

CLASIFICADO



**FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS
FOPAE**



**INGENIERIA Y GEORIESGOS Ltda
Carrera 19A No. 84 – 14 Oficina 204
BOGOTA, COLOMBIA**

**“REALIZAR EL REDISEÑO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN DE RIESGO Y
PRESTAR LA ASESORÍA DURANTE CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE
MITIGACIÓN EN EL BARRIO BRISAS DEL VOLADOR (ZONA 2 – FASE 2)
UBICADO EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN BOGOTÁ D.C. ”**

CONTRATO DE CONSULTORÍA No 554 - 2008

**VOL. 1 - INFORME FINAL
ORIGINAL**

IGRL-88-08

DICIEMBRE 29 DE 2008

Nota: De acuerdo con el artículo 20 de la Ley 23 de 1982, los Derechos de Autor pertenecen al FOPAE. La solicitud de reproducir este documento parcial o totalmente, se debe dirigir por escrito al Director del FOPAE



Tipo de Documento: FORMATO	
Código: F-IGR-45	
Versión Versión 2	
Fecha Aprobación: 2005-01-17	Pág. 2/101

CONTROL DE CAMBIOS

ENTREGA DE INFORMES	ENTIDAD	Unidades
Original	Dirección de Prevención y Atención de Emergencias	1
Copia No 1		
Copia No 2		
Copia No 3		
Copia No 4		

CAMBIOS REALIZADOS

Versión	Cambios realizados respecto a la versión anterior	Fecha
2	Cambios realizados de acuerdo con observaciones del oficio CR-4693 del FOPAE	08-09-30
3	Cambios realizados de acuerdo con las observaciones realizadas por el FOPAE en el oficio RO-32331 al informe final versión 2 y según las observaciones incluidas en el acta de reunión del 08-10-14	08-10-19
4	Cambios realizados de acuerdo con las observaciones y la Norma para la presentación de documentos impresos	08-12-22
5		

APROBACIÓN CAMBIOS

Versión	Realizó	Revisó	Aprobó	Observaciones	Fecha
1	MAS	EER	EER		08-09-24
2	MAS	EER	EER		08-10-03
3	MAS	EER	EER		08-10-19
4	CIV	MAS	EER		08-12-22
5					



Secretaría

GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

FOPAE

TITULO:

“REALIZAR EL REDISEÑO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN DE RIESGO Y PRESTAR LA ASESORÍA DURANTE CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN EN EL BARRIO BRISAS DEL VOLADOR (ZONA 2 – FASE 2) UBICADO EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN BOGOTÁ D.C”

AUTOR:

INGENIERIA Y GEORIESGOS IGR Ltda

RESUMEN:

En este informe se presenta el Rediseño de las obras de mitigación de riesgo y la asesoría durante construcción de las obras de mitigación en el barrio Brisas del Volador (zona 2 –fase 2) ubicado en la Localidad de Ciudad Bolívar en Bogotá D.C de acuerdo con los alcances de los Términos de Referencia de la invitación para contratación de consultoría de mínima cuantía FOPAE-001-2008.

PALABRAS CLAVES:

BRISAS DEL VOLADOR, CIUDAD BOLIVAR, RIESGO, FENOMENOS, REMOCIÓN, MASA, DISEÑOS, OBRAS.

TERMINOS PARA GLOSARIO E INDICE:

AMENAZA, RIESGO, FENOMENOS DE REMOCIÓN EN MASA, OBRAS DE MITIGACIÓN DE RIESGO.

CLASIFICACIÓN DE SEGURIDAD: CLASIFICADO	CONTRATO: No:554-2008	IDIOMA: ESPAÑOL	NUMERO DE PAGINAS: 223	NUMERO DE COPIAS: 1
---	---------------------------------	---------------------------	----------------------------------	-------------------------------

RESUMEN:

En este informe se presenta el Rediseño de las obras de mitigación de riesgo y la asesoría durante construcción de las obras de mitigación en el barrio Brisas del Volador (zona 2 –fase 2) ubicado en la Localidad de Ciudad Bolívar en Bogotá D.C de acuerdo con los alcances de los Términos de Referencia de la invitación para contratación de consultoría de mínima cuantía FOPAE-001-2008..

Se realizó la topografía de la zona a escala 1:250 con curvas de nivel cada 50 cm. Se ejecutó la geología de la zona, en donde se ubica el grupo Guadalupe (Ksg), en toda la zona de estudio se identificó la formación tierna. Las areniscas de la formación Guadalupe se encuentran en intercalaciones con lodolitas onduladas.

Se utilizó la información de tres sondeos y dos trincheras ejecutadas por IGR en el año 2005 y los resultados de laboratorio realizados para el diseño de las obras en este sector.

Con la topografía actual y la información disponible de la investigación geotécnica realizada en contratos anteriores, los resultados de los ensayos de laboratorio previos se construyeron los perfiles geotécnicos de la zona. A partir de estas secciones y demás información se procedió a generar los modelos de análisis para obras.

Se plantearon tres alternativas de obras para mejorar la estabilidad del talud.

La primera alternativa consiste en un perfilado del talud que genera un movimiento de tierras apreciable en la parte baja, colocación de pernos pasivos de longitud variable desde la parte alta hasta la cota 2831 y revestimiento con una celosía formada por vigas de concreto con cubrimiento de concreto lanzado y drenes horizontales.

La segunda alternativa plantea la construcción de pernos desde la parte alta del talud hasta la cota 2838 y revestimiento del talud con una celosía de vigas de concreto con cubrimiento de concreto lazado, pilotaje en la pata de la celosía como cimentación, muro de gaviones en la pata de la ladera de 3 m de alto y drenes horizontales.

La alternativa tres considera pernos pasivos desde la parte alta hasta la cota 2842.5 y revestimiento del talud con una celosía de vigas de concreto con cubrimiento de concreto lanzado, un muro de gaviones de 4 m en la pata de la ladera con su respectivo relleno de confinamiento, drenes horizontales, cunetas y empradización de taludes poco empinados con cespedón.

De las alternativas planteadas se recomienda utilizar la alternativa 3 que presenta factores de seguridad mas favorables para la estabilidad del talud y desde el punto de vista económico presenta el costo mas bajo debido al menor volumen de corte y a la disminución de las líneas de pernos pasivos y del área de revestimiento del talud con la celosía de concreto.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	13
1.1	GENERALIDADES	13
1.2	OBJETIVOS Y ALCANCE.....	14
2	DIAGNÓSTICO CONCEPTUAL.....	17
2.1	ANTECEDENTES	17
2.2	ESTADO ACTUAL DEL SITIO DE ESTUDIO	20
3	ACTUALIZACIÓN TOPOGRAFÍA.....	24
3.1	RECURSO HUMANO	24
3.2	EQUIPOS	24
4	CONDICIÓN GEOLÓGICA.....	25
4.1	ASPECTOS DE GEOLOGÍA REGIONAL.....	25
4.2	ESTRATIGRAFÍA	26
4.2.1	Grupo Guadalupe (Ksg)	26
4.3	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	27
4.4	GEOLOGÍA LOCAL.....	27
4.4.1	Unidades roca.....	27
4.4.2	Estructural.....	30
4.5	GEOMORFOLOGÍA.....	32
4.5.1	Morfoestructural.....	32
4.5.2	Morfodinámica	34
5	EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO, PRUEBAS DE CAMPO, ENSAYOS DE LABORATORIO Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA	43
5.1	EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO.....	43
5.1.1	Sondeos Mecánicos, Toma de Bloques y Trincheras	43
5.1.2	Líneas de Refracción Sísmica	44
5.1.3	Sondeos Eléctricos Verticales	45
5.2	PRUEBAS DE CAMPO	45
5.3	ENSAYOS DE LABORATORIO.....	45
5.4	CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA.....	46
5.4.1	Materiales	46
5.4.2	Discontinuidades	46
5.5	ANÁLISIS CINEMÁTICO.....	49
6	AJUSTE DEL MODELO GEOTÉCNICO.....	52

