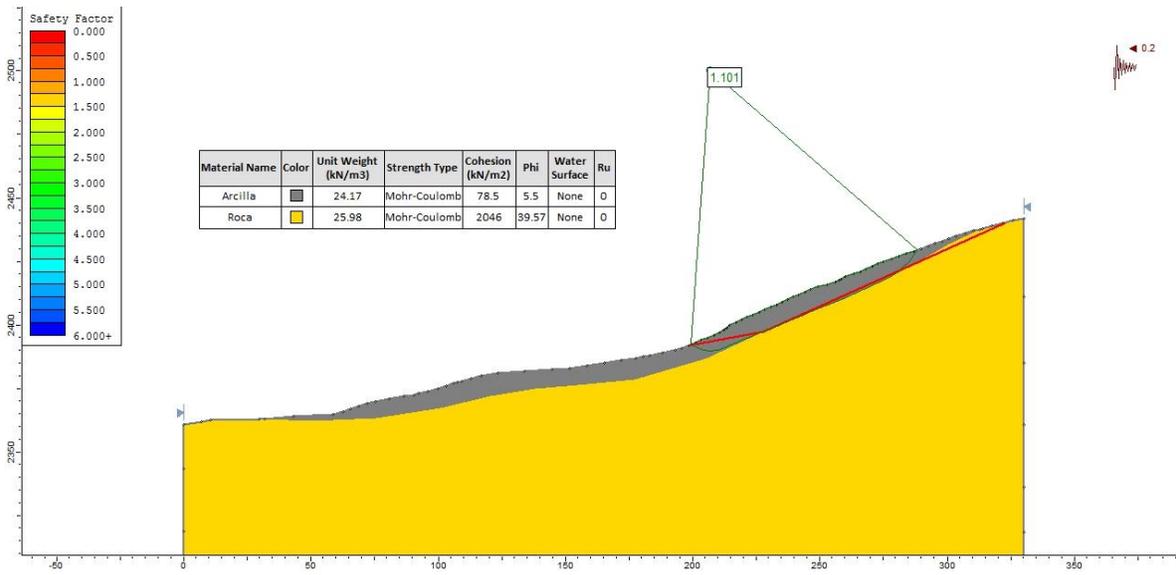


Figura 15. Distribución de los FS para el escenario actual en condición extrema - Criterio de Hoek-Brown - Perfil B.

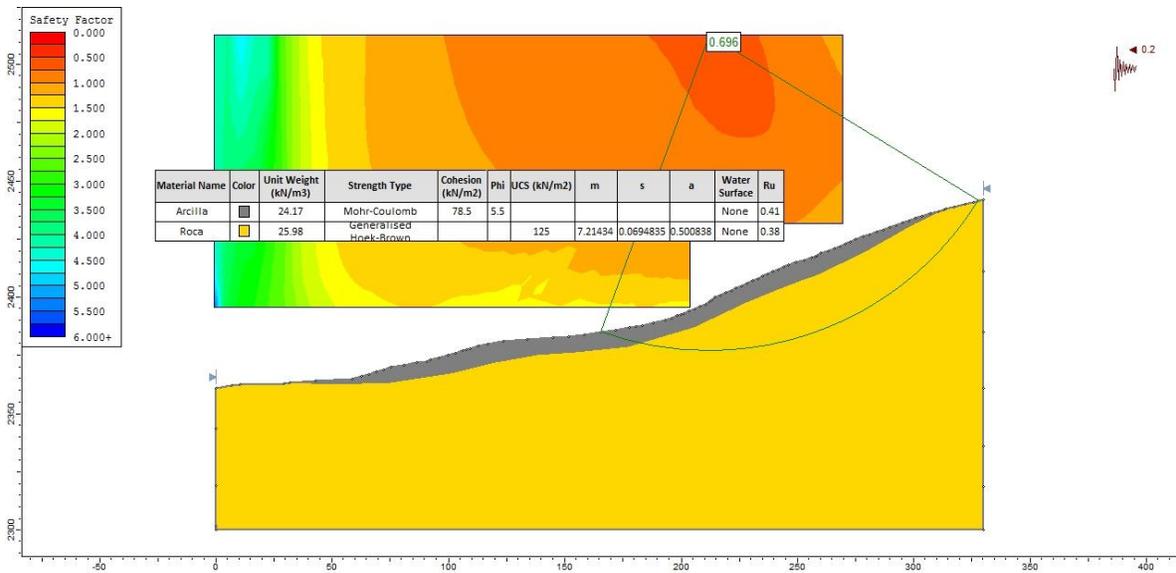


Figura 16. Distribución de los FS para el escenario actual en condición extrema - Perfil C.