7	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	55
7.1	ANÁLISIS EN CONDICIONES ACTUALES	57
7.2	OBRAS PROPUESTAS.....	60
7.2.1	Alternativa 1	60
7.2.2	Alternativa 2.....	61
7.2.3	Remoción de materiales susceptibles y perfilado del Talud	61
7.2.4	Alternativa 3.....	62
7.2.5	Remoción de materiales susceptibles y perfilado del Talud	62
7.3	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD CON OBRAS.....	63
7.3.1	Alternativa 1	64
7.3.2	Alternativa 2.....	65
7.3.3	Alternativa 3.....	67
7.4	ANÁLISIS NUMÉRICO ALTERNATIVA 3 CON PLAXIS V8.x	72
7.4.1	Modelo geotécnico y discretización de elementos finitos.....	72
7.4.2	Materiales y estructuras.	73
7.4.3	Fases de construcción.....	74
7.4.4	Resultados obtenidos con el método de elementos finitos.	75
7.5	DISEÑO ESTRUCTURAL ALTERNATIVA 3.....	86
8	PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO	87
9	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	90
10	CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO	91
11	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92
12	LIMITACIONES.....	95
13	BIBLIOGRAFIA.....	96

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Localización general del área de estudio	15
Figura 1.2	Localización particular del área de estudio	15
Figura 2.1	Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa (Ingeocim Ltda., 1998).	22
Figura 2.2	Obras propuestas para la estabilización del deslizamiento del sitio 5- Brisas del Volador por el Consorcio IGR en el Año 2006.....	22
Figura 4.1	Marco geológico regional (Tomado de Ingeocim, 1999).....	38
Figura 4.2	Estereógrafa de diaclasas (Tomado de IGR-2005)	39
Figura 4.3	Polos para la totalidad de las diaclasas medidas (Tomado de IGR, 2005).....	39
Figura 4.4	Discontinuidades promedias a partir de la totalidad de las diaclasas	40

Figura 4.5	Condición cinemática de esfuerzos para la zona de estudio.....	40
Figura 6.1	Modelo de Análisis sección C1.....	52
Figura 6.2	Resultado análisis de esfuerzo en roca usando Rocklab para Kgst Are 4.....	53
Figura 6.3	Resultado análisis de esfuerzo en roca usando Rocklab para Kgst Lod	53
Figura 6.4	Resultado análisis de esfuerzo en roca usando Rocklab para Kgst Are 3.....	54
Figura 6.5	Resultado análisis de esfuerzo en roca usando Rocklab para Brecha	54
Figura 7.1	Resultado análisis de estabilidad condición actual superficie irregular.....	57
Figura 7.2	Resultado análisis de estabilidad condición actual superficie circular	58
Figura 7.3	Resultado análisis de estabilidad condición actual superficie definida	58
Figura 7.4	Resultado análisis de estabilidad condición actual superficie irregular condición crítica	59
Figura 7.5	Resultado análisis de estabilidad condición actual superficie circular condición crítica	59
Figura 7.6	Resultado análisis de estabilidad condición actual superficie definida condición crítica.....	60
Figura 7.7	Resultado análisis de estabilidad alternativa 1 superficie irregular condición crítica.....	64
Figura 7.8	Resultado análisis de estabilidad alternativa 1 superficie circular condición crítica.....	65
Figura 7.9	Resultado análisis de estabilidad alternativa 1 superficie definida condición crítica.....	65
Figura 7.10	Resultado análisis de estabilidad alternativa 2 superficie irregular condición crítica.....	66
Figura 7.11	Resultado análisis de estabilidad alternativa 2 superficie circular condición crítica.....	67
Figura 7.12	Resultado análisis de estabilidad alternativa 2 superficie definida condición crítica.....	67
Figura 7.13	Resultado análisis de estabilidad alternativa 2 superficie irregular condición crítica.....	69
Figura 7.14	Resultado análisis de estabilidad alternativa 3 superficie circular condición crítica.....	69
Figura 7.15	Resultado análisis de estabilidad alternativa 3 superficie definida condición crítica.....	70
Figura 7.16	Modelo geotécnico y malla de elementos finitos para la alternativa 3.	72
Figura 7.17	Contorno de desplazamientos totales que existen actualmente en el sitio de estudio	76

Figura 7.18 Contorno de desplazamientos una vez construidos los pernos de anclaje y el muro en gaviones, sin efecto de la celosía y en condición estática.....	77
Figura 7.19 Contorno de desplazamientos una vez construida la celosía.....	77
Figura 7.20 Contorno de desplazamientos con la obra completa con un coeficiente de aceleración de 0.08g.....	78
Figura 7.21 Contorno de desplazamientos con la obra completa con un coeficiente de aceleración de 0.16g.....	78
Figura 7.22 Banda de corte que muestra la superficie potencial de falla del talud en condición actual.....	80
Figura 7.23 Banda de corte que muestra la superficie potencial de falla del talud en condición estática con las obras proyectadas.....	80
Figura 7.24 Banda de corte que muestra la superficie potencial de falla del talud en condición de sismo con 0.08g y con las obras proyectadas.....	81
Figura 7.25 Banda de corte que muestra la superficie potencial de falla del talud en condición de sismo con 0.16g y con las obras proyectadas.....	81
Figura 7.26 Diagramas de fuerzas axiales para los pernos pasivos en condición de sismo con 0.08g.....	83
Figura 7.27 Diagramas de Fuerzas axiales para la celosía en condición estática y de sismo.....	84
Figura 7.28 Diagramas de fuerzas cortantes para la celosía en condición estática y de sismo.....	85
Figura 7.29 Diagramas de fuerzas cortantes para la celosía en condición estática y de sismo.....	86

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Vista del talud en el año 2006 cuando se realizaron los diseños iniciales....	16
Fotografía 2. Vista del talud con la pantalla anclada y en la condición morfológica actual.	16
Fotografía 3. Vista de la pantalla anclada en primer plano	16
Fotografía 4. Cuneta de la parte alta construida en conjunto con la pantalla.....	16
Fotografía 5. Vista del estado actual de la cuneta atrás de la corona del talud cerca de la pantalla.	23
Fotografía 6. Presencia de acumulación de sedimentos y basuras dentro de la cuneta que obstruyen el libre drenaje.	23
Fotografía 7. Condición del sitio en mayo de 2005	23
Fotografía 8. Condición del sitio en Junio de 2006	23
Fotografía 9. Vista general del sitio de estudio luego de la implementación de las obras de estabilización en la primera fase, esta vista corresponde con la condición actual.....	23
Fotografía 10. Evidencia del avance de procesos de erosión en surcos y laminar, se alcanzan a presentar pequeñas cárcavas.	23
Fotografía 11 . Vista de una zona de brechamiento en el sitio de estudio, nótese la orientación caótica de los fragmentos rocosos.....	25
Fotografía 12 Intercalaciones lodosas ondulosas (Kgst - Lod2). Tomado del estudio de IGR-2006	28
Fotografía 13 Areniscas friables ondulosas (Kgst - Are3) en la parte media de la imagen, las cuales suprayacen a la parte superior (con predominio de arcillolitas) de la unidad de Lodolitas 2 e infrayace la unidad de areniscas macizas superiores (Kgst – Are4). Tomada de IGR-2006	29
Fotografía 14 Areniscas macizas superiores (Kgst - Are4). Tomada de IGR-2006	30
Fotografía 15 Estrías de fricción. (Tomado de IGR -2006)	31
Fotografía 16 Panorámica de las laderas estructurales denudacionales, en la parte alta, al sur de la zona de estudio. Tomado IGR-2006.....	33
Fotografía 17 Laderas intervenidas por actividades extractivas y taludes mecanizados producidos por la intervención antrópica, relacionada con la extracción de materiales de construcción. (Tomado de IGR-2006).....	34

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A	INFORME LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO
ANEXO B	DISEÑO ESTRUCTURAL
ANEXO C	ESPECIFICACIONES TECNICAS.