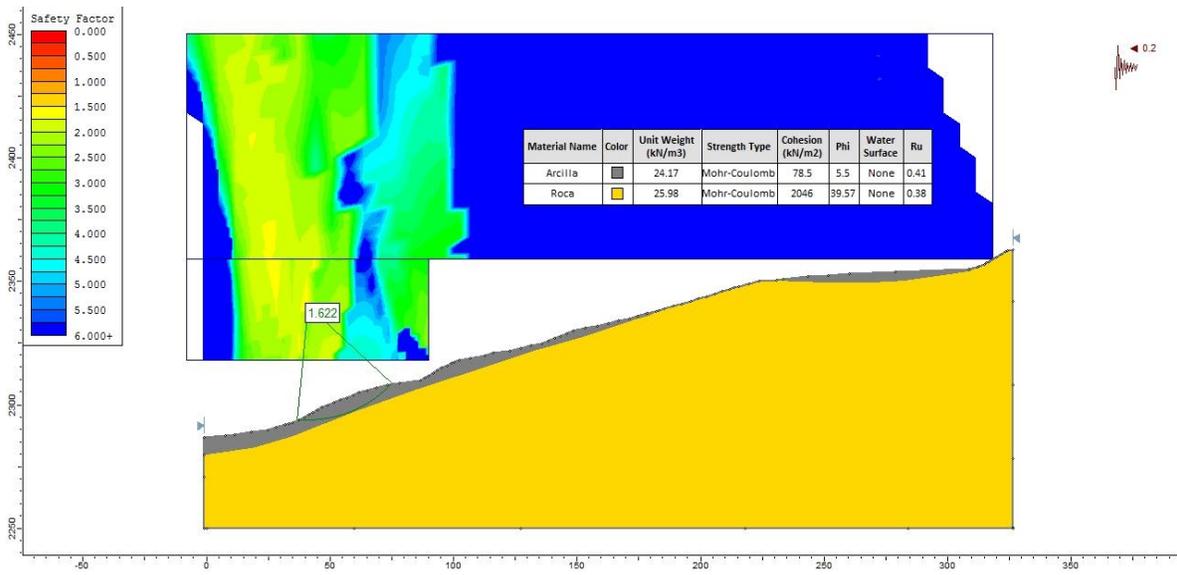


Figura 17. Distribución de los FS para el escenario actual en condición extrema - Falla Planar - Perfil C.