REALIZAR EL REDISEÑO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN DE RIESGO Y PRESTAR LA ASESORÍA DURANTE CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN EN EL BARRIO BRISAS DEL VOLADOR (ZONA 2 – FASE 2) UBICADO EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN BOGOTÁ D.C.

ANEXO D CÁLCULO DE CANTIDADES DE OBRA.

ANEXO E PRECIOS UNITARIOS Y PRESUPUESTO.

GLOSARIO

Amenaza: Probabilidad de que ocurra un evento potencialmente dañino en un área y un período de tiempo dados.

Arcillolita: Roca sedimentaria de origen detrítico. Es una roca compacta, sin fisilidad que está formada por partículas del tamaño de la arcilla.

Base topográfica: Mapa que contiene información topográfica, utilizable para referenciar localizaciones de otros elementos, y elaboración de mapas temáticos.

Buzamiento (geología): Ángulo de inclinación que forma un filón, estructura o capa rocosa con un plano horizontal, medido perpendicularmente a la dirección o rumbo del filón.

Cobertura: Un conjunto de datos asociados temáticamente y considerados como una unidad.

Deslizamientos: El movimiento consiste de deformación por corte y desplazamiento

Escarpe: Cualquier cara rocosa alta, de muy pendiente a perpendicular o en voladizo. El escarpe es usualmente producido por erosión y menos comúnmente se encuentran producidos por fallamiento.

Estabilidad (geotecnia): Resistencia de una estructura, talud o muro de contención a la falla por deslizamiento o colapso bajo condiciones normales, para las que fue diseñado.

Estrato: Capa de roca caracterizada por sus propiedades litológicas particulares y los atributos que la distinguen de las capas adyacentes.

Fujos de tierra: El movimiento se caracteriza por la velocidad relativamente baja.

Geomorfología: Ciencia que tiene por objeto el estudio y la explicación de las formas del relieve terrestre.

Levantamiento topográfico: Descripción y delineamiento un terreno en su configuración superficial.

Movimientos en masa: Caída de las rocas, una vez han sido fragmentadas (meteorización), mediante diversos tipos de impulsos gravitacionales.

Perfil: Es la secuencia y conjunto de horizontes de un suelo; corte vertical hecho en el suelo a fin de hacer un estudio.

Riesgo: Es la combinación de la probabilidad de ocurrencia de un incidente o evento no deseado y de la severidad de sus consecuencias.

Sondeo: Operación que se efectúa con el fin de perforar el suelo, mediante la apertura de orificios de diámetro pequeño para la exploración.

Talud: Superficie inclinada del terreno en la base de un cerro o de una colina, donde se encuentra un depósito de detritos.

SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

- **kPa:** kilo Pascal.
- **m:** Metros.
- **Ha:** Hectárea
- **Tc:** Tiempo de concentración en horas,
- **L:** Longitud del cauce.
- **S:** Pendiente del cauce.
- **F de S:** Factor de seguridad.
- **RQD:** Rock Quality Designation.
- **SPT:** Ensayos de penetración estándar
- **wN %:** Humedad natural.
- **$\gamma T/m^3$:** Peso unitario.
- **IL:** Índice de Liquidez
- **N'i:** Número de golpes corregido para un esfuerzo de confinamiento de 1 kg/cm²
- **ϕ_{eq} :** Ángulo de fricción equivalente.
- **c':** Cohesión.
- **ϕ' :** Ángulo de fricción.
- **P+:** Probabilidad de ocurrencia del evento crítico
- **P-:** Probabilidad de no ocurrencia del evento crítico
- **T:** Período de retorno
- **n:** Período de análisis o exposición.
- **ah/g:** Coeficiente de aceleración horizontal del terreno
- **a:** Coeficiente de Gumbel = 16.85895
- **b:** Coeficiente de Gumbel = 0.319692
- **Pn:** Probabilidad para exposición de n años
- **n:** Tiempo de exposición (años)
- **P:** Probabilidad anual (= 1/475).

1 INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

El Fondo de Prevención y Atención de Emergencias - FOPAE a través de la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias del Distrito - DPAE suscribió el Contrato de Consultoría No. 554 de 2008 con INGENIERÍA Y GEORIESGOS LTDA, cuyo objeto es la “Realizar el rediseño de las obras de mitigación de riesgo y prestar la asesoría durante construcción de las obras de mitigación en el barrio Brisas del volador (zona 2 – Fase 2) ubicado en la localidad de Ciudad Bolívar en Bogotá D.C.”

El presente informe describe las actividades ejecutadas, análisis realizados, resultados obtenidos y los rediseños planteados para dar solución a los problemas observados en la zona 2 dentro del desarrollo de la fase II.

El sitio se encuentra localizado aproximadamente entre las coordenadas 94650N-91250E y 94550N-91350E y limita al sur con el parque del Tanque El Volador de la Empresa de Acueducto de Bogotá. El acceso a Brisas del Volador se realiza por la Avenida Boyacá con Calle 64 sur (entrada al barrio Lucero), ascendiendo por la calle 70 D sur, hacia el occidente, hasta la carrera 22, para tomar la vía a Quiba, que sirve como límite oriental del área de estudio, mientras que el límite occidental del sitio corresponde a la carrera 23 A. En la Figura 1.1 y en la Figura 1.2 se muestra la localización general y particular del Sitio 5, respectivamente.

En junio de 2006, en el área de estudio en donde se desarrollan varios escarpes producto de antiguas explotaciones mineras, se presentó un fenómeno de remoción en masa que puso en peligro a las vías y viviendas aledañas, así como a los habitantes del sector. Para solucionar este problema en este mismo año el CONSORCIO IGR realizó los estudios y diseños de obras de mitigación del riesgo para este sitio dentro del desarrollo del contrato de consultoría N° 648 de 2005, celebrado entre el DPAE Y EL CONSORCIO IGR.

Por condiciones presupuestales las obras planteadas se proyectaron para construir en 2 fases, durante la primera fase se construyó una cuneta en la parte superior del talud y una pantalla anclada entre las cotas 2857 y 2860msnm, con anclajes de hasta 30 m de longitud. En una segunda fase se previó la construcción de una pantalla pernada conformada por una celosía de concreto y pernos de 6 m desde la base de la pantalla anclada hasta la pata del talud.

Actualmente se encuentra construida la pantalla de concreto y la cuneta superior, las demás obras se encuentran contratadas para construcción. Debido al lapso transcurrido después de los diseños, las condiciones morfológicas locales han cambiado por procesos de erosión y por las mismas excavaciones realizadas para la construcción de la Pantalla anclada y otros cortes adicionales (Fotografía 1 a Fotografía 4), por lo anterior, se hizo necesario hacer una actualización de las condiciones topográficas y los análisis geotécnicos para redefinir las obras de la parte media y baja del talud tomando como base la concepción inicial de las obras planteadas y generar los diseños detallados de las mismas de acuerdo con la condición actual.

En el presente informe se incluye inicialmente un resumen general de los antecedentes del problema, posteriormente se presenta la actualización de la topografía, descripción de la condición geológica local y de la condición geotécnica. Posteriormente se presenta el modelo geotécnico utilizado y los análisis geotécnicos tendientes a redefinir las obras de estabilización

que garanticen la mitigación del riesgo en las condiciones de morfología actual. Finalmente se presenta la evaluación de cantidades, el presupuesto y las especificaciones técnicas de construcción.

1.2 OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo principal de este estudio es el rediseño de las obras para la mitigación del riesgo en el barrio Brisas del Volador, posterior a la presentación de los diseños se presta la asesoría durante construcción de las obras, en lo que sigue se plantean las siguientes labores para la etapa del rediseño:

- Actualización del Levantamiento topográfico incluyendo secciones representativas para su uso en la definición del modelo geotécnico, para los análisis geotécnicos y localización de obras.
- Actualizar los análisis de estabilidad originales para la condición actual.
- Hacer el planteamiento de nuevas alternativas de solución para la implementación de las medidas de mitigación de riesgo, incluyendo cuadro de cantidades de obra, especificaciones técnicas, planos, recomendaciones sobre los procesos constructivos, presupuestos, cronogramas de ejecución, análisis de precios unitarios, y análisis de la viabilidad de la construcción, ajustes en los programas de seguimiento, mantenimiento y monitoreo de las obras.

REALIZAR EL REDISEÑO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN DE RIESGO Y PRESTAR LA ASESORÍA DURANTE CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN EN EL BARRIO BRISAS DEL VOLADOR (ZONA 2 – FASE 2) UBICADO EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN BOGOTÁ D.C.

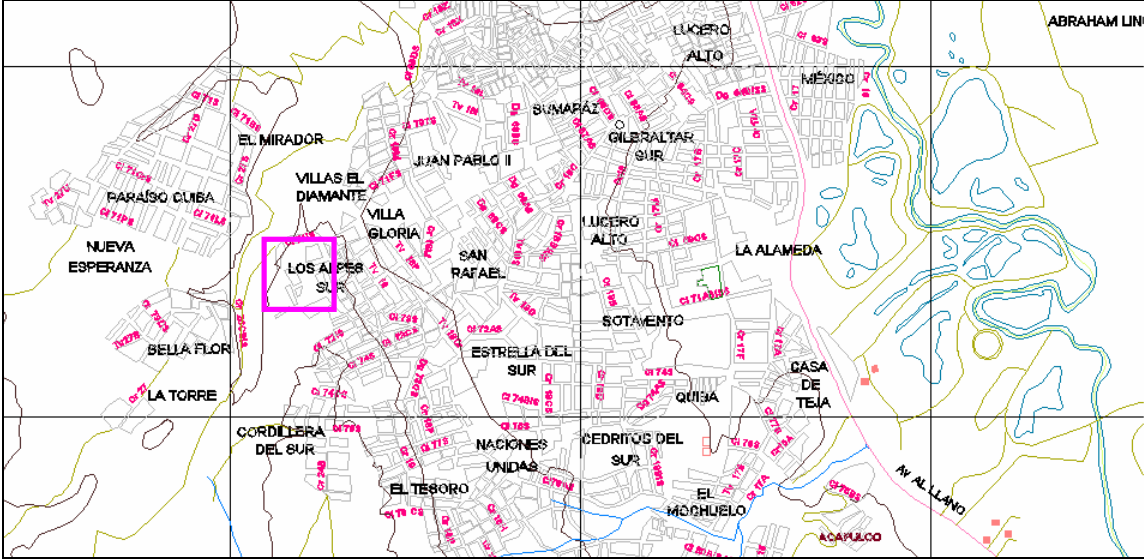


Figura 1.1 Localización general del área de estudio



Figura 1.2 Localización particular del área de estudio

REALIZAR EL REDISEÑO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN DE RIESGO Y PRESTAR LA ASESORÍA DURANTE CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN EN EL BARRIO BRISAS DEL VOLADOR (ZONA 2 – FASE 2) UBICADO EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN BOGOTÁ D.C.



Fotografía 1. Vista del talud en el año 2006 cuando se realizaron los diseños iniciales



Fotografía 2. Vista del talud con la pantalla anclada y en la condición morfológica actual.



Fotografía 3. Vista de la pantalla anclada en primer plano



Fotografía 4. Cuneta de la parte alta construida en conjunto con la pantalla.

2 DIAGNÓSTICO CONCEPTUAL

2.1 ANTECEDENTES

De acuerdo con lo indicado en el informe final producto del contrato 648 de 2005, realizado para el sitio, en junio del año 2006, después de una fuerte temporada de lluvias en el área de estudio en donde se encuentran varios escarpes producto de antiguas explotaciones mineras, se presentó un fenómeno de remoción en masa que puso en peligro a las vías y viviendas aledañas, así como a los habitantes del sector.

El problema consistió principalmente en el desprendimiento y caída de bloques de la parte alta del escarpe rocoso debido al reblandecimiento de una capa de lodolita, acompañado de flujo de detritos, guijarros y bloques, los cuales ocasionaron la caída de dos viviendas localizadas en la parte superior del escarpe, cercanas a la vía que conduce al barrio Los Alpes. Así mismo, el material deslizado alcanzó a cubrir parte de la vía de acceso al parque El Volador de la EAAB.

En la zona de estudio confluyen varias características importantes, tanto desde el punto de vista litológico como estructural. Son ellas:

- Presencia de paquetes de areniscas y lodolitas, de diferentes espesores y estados de alteración, en buzamientos altos orientados hacia la ladera, lo que origina la posibilidad cinemática de deslizamientos a través de los planos de estratificación.
- Presencia de amplias zonas de brechamiento que afectaron los materiales más competentes (las areniscas), de una manera desigual, convirtiendo las características estructurales del macizo rocoso en meros relictos, sin persistencia, que hacen que la zona de brecha posea un comportamiento más similar al de un medio particulado como es el de los suelos granulares y como tal será analizado, tanto desde el punto de vista geomecánico como hidromecánico.
- Alta susceptibilidad al reblandecimiento o pérdida de resistencia por humedecimiento, en las capas de lodolita, así como una frontera “impermeable” al agua. Esto último ocasiona la saturación de los materiales sobreyacentes de la columna litoestratigráfica -en el caso de la brecha- o aumento de las presiones de empuje que se pueden presentar en las discontinuidades de las areniscas, así como en el contacto de los materiales con una superficie propicia al deslizamiento.

Las anteriores características, conjugadas con factores como:

- Incremento de la escorrentía superficial en el talud durante la temporada de lluvias, por efecto de la deficiencia de la altura del sardinel de la vía que conduce a los Alpes. Esto ocasionó que las aguas que escurren por la vía, sobrepasaran el sardinel y alcanzaran el desborde sobre el talud en estudio.
- Mal estado de las estructuras de drenaje de la vía y redes de conducción de aguas lluvias y aguas negras, las cuales se encuentran colmatadas por escombros y basura, impidiendo el correcto drenaje y generando un gran aporte de agua a la zona afectada.
- Vertimiento de aguas domésticas por viviendas de invasión que se localizan en la corona del talud.

- Mal estado de la vía de acceso al barrio los Alpes, lo que genera vibraciones en el terreno producto del paso de vehículos pesados de transporte público sobre las losas fracturadas.
- Generación de un corte casi vertical en el talud, con el fin de ampliar y adaptar un sendero peatonal para el paso de volquetas y maquinaria durante la construcción de las obras de mitigación para el talud del costado norte del parque El Volador. Este corte en el talud dejó expuesto en la parte inferior el estrato de lodolita que subyace a la arenisca friable, facilitando el inicio del proceso de remoción en masa.
- Deficiencia o ausencia en la construcción de las obras de mitigación de riesgo recomendadas en estudios previos al ejecutado mediante el contrato 648 de 2005.

Proporcionaron los elementos suficientes para el desarrollo del fenómeno de remoción en masa ocurrido en el mes de junio de 2006.

De acuerdo con las recomendaciones del estudio en el año 2007 el FOPAE contrató la construcción de parte de las obras recomendadas, estas obras son:

- Una pantalla anclada localizada en la parte superior, construida en concreto y sostenida con anclajes de 30 m de longitud, los cuales tiene una bulbo de 13 m aproximadamente y una longitud libre de 17 m. esta pantalla actual mente presenta una comportamiento adecuado. En la Fotografía 5 se aprecia el estado actual de la pantalla.
- En la corona del talud, atrás de la pantalla anclada, se construyó una cuneta en concreto reforzado que controla el flujo de escorrentía superficial desde la parte alta de la ladera y que en el cuerpo del talud generaba lavado del relleno de las discontinuidades, la saturación del talud y demás efectos indicados anteriormente. Actualmente esta cuneta se encuentra en buen estado estructural, sin embargo, presenta acumulación de sedimentos y de basuras que en algunos tramos la tienen colmatada, lo anterior hace que su funcionamiento sea inadecuado y requiera de mantenimiento periódico. En las fotografías 5 y 6 se muestra la condición actual de la cuneta.