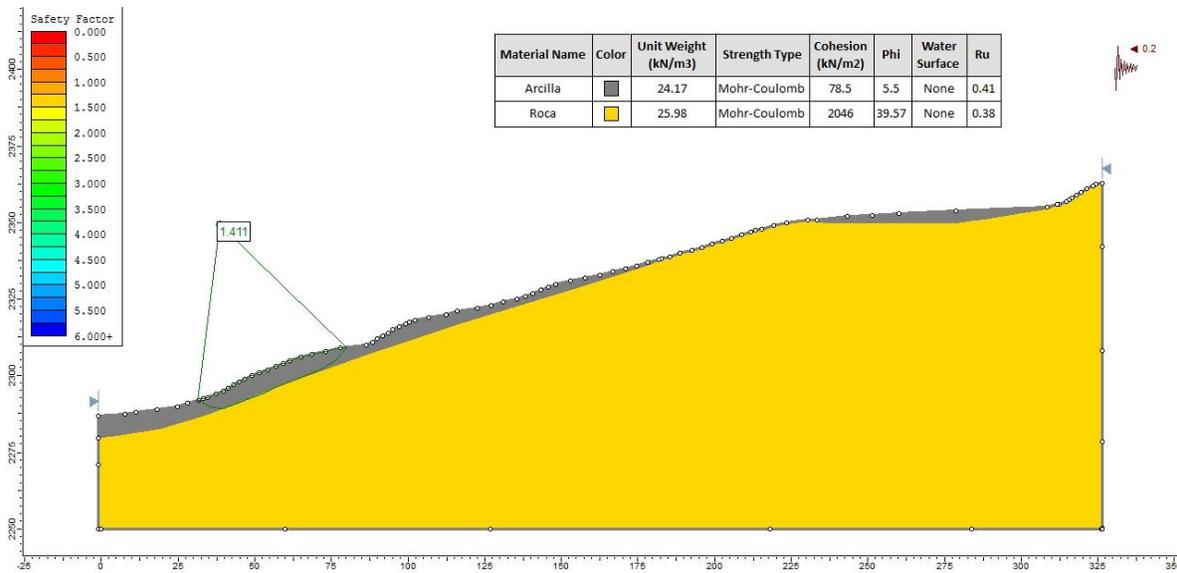
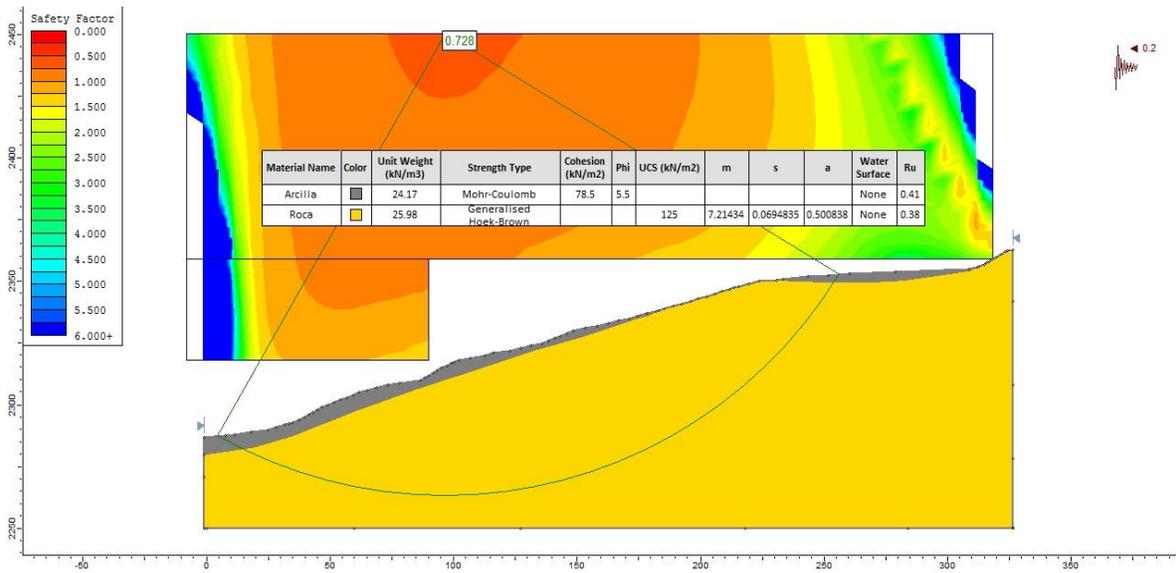


Figura 18. Distribución de los FS para el escenario actual en condición extrema - Criterio de Hoek-Brown - Perfil C.



6.1. Análisis Cinemático del Macizo Rocosó

De manera adicional se realizó un análisis cinemático del macizo a partir de la información de geología estructural levantada por personal de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia – UPTC – como se resume en la tabla siguiente:

Figura 19. Datos estructurales medidos en el macizo.

TALUD	α	β	DISCONT.	α	β
A	21	20	1	310	10
B	39	22	2	185	70
C	87	17	3	238	65

Con la información se realizó el análisis de estabilidad por falla planar, por volteo y por cuña, de lo cual se determinó que en el talud sobre el cual se trazó el Perfil B se puede presentar falla por cuña. (Ver memoria de cálculo en el Anexo 2)

Figura 20. Resumen análisis cinemático del macizo.

TALUD	PLANAR	VOLTEO	CUÑA
A	NO FALLA	NO FALLA	NO FALLA
B	NO FALLA	NO FALLA	FALLA
C	NO FALLA	NO FALLA	NO FALLA

6.2. Evaluación de la Amenaza

Definida la amenaza como la probabilidad que ocurra un fenómeno de remoción en masa de una magnitud, intensidad y frecuencia sobre un territorio determinado que pueda causar daños importantes o desastrosos. La metodología empleada está enmarcada dentro del tipo de información disponible, así como la escala y finalidad de trabajo, en tal sentido el presente estudio se basa en:

- Revisión de la cartografía básica existente (topográfica, geológica, geomorfológica, geotécnica, usos del suelo, cobertura vegetal).
- Selección de la base topográfica para la elaboración y presentación de los planos solicitados.
- Identificación de unidades geológicas superficiales, geomorfología y procesos morfodinámicos activos o potenciales a través de visitas a campo.
- Elaboración de información temática complementaria como cobertura y usos del suelo, precipitaciones, sismicidad, factor antrópico (cortes, rellenos, manejo de aguas de escorrentía y superficiales).
- Elaboración del modelo geológico-geotécnico (determinación de los aspectos intrínsecos, factores contribuyentes y detonantes).
- Determinación de las posibles zonas homogéneas, mecanismos de falla, caracterización del drenaje y su relación con los fenómenos de inestabilidad potenciales y activos.

Para la categorización de amenaza por fenómenos de remoción en masa se utilizó el siguiente criterio:

AMENAZA POR FENOMENOS DE REMOCIÓN EN MASA	FACTOR DE SEGURIDAD EN CONDICIÓN EXTREMA
BAJA	$FS > 1.30$
MEDIA	$1.3 > FS > 1.0$
ALTA	$FS < 1.0$

De acuerdo a los análisis de estabilidad, antes mostrados, se puede concluir que el área de estudio se puede categorizar en **amenaza baja y media**.

6.3. Evaluación de Vulnerabilidad

Para determinar la vulnerabilidad de las edificaciones ante deslizamientos, se empleó el cálculo del denominado Índice de Vulnerabilidad Física (IVF), utilizando para tal efecto la metodología propuesta por Leone¹ y modificada por Soler et al². En resumen, el trabajo consiste en calcular los índices de vulnerabilidad física (IVF), dependiendo del tipo de movimiento, la intensidad de las sollicitaciones y las características del elemento expuesto (edificaciones y demás construcciones existentes).

En forma general, la vulnerabilidad es una función tanto de la intensidad y magnitud del fenómeno como de la resistencia del elemento expuesto. La primera variable ya se tuvo en cuenta en la evaluación de la amenaza; para la segunda variable (resistencia del elemento expuesto), se obtendrá una tipificación de las edificaciones teniendo en cuenta los siguientes criterios de resistencia de la estructura.

Tabla 5. Criterios de resistencia de la estructura

TIPO DE SOLICITACIÓN	MODOS DE DAÑO	CRITERIO DE RESISTENCIA DE LA ESTRUCTURA
Desplazamientos laterales	Transporte. Deformación. Asentamientos. Ruptura.	Profundidad de la cimentación. Arriostamiento de la estructura.
Empujes laterales	Deformación. Ruptura.	Altura de la estructura. Profundidad de la cimentación. Refuerzo.
Impactos	Deformación. Ruptura.	Refuerzo.

Tabla 6. Clasificación de la tipología de la estructura

TIPO ESTRUCTURA	DESCRIPCIÓN
B1	Edificación en material de reciclaje
B2 Mampostería	Edificación en mampostería sin estructura.
B2 Prefabricados	Edificación prefabricada.
B3	Edificación de hasta dos niveles de buena calidad de construcción (con estructura).
B4	Edificación de más de dos niveles de buena calidad de construcción (con estructura).
R1	Vía.

¹ Leone, F. (1999) CONCEPT DE VULNERABILITE APPLIQUE A L'EVALUATION DES RISQUES GENERES PAR LES PHENOMENES DE MOUVEMENTS DE TERREIN. Tesis de doctorado, Universidad de Grenoble.

² Soler, F., González, A. y Vesga, L. (1999). METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA EN SANTAFÉ DE BOGOTÁ, COLOMBIA. XI CPMSIF. Fox de Iguazú, Brasil.

El tipo de solicitaciones depende de la localización del elemento expuesto en referencia al sitio donde ocurre el fenómeno³, tal como se presenta a continuación.