De acuerdo con la información recopilada del área de estudio e información suministrada por estudios previos, a continuación se hace una breve descripción de los antecedentes presentados por el FOPAE para el Sitio de estudio, mediante la emisión de diferentes estudios y diagnósticos técnicos.

Según el “Estudio de zonificación por inestabilidad del terreno en diferentes localidades de Santa Fe de Bogotá”, elaborado por la firma INGEOCIM LTDA. en 1998 para el FOPAE, el área de estudio se encuentra en la transición de las zonas de Amenaza Media en el escarpe rocoso y Amenaza Alta en la parte baja del talud tal y como se muestra en la Figura 2.1.

En el Estudio de Riesgos por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras Recomendadas para Estabilizar los Escarpes y Laderas Ubicados en el Barrio Brisas del Volador y el Extremo Noroccidental del barrio La Esmeralda Sur de la localidad Ciudad Bolívar en Bogotá D.C., realizado por el Consorcio IGR en Mayo de 2005, se resalta la existencia de macizos rocosos correspondientes a la Formación Labor y Tierna del Grupo Guadalupe, donde predominan areniscas de regular a buena cementación, con intensidad de fracturamiento variable e

intercalaciones de lodolitas grises. Estas lodolitas usualmente conforman los planos a lo largo de los cuales se presentan deslizamientos planares de grandes magnitudes, principalmente en las zonas de extracción de materiales en donde se retira el soporte basal a flancos monoclinales con cortes aproximadamente paralelos al rumbo de las estructuras y donde además las intercalaciones lodosas quedan expuestas, humedeciéndose con facilidad y perdiendo sus propiedades normales de resistencia.

Dentro del inventario de procesos de remoción en masa efectuada para el estudio, se evidenció la presencia de un deslizamiento de tipo traslacional en la parte norte (actual sitio de estudio), en un talud afectado por actividad extractiva. Este proceso se desarrolla sobre areniscas muy alteradas y suelos residuales arenosos, con flujos de detritos asociados e involucrando las intercalaciones de lodolitas. El agente detonante definido corresponde a las fugas de aguas servidas de viviendas ubicadas en la parte alta del talud. Como resultado del estudio, se concluyó que el nivel de amenaza a futuro sería Alto en el talud norte que se encuentra actualmente fallado, en la fotografía 7 se aprecia el estado del talud en mayo de 2005.

En este estudio proponían obras de mitigación tales como: Reubicación de predios en la parte alta del talud, Perfilado de los frentes de explotación en taludes 1H:2V, Perfilado de parte del área en taludes 2H:1V. Empradización con cespedón de parte del talud. Manejo de aguas lluvia y de infiltración mediante canales en concreto, estructuras disipadoras y subdrenes horizontales.

En el informe producto de la “Elaboración de diseños de obras nuevas y diseños para el mantenimiento de obras existentes, presupuestos y especificaciones técnicas en sitios críticos de riesgo inminente por remoción en masa en las localidades de Suba, Usaquén, Ciudad Bolívar y Usme, de la Ciudad de Bogotá, D.C.”- contrato 648 de 2005 se encuentran los estudios y diseños de obras para el sitio 5 Brisas del Volador que corresponde con el sitio de estudio del presente contrato.

En este informe se indica que para la época del estudio el talud se encuentra afectado por un proceso de remoción en masa consistente en un flujo de detritos, guijarros y bloques, acompañado de caída de bloques de arenisca de considerable tamaño, tal y como se observa en la Fotografía 8. Se indica que el factor detonante del movimiento fue el gran aporte de agua al talud durante la temporada de lluvias, el agua proveniente principalmente de la escorrentía de la vía y el terreno, así como de conexiones no autorizadas de redes de acueducto y alcantarillado de las viviendas aledaña. También menciona como causa la ejecución de un corte casi vertical en talud norte para la construcción de un sendero por el que transitaban volquetas. Adicionalmente indica que no se construyeron las obras recomendadas en el estudio realizado en mayo de 2005.

Adicionalmente se hace una reevaluación del modelo geológico y geotécnico del área de estudio de acuerdo con las observaciones realizada en el área deslizada y según los resultados obtenidos en la exploración geotécnica existente y realizada para el estudio, cabe destacar que se incluye en el nuevo modelo de análisis una zona de brecha de falla cuyo comportamiento debe tomarse como el de un suelo granular debido al gran fracturamiento y descomposición de la roca.

Como solución al problema se planteo la implementación de las obras que se describen a continuación:

- Construcción de una cuneta en la parte superior del talud. La longitud de la cuneta es de 93m. Su sección es rectangular, con espesor de pared de 0.10m y dimensiones efectivas de 0.50m y 0.30m.
- Remoción manual de bloques, susceptibles de desestabilizarse en la parte alta del talud.
- Construcción de drenes subhorizontales.
- Construcción de una pantalla anclada entre las cotas 2857 y 2860msnm. El espesor de pared de la pantalla es de 0.30m, construida en concreto de resistencia a la compresión medida a los 21 días de 24MPa. Se deben construir tres filas de anclajes localizadas en las proximidades de las cotas 2859.5msnm, 2858.4msnm y 2857.3msnm, con una inclinación con el plano horizontal de 29°. La longitud libre de los mismos es en el orden indicado de 17.14m, 16.19m y 15.26m, mientras que la longitud de los bulbos es de 13m, 12.5m, y 11.0m. El diámetro previsto de los cables es de ½”.
- Construcción de una pantalla pernada por medio de pernos de longitud 6.0m espaciados cada 1.0m. El espesor de la pantalla debe ser 0.30m. El diámetro de perforación debe ser 2” y el de la varilla corrugada de 1”.
- Construcción de una pantalla pernada entre las cotas 2840.5 y 2833.5msnm. El espesor de pared de la pantalla pernada es de 0.30m. La distribución de los pernos se debe efectuar en celosía, con una distancia entre ellos de 1.5m. De esta manera se deben distribuir en la sección C1-C1 seis filas de pernos, en las siguientes cotas: 2839.75msnm, 2838.5msnm, 2837.4msnm, 2836.2msnm, 2835msnm y 2833.8msnm. La longitud de los pernos debe ser de 6.0m, y se debe efectuar en una perforación de 2” de diámetro y utilizar varilla corrugada de acero de diámetro 1”.

En la Figura 2.2 se muestran las obras proyectas por el Consorcio IGR en el año 2006.

De las obras propuestas, en el año 2007 se construyó la pantalla anclada, la cuneta de la parte superior y se hizo la remoción del material inestabilizado de la parte media y baja. Las demás obras quedaron pendientes para su ejecución en una segunda fase, la cual actualmente se desarrolla. Sin embargo se realizaron cortes adicionales a los previstos y en el transcurso del año 2007 a la actualidad se han presentado procesos locales de erosión, estos factores modificaron las condiciones morfológica del sitio y no es posible la construcción de las obras adicionales como estaba inicialmente previsto. Por lo anterior se realiza en este informe el rediseño de las obras para la Fase 2 y así completar el grupo de obras requeridas para la estabilización.

2.2 ESTADO ACTUAL DEL SITIO DE ESTUDIO

En la actualidad el sitio de estudio aparenta un grado de estabilidad adecuado gracias a la construcción de la pantalla anclada, de la cuneta posterior al escarpe principal y del retiro del material suelto e inestabilizado. El efecto positivo de estos elementos básicamente se justifica en lo que sigue:

- La pantalla generó un reforzamiento del macizo rocoso y un confinamiento adecuado de los bloques superiores distensionados lo cual eliminó gran parte de la carga

efectiva del borde del macizo superior sobre el nivel de brecha de falla que presenta un comportamiento deficiente. Adicionalmente el tensionamiento cierra en gran medida sistemas de fracturas verticales generando una disminución de la permeabilidad promedio secundaria del macizo.