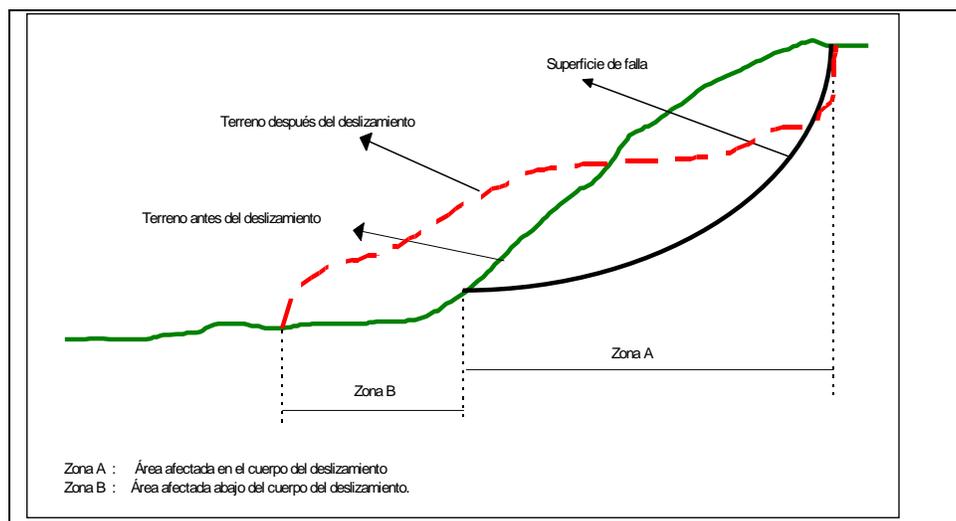


Figura 21. Esquema de deslizamiento

Como se puede observar en la figura anterior, se pueden distinguir dos zonas.

En la Zona A (en el cuerpo del deslizamiento) o Zona de Influencia Directa, los daños que van a sufrir las viviendas se pueden relacionar con los desplazamientos laterales (DL) que, a su vez, dependen de la velocidad del movimiento (entre más rápido, los daños pueden ser mayores). Para la caracterización de las velocidades de los movimientos se utilizó la escala propuesta por Cruden y Varnes⁴, presentada a continuación:

Tabla 7. Rangos de velocidad utilizadas en el estudio

DESCRIPCIÓN	CLASE	VELOCIDAD CARACTERÍSTICA milímetros/ segundos
Muy rápido	VM1	Mayor a 50 mm/sg
Rápido	VM2	Entre 0.5 mm/sg y 50 mm/sg
Moderado	VM3	Entre 0.05 mm/sg y 0.5 mm/sg
Lento	VM4	Entre 0.005 mm/sg y 0.05 mm/sg
Muy lento	VM5	Menor a 0.005 mm/sg

En la Zona B (abajo del cuerpo del deslizamiento) o Zona de Influencia Indirecta, los daños de las viviendas se pueden relacionar con los empujes laterales (EL) que, igualmente, se pueden asociar con la altura que alcanza la acumulación de material contra la edificación, así:

³ Soler, F., González, A. y Vesga, L. (1999). Metodología para el análisis de vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa en Santafé de Bogotá, Colombia. XI CPMSIF. Fox de Iguazú, Brasil.

⁴ Cruden, D. y Varnes D. (1991). *Landslides types and processes*. Universidad de Alberta.

Tabla 8. Categorías de presión lateral utilizadas en el estudio

DESCRIPCIÓN	CLASE	CARACTERÍSTICAS
Presión lateral alta	PL1	Mayor a 2/3 de la altura de la vivienda
Presión lateral media	PL2	Entre 1/3 y 2/3 la altura de la vivienda
Presión lateral baja	PL3	Menor a 1/3 de la altura de la vivienda

Tabla 9. Solicitaciones para vías.

DESCRIPCIÓN	CLASE	CARACTERÍSTICAS
Degradación	DH1	Degradación de la vía
Obstrucción Baja	DH2	Obstrucción de la calzada con volumen < 10m ³
Obstrucción Alta	DH3	Obstrucción de la calzada con volumen > 10m ³
Ruptura	DH4	Ruptura de la calzada

Tabla 10. Matriz de daño utilizada en el estudio IDp

SOLICITACIÓN		TIPOLOGIA DE VIVIENDA				VIA
TIPO	RANGO	B1	B2	B3	B4	R1
DESPLAZAMIENTOS VERTICALES (VV velocidad de desplazamiento)	MDU (1/1000)	0.2	0.05	0.05	0.01	
	MDU (1/500)	0.4	0.2	0.1	0.05	
	MDU (1/250)	0.5	0.4	0.2	0.1	
	MDU (1/150)	0.6	0.5	0.3	0.2	
Amplitud de desplazamientos verticales para vías y/o redes de carreteras (DH)	DH (I) Degradación de la vía					0.3
	DH (II) Obstrucción con volumen de 10m ³					0.4
	DH (III) Obstrucción con volumen de 100m ³					0.8
	DH (IV) Ruptura					1.0

SOLICITACIÓN		TIPOLOGIA DE VIVIENDA				VIA
EMPUJES LATERALES	PL1 (SF=SE)	1.0	1.0	0.9	0.9	
	PL2 (SF=2/3SE)	0.8	0.7	0.6	0.4	
	PL3 (SF=1/3SE)	0.6	0.4	0.2	0.9	

MDU: Movimiento Diferencial Unitario o asentamiento diferencial en el contacto de la estructura expuesta.