- La cuneta de la parte superior del talud interceptó adecuadamente el flujo de escorrentía superficial proveniente de la parte alta de la ladera, que antes de su construcción generaba saturación del borde del talud, lavado del relleno de las discontinuidades, reblandecimiento de las capas de lodolita sobre los planos de estratificación, disminución de esfuerzos efectivos, erosión laminar y en surcos y demás efectos negativos.
- El retiro del material suelo e inestable del talud facilita el escurrimiento del agua lluvia y evita la acumulación de agua dentro de los vacíos grandes del material movido evitando así la generación de flujos de tierras y lodos locales que pueden afectar las vía inferior y las viviendas, adicionalmente se elimina un depósito de ladera colgado que desde el punto de vista cinemático es potencialmente inestable por su propio peso.

En la Fotografía 9 se aprecia el talud luego de la intervención realizada con las obras de estabilización y el movimiento de tierras realizado en el año 2007.

Es evidente que actualmente el material que conforma el talud (macizo rocoso muy fracturado y brecha de falla) muy alterado y susceptible de debilitamiento estructural por la acción del agua lluvia principalmente, requiere una intervención inmediata para evitar que continúen avanzando procesos morfodinámicos como erosión laminar y en surcos que corto y mediano plazo pueden desencadenar procesos de inestabilidad mayores. En la Fotografía 10 se aprecia el grado de avance de procesos de erosión por acción del agua de escorrentía.

Para el rediseño de la obra de estabilización de la parte media y baja del talud se tendrá en cuenta la información geológica y geotécnica presentada en el Informe del Sitio 5 Brisas del Volador producto del Contrato 648 de 2005 realizado por el Consorcio IGR. Con respecto a la información topográfica se utilizará la topografía actualizada, para lo cual se realizó un nuevo levantamiento topográfico del sitio el día 28 de agosto de 2008 en el Plano 1 se presenta la topografía actual del sitio de estudio, y en el Anexo A se presenta el listado de coordenadas.

REALIZAR EL REDISEÑO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN DE RIESGO Y PRESTAR LA ASESORÍA DURANTE CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN EN EL BARRIO BRISAS DEL VOLADOR (ZONA 2 – FASE 2) UBICADO EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN BOGOTÁ D.C.

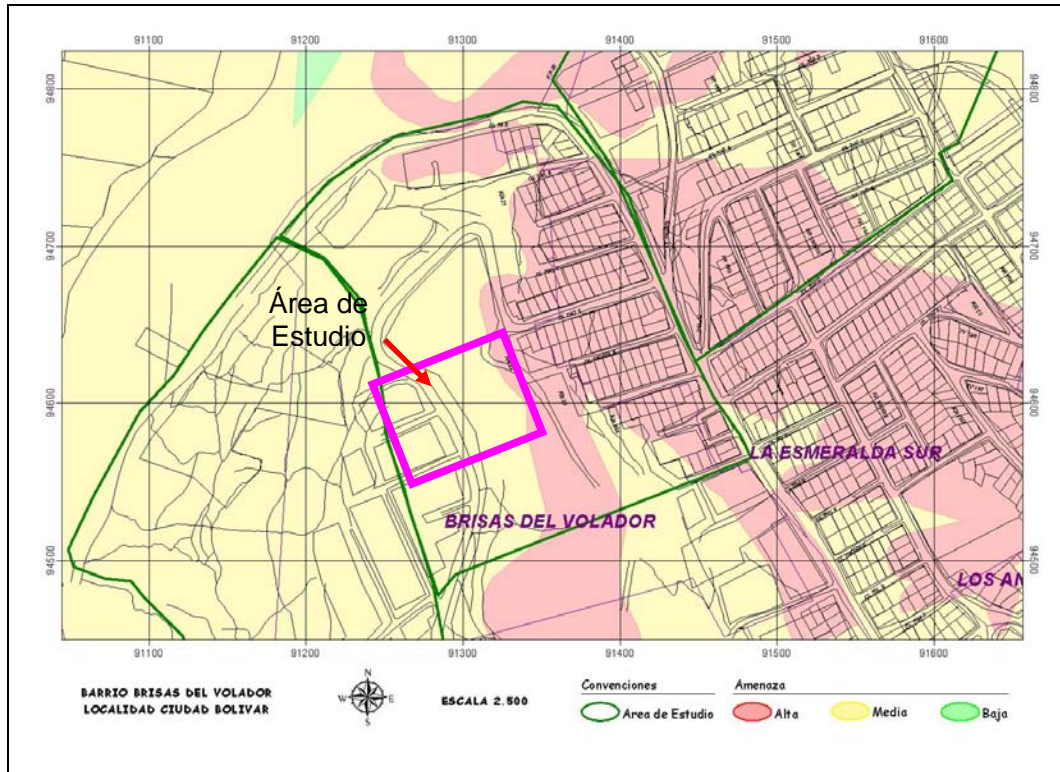


Figura 2.1 Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa (Ingeocim Ltda., 1998).

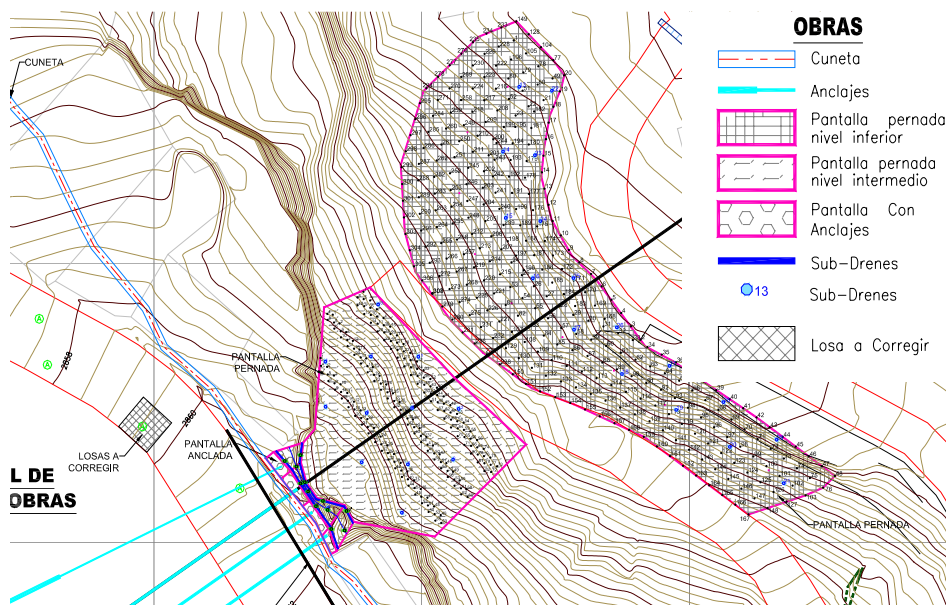


Figura 2.2 Obras propuestas para la estabilización del deslizamiento del sitio 5- Brisas del Volador por el Consorcio IGR en el Año 2006



Fotografía 5. Vista del estado actual de la cuneta atrás de la corona del talud cerca de la pantalla.



Fotografía 6. Presencia de acumulación de sedimentos y basuras dentro de la cuneta que obstruyen el libre drenaje.



Fotografía 7. Condición del sitio en mayo de 2005



Fotografía 8. Condición del sitio en Junio de 2006



Fotografía 9. Vista general del sitio de estudio luego de la implementación de las obras de estabilización en la primera fase, esta vista corresponde con la condición actual.



Fotografía 10. Evidencia del avance de procesos de erosión en surcos y laminar, se alcanzan a presentar pequeñas cárcavas.

3 ACTUALIZACIÓN TOPOGRAFÍA.

Las labores se iniciaron el día 28 de Agosto del 2008, con la toma de detalles con una comisión, la cual, se encargo de levantar los elementos considerados e importantes para el área como también para curvas de nivel.

Además se localizaron Tres (3) Secciones en el sitio, como también algunas cunetas recién construidas, muros y cajas que se encontraban en el área del lote.

Para el amarre de las coordenadas se utilizó los deltas de los levantamientos anteriores a demás de estructuras como pozos.

El procedimiento empleado para la toma de datos es el siguiente:

Se arma el equipo (estación) sobre una placa (delta) ó un auxiliar (puntilla), se centra el nivel ojo de pollo, luego con los tornillos de nivelación se centra el nivel tubular y por ultimo con los compensadores electrónicos tanto horizontal como vertical se chequea el nivel tubular, se verifica que la plomada óptica se encuentre dentro del punto de centro, los bastones porta prisma se arman sostenidos por un bípode de aluminio, asegurando que quede bien estable el bastón en el centro del punto a leer, esto con el fin de hacer lecturas de ángulos verticales, horizontales y distancias bastante confiables.

Después de hacer estos procedimientos se realiza lecturas de ángulos y distancia en posición directa de todos los detalles que se encuentran dentro de la zona de influencia del proyecto, terminada la armada la información recopilada se introduce en un programa de cálculo.

Para el levantamiento se recopilo la información de trescientos setenta y cinco (375) puntos, con los cuales se generó la topografía con curvas de nivel cada 0.50m.

3.1 RECURSO HUMANO

En la realización de este proyecto intervino el siguiente grupo de profesionales de la topografía y afines desempeñando los siguientes cargos:

Miguel Ramírez	Topógrafo Calculista
Víctor Jaramillo	Porta prisma
Omar Sánchez	Ayudante

3.2 EQUIPOS

Estación NIKON DTM - 300 s/n 690048.

Computador DELL INSPIRON para Oficina.

Para la captura, descarga, procesamiento de datos topográficos y control de la información se utilizó el programa TRANSIT además programas de hoja de cálculo y diseño.

Producto de esta actividad de se presenta el Plano 1.

4 CONDICIÓN GEOLÓGICA

A continuación se toman los aspectos más relevantes del estudio geológico presentado en el estudio “Elaboración de diseños de obras nuevas y diseños para el mantenimiento de obras existentes, presupuestos y especificaciones técnicas en sitios críticos de riesgo inminente por remoción en masa en las localidades de Suba, Usaquén, Ciudad Bolívar y Usme, de la Ciudad de Bogotá, D.C.” correspondiente al Sitio 5- Brisas del Volador, realizado por el Consorcio IGR en noviembre de 2006.

4.1 ASPECTOS DE GEOLOGÍA REGIONAL

La zona trabajada hace parte de las laderas cercanas al Piedemonte sur de la Sabana de Bogotá y presenta una morfología de ladera con pendientes generales que varían entre 25 y 45° y locales hasta de 90° que representan los escarpes rocosos originados por canteras antiguas. Se encuentra sobre una secuencia sedimentaria que hace parte del flanco occidental del Sinclinal de Usme y en la que predominan areniscas cuarzosas dispuestas en capas gruesas (más de 3 metros de espesor) intercaladas con lodolitas grises de fisibilidad baja que conforman la Formación Arenisca Tierna del Grupo Guadalupe. La ladera se encuentra cubierta parcialmente por paquetes coluviales productos de deslizamientos relativamente recientes, ligados a la explotación inadecuada de materiales de construcción y materiales antrópicos.

Los macizos rocosos se encuentran intensamente fracturados, llegando a presentar brechamiento y zonas con harina de falla cuyo comportamiento se asemeja más a un suelo particulado que a un macizo rocoso. Estos procesos tectónicos se relacionan con fallas que poseen una importante componente de rumbo tipo dextral. (Ver la geología regional formulada por Ingeocim, 1999 en la Figura 4.1).



Fotografía 11 . Vista de una zona de brechamiento en el sitio de estudio, nótase la orientación caótica de los fragmentos rocosos.

4.2 ESTRATIGRAFÍA

En este numeral se tiene como referencia la información del Léxico Estratigráfico Internacional (Julivert, 1968).

4.2.1 Grupo Guadalupe (Ksg)

Nombre: Propuesto por Hettner (1892) y redefinido por Hubach (1957) y Renzoni (1968) quienes lo subdividieron en Arenisca Dura (Ksgd), Plaeners (Ksgp) y Labor y Tierna (Ksglt). El nombre de esta unidad procede del Cerro de Guadalupe, que conforma la Sierra de Bogotá.

Edad: Cretácico Tardío (Campaniano - Maastrichtiano Superior).

4.2.1.1 Características físicas de la roca en el área tipo

Formación Labor y Tierna (Ksglt): Areniscas blancas a grises claras, de grano fino a grueso, con estratificación gruesa a muy gruesa. La parte superior del conjunto la conforman areniscas cuarzosas y feldespáticas, de grano medio a conglomerático, ligeramente duras a friables, con estratificación inclinada, intercaladas con capas delgadas de arcillolitas grises claras.

4.2.1.2 Características físicas de la roca en el área de estudio

Formación Labor y Tierna (Ksglt): Areniscas cuarzosas de grano fino, color gris claro a blanco amarillento, bien seleccionadas, competentes, con cementación moderada a buena, en capas generalmente gruesas (más de 2 metros), presencia de estratificación interna inclinada e ichnofosiles en las capas de techo. Se presentan intercalaciones de lodolitas poco fisibles de color gris, dispuestas en capas delgadas con estratificación ondulosa paralela y laminación plano paralela.

4.2.1.3 Características geotécnicas y procesos morfodinámicos típicos

Los macizos rocosos correspondientes al Grupo Guadalupe se caracterizan por su variabilidad. Se puede generalizar un comportamiento de macizo rocoso la Formación Labor y Tierna, donde predominan areniscas de regular a buena cementación, con intensidad de fracturamiento variable. Sin embargo, los macizos rocosos explotados en la zona del Volador (bancos de areniscas) tienen intercalaciones de lodolitas grises, que han conformado los planos a lo largo de los cuales se han presentado o se están presentado deslizamientos planares de grandes magnitudes en las zonas de extracción de materiales cercanas (antigua cantera El Volador, adyacente a la zona de estudio y canteras Santa Helena e Industrial y Minera La Quebrada, ubicadas al occidente).

Los deslizamientos planares de macizo rocoso se dan en zonas en las cuales se quitó el soporte basal a flancos monoclinales con cortes aproximadamente paralelos al rumbo de las estructuras y donde además afloraban intercalaciones lodosas que al humedecerse pierden sus propiedades normales de resistencia.

4.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La zona de estudio se ubica en el flanco occidental del Sinclinal de Usme, pero dicho flanco presenta replegamientos menores y fuerte afectación tectónica. El Mapa Geológico de Ingeocim-DPAE (1999) mostrado en la Figura 4.1 muestra una falla regional de rumbo, con componente dextral ubicada prácticamente sobre la zona de estudio.

En cuanto a plegamientos, no se observa este tipo de estructuras en la zona de estudio.

4.4 GEOLOGÍA LOCAL

En el estudio de IGR en mayo de 2005, se llevó a cabo el levantamiento cartográfico de la geología detallada en la zona actualmente fallada, caracterizando cada una de las unidades de roca aflorantes en la zona de estudio. Las areniscas dispuestas en bancos o capas muy gruesas y que mostraban buena calidad de afloramientos (generalmente relacionados con escarpes de antiguos frentes de extracción) fueron sub-divididas de acuerdo con su fracturamiento (Número de Cecil). Es importante destacar que en la totalidad de la zona de estudio aflora la Arenisca Tierna (Ksgt), con lo que se aporta en el ajuste del mapa Ingeocim - Upes (1999), en donde se cartografía la parte inferior del sector estudiado como parte de la Formación Guaduas.