SE: Superficie expuesta de la construcción, SF: Superficie del frente de la masa deslizada.

La calificación del daño potencial para los elementos expuestos se determinó a partir de los valores indicados en la matriz de daño en función de la altura que podría alcanzar el deslizamiento y la posible velocidad de desplazamiento, así como la degradación que podrían sufrir las redes de vías por FRM.

El Índice de Daño o calificación de daños se cuantifican por medio de la matriz indicada anteriormente, para hallar el porcentaje de daño o índice de pérdidas; estos porcentajes de pérdidas según los rangos de valores de cada ID fueran los propuestos por Leone (1996). Finalmente, se realizó el cálculo del Índice de Vulnerabilidad Física, IVF, con la siguiente expresión empírica propuesta por Soler et al (1998) para involucrar las variables del problema mediante la teoría de conjuntos difusos:

$$IVF = [1 - (1 - ID)^{(1/(1-\alpha D))}]^{(1-\alpha D)}$$

Donde α es la dependencia o coeficiente de importancia de ID en la valoración del IVF (0 cuando es mínima y 1 cuando es máxima).

Tabla 11. Valores del coeficiente de importancia.

Grado de Amenaza	Valor de α
Baja	0.2
Media	0.4
Alta	0.6

Tabla 12. Clasificación de la Vulnerabilidad.

Categoría de la Vulnerabilidad	Valor del IVF
Alta	$IVF \geq 0.65$
Media	$0.15 \leq IVF < 0.65$
Baja	$IVF < 0.15$

De acuerdo a lo anterior la vulnerabilidad de los elementos identificados se categoriza a continuación:

Tabla 13. Evaluación de la Vulnerabilidad

ELEMENTO	AMENAZA	VULNERABILIDAD
VIAS	MEDIA	ALTA
VIVIENDAS	MEDIA	MEDIA

La memoria de cálculo de presenta en el Anexo 2.

7. EVALUACIÓN DEL DRENAJE NATURAL

En el sitio de estudio se encontró un considerable flujo superficial y sub-superficial de agua a través de los materiales presentes. Teniendo en cuenta que es de gran importancia el flujo de agua que discurre hacia la parte baja del predio. El área de aporte es de aproximadamente 5.418m².

7.1. Criterios de Diseño para Obras de Drenaje

Los parámetros para el diseño de las obras de drenaje requieren establecer el caudal de diseño de las obras que está en función de acuerdo al Método Racional. Este planteamiento o modelo de estimación de caudales máximos generados por escorrentía, se identifica con la siguiente ecuación:

$$Q = k \times i \times A \times c$$

Dónde:

Q = Caudal pico (m³/s);

k= Factor de conversión que en el sistema métrico es igual a 0.0028 (lt/s/m² mm/hr);

i= Intensidad máxima para la frecuencia de diseño, con duración igual al tiempo de concentración de la cuenca vertiente (mm/hr);

A=Área aferente (ha);

C =Coeficiente de escorrentía, con valor numérico entre 0 y 0.8, que depende de las características fisiográficas del área de drenaje y la cobertura del suelo.

Intensidad

Para efectos del estudio se adoptó una intensidad crítica de 307.04 mm/h. para un periodo de retorno de 50 años y una duración de 10 minutos.

Coeficiente de Escorrentía

El coeficiente de escorrentía es la relación entre la tasa pico de escorrentía directa y la intensidad promedio de precipitación en una tormenta. Debido a la alta variabilidad de la intensidad de precipitación, este valor es de difícil determinación, si se emplea la información observada. Por tal motivo se optó por asumir el valor del coeficiente de escorrentía teniendo en cuenta el uso del suelo; bajo las siguientes recomendaciones, que incluyen el relieve del terreno, permeabilidad, vegetación y la capacidad de almacenaje en las microcuencas, tal como se pueden apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 14. Parámetros recomendados para la estimación del coeficiente de escorrentía en zonas no urbanizadas.

RELIEVE DEL TERRENO	40	30	20	10
	Muy accidentado	Accidentado	Ondulado	llano
	m>30%	10%<m<30%	5%<m<10%	M<5%
PERMEABILIDAD DEL SUELO	20	15	10	5
	Muy Impermeable	Bastante Impermeable	Bastante Permeable	muy Permeable
	roca	Arcilla	normal	arenas
VEGETACIÓN	20	15	10	5
	ninguna	Poca - del 10% de la superficie	bastante hasta el 50% de la superficie	mucha hasta el 50% de la superficie
CAPACIDAD DE ALMACENAJE DE AGUA	20	15	10	5
	ninguna	Poca	bastante	mucha
VALOR DE K	75 - 100	50 – 75	30 - 50	25 - 30
VALOR DE C	0.65 - 0.80	0.50 - 0.65	0.35 - 0.50	0.20 - 0.35

De acuerdo a lo anterior se adopta un coeficiente de escorrentía de 0.62.

Caudal de Aporte

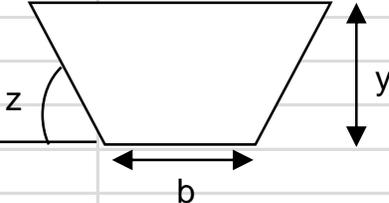
El caudal calculado será:

$$Q = 0.0028 * 307.04 * 0.62 * 17.6$$

$$Q = 9.38 \text{ m}^3/\text{s}$$

Secciones para las Obras de Drenaje

Para el caudal de aporte calculado se presenta la siguiente sección trapezoidal de drenaje superficial:

Cuneta Trapezoidal	
Material:	Concreto
b=	0,46 m
y=	0,62 m
n=	0,012
A=	0,6696
P=	2,214
R=	0,302
So=	0,14
z=	1
Q=	9,41 m ³ /s
Qap=	9,38 m ³ /s
	
Revisión:	OK
Revisión v.	OK

8. PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

Plan de Prevención

- Debido a vulnerabilidad estructural de las viviendas presentes en el área de estudio, deberán ser desalojadas todas las viviendas que se encuentren en zona de amenaza media, alta o a 50 m de éstas.

Plan de Mitigación

- Se recomienda la construcción de canales para el manejo del agua de escorrentía presente en el terreno.
- Se deberá construir un muro de contención para la protección de la vía, de acuerdo a la ubicación mostrada en el plano anexo.
- Se debe generar un sistema de captación de las aguas de riego de los cultivos presentes en la zona con el fin de mantener un nivel de humedad bajo en el terreno.

Plan de Monitoreo

- Se recomienda la instalación de piezómetros, para monitorear la posición del nivel freático.
- Se deberá amojonar diferentes puntos en las zonas de deslizamiento y tomar lecturas trimestrales, para medir desplazamientos y determinar su velocidad.
- Debido al posible movimiento de un gran bloque en cuña del macizo se recomienda la instalación de inclinómetros en el sector para medir este desplazamiento y determinar su velocidad.

Plan de Mantenimiento

El plan de mantenimiento consiste en preservar las estructuras de drenaje como se indica a continuación:

- Limpieza de cunetas, canales y descoles: bimensual o como mínimo antes de la época invernal.

9. CONCLUSIONES

- Teniendo en cuenta los análisis de estabilidad realizados se determinó que en general el material de depósito presenta una condición estable por fenómenos de remoción en masa salvo por la posibilidad de pequeñas reptaciones superficiales en época de lluvia.
- Se determinó, de acuerdo a los análisis cinemáticos y corroborados con los análisis de estabilidad modelados con el criterio de falla de Hoek-Brown generalizado, la posibilidad de movimiento de un bloque en cuña del macizo, localizado en la zona donde se trazó el Perfil B. Para tal efecto se recomendó la instalación de inclinómetros para dar seguimiento a este posible movimiento.

10. ADVERTENCIA

El presente estudio fue elaborado bajo la información suministrada por el convenio UPTC-CORPOCHIVOR hasta la fecha de elaboración del mismo, cualquier modificación en la condiciones del terreno deberán ser informadas oportunamente para su procesamiento bajo la luz del presente informe.

Cordialmente,

JOSE OLMOS OLMOS
INGENIERO CIVIL – GEOTÉCNISTA
MAT. 2520241419 CND