A continuación se describen las unidades, de la más antigua a más reciente:

4.4.1 Unidades roca

4.4.1.1 Unidad de arenisca alterada (Kgst - Are 0)

Esta unidad aflora al occidente de la zona de estudio. Su afloramiento consiste en un escape de suelos residuales arenosos, con parches de macizo rocoso brechado. Consiste de areniscas de grano medio, friables debido a la acción de agentes de meteorización. Esta unidad no se encuentra expuesta en el talud inestabilizado en junio de 2006 objeto de este estudio, por lo tanto no será tomada en cuenta dentro del modelo de análisis para el presente estudio.

4.4.1.2 Unidad de Lodolita basal (Kgst - Lod1)

Solamente aflora ladera abajo en dirección norte, fuera de la zona de estudio. Consiste de lodolitas grises poco fisibles, en capas onduladas plano-paralelas. Presenta delgadas intercalaciones de arenisca lodosa de grano fino, bien cementadas. Altera a suelos residuales arcillosos de colores pardos. Esta unidad no será tomada en cuenta dentro del modelo de análisis para el presente estudio.

4.4.1.3 Unidad de Arenisca basal (Kgst - Are1)

Esta unidad no se encuentra expuesta en el sitio inestable, por lo tanto no será tomada en cuenta dentro del modelo de análisis para el presente estudio; sin embargo, a continuación se realizará una breve descripción.

Cuarzoarenisca maciza, dispuesta en bancos (espesor cercano a 15 metros), de colores pardos claros. Esta unidad se encuentra intensamente fracturada. En el tope muestra rugosidad a nivel meso por la presencia de ichnofosiles (lo que permite afirmar sin dudas que en la zona baja continua aflorando la Formación Arenisca Tierna).

4.4.1.4 Unidad de Intercalaciones lodosas ondulosas (Kgst - Lod2)

Intercalaciones de lodolitas grises poco fisibles con capitas de areniscas bien cementadas con espesores menores de 5 cm. La geometría de las capas es muy ondulosa y su respuesta ante la deformación es dúctil, observándose de manera frecuente cambios fuertes de espesor, especialmente en las zonas de falla. En la mitad superior de esta unidad predominan casi totalmente las lodolitas. La ondulidad de esta unidad se debe a la acción de esfuerzos tectónicos (Fotografía 12). Esta unidad de lodolitas se vio involucrada en el fenómeno de remoción en masa presentado en junio de 2006, dada su exposición en parte del talud norte y su humedecimiento, producto de la infiltración de agua a través de las discontinuidades y zonas de brecha de falla de la arenisca superior.



Fotografía 12 Intercalaciones lodosas ondulosas (Kgst - Lod2). Tomado del estudio de IGR-2006

4.4.1.5 Unidad de Arenisca maciza en capa gruesa (Kgst - Are 2)

Cuarzoarenita de color amarillo, con delgadas intercalaciones de lodolitas (menores de 2 cm). Se dispone en capas plano - paralelas con espesor menor de 3 metros. Los afloramientos de esta unidad son escasos.

4.4.1.6 Unidad de Areniscas friables ondulosas (Kgst - Are3)

Estas areniscas son más lodosas que las areniscas macizas y muestran algunas intercalaciones de capas de lodolitas grises. Siempre se observan con mayor contenido de humedad natural que el banco de arenisca maciza que la suprayace. Las capas de areniscas tienen espesores entre 20 y 30cm y las capas de lodolitas intercaladas no superan los 5 cm. (Fotografía 13).



Fotografía 13 Areniscas friables ondulosas (Kgst - Are3) en la parte media de la imagen, las cuales suprayacen a la parte superior (con predominio de arcillolitas) de la unidad de Lodolitas 2 e infrayace la unidad de areniscas macizas superiores (Kgst - Are4). Tomada de IGR-2006

4.4.1.7 Unidad de Areniscas macizas superiores (Kgst - Are4)

Cuarzoarenitas de grano medio a grueso (se observan algunos niveles escasos con tamaño de grano muy grueso, cercano a 2 mm), subredondeados a subangulares, de color amarillo fuerte a blancuzco (Fotografía 14), en general más meteorizadas que el paquete de arenisca suprayacente. Muestran ichnofosiles en el tope y foraminíferos en ciertos niveles. Esta unidad fue el principal objetivo de extracción de la actividad minera que se desarrolló en la zona. (Fotografía 14). El proceso de caída de bloques en el talud norte se presentó principalmente sobre esta unidad, en donde se desarrolla el escarpe principal del área de estudio.

4.4.1.8 Unidad de coluviones recientes (Qcol)

Se presenta en las zonas objeto de intervención extractiva y en ellas predominan los materiales arenosos, tanto en la matriz como en los bloques pétreos. También se incluyen en esta unidad el producto de los deslizamientos activos que se observan en la parte central y sur del área de estudio.

4.4.1.9 Unidad de suelos oscuros (Qcen)

La cobertura original de suelos oscuros producto de la acción orgánica sobre horizontes de cenizas provenientes de la Cordillera Central se conserva especialmente en la parte alta (occidente) de la zona de estudio. Consiste de suelos limosos de color gris claro, que suprayacen un horizonte de turba (suelo negro endurecido) con espesor menor de 10 cm.

En el Plano 2 se muestra la zonificación geológica del sitio de estudio correspondiente con lo indicado en el estudio de 2006, con una modificación en el modelo geológico que

muestra una zona brechada entre dos fallas geológicas y que incluye en gran medida sobre la inestabilidad del sitio.



Fotografía 14 Areniscas macizas superiores (Kgst - Are4). Tomada de IGR-2006

4.4.2 Estructural

4.4.2.1 Mediciones

Para determinar la condición de fracturamiento del macizo rocoso y su tendencia en orientación se tomó la información presentada en el informe del estudio de 2006, la cual fue levantada en campo durante el desarrollo del estudio de 2005, esta información se considera representativa para el sitio de estudio dado el alto número de datos. De la Tabla 4.1 a la Tabla 4.3 se presenta el inventario de las diaclasas y discontinuidades medidas en campo para el estudio de 2005. Las discontinuidades incluyen la orientación de la estratificación (en negrilla) y las fallas menores (en bastardilla), evidenciadas por estrías de fricción; en estos planos se midió, además de su acimut de buzamiento y su inclinación de buzamiento, la dirección (rumbo e inclinación) y el sentido de las estrías de fricción, con el fin de ligar estos datos con las estructuras regionales de fallamiento. En total se midieron 446 datos, que constituyen una muestra representativa de las discontinuidades del sector. La red estereográfica de los datos medidos se muestra en la Figura 4.2; los polos, en la Figura 4.3; las familias promedio, en la Figura 4.4 y, la condición cinemática de esfuerzos para la zona, en la Figura 4.5. En la Figura 3.2 se puede apreciar que la orientación tanto de diaclasas como de fallas estriadas es completamente errática mostrando que el macizo rocoso presenta un grado de fracturamiento muy alto con un patrón indefinido, los planos de estratificación son los únicos elementos que muestran un patrón de orientación bien definido. En esta condición

de fracturamiento sin orientación predominante se presenta una distribución heterogénea de bloques pequeños, lo que general susceptibilidad alta de presentarse fallas con superficie de tendencia circular.

En la Figura 4.3 se muestra cierta tendencias de concentración de polos, sin embargo las áreas de distribución de esas concentraciones aparentes son importantes indicando una variación grande de las orientación con respecto al centroide de cada zona, incluso todas las áreas están unidas entre sí indicando que existen orientaciones intermedias entre cada concentración, en este sentido no es posible concluir sobre la presencia de un numero claro de familias de discontinuidades que permitan deducir la tendencia de tipos de fallas específicas, es decir que en la distribución encontrada se puede presentar cualquier falla, más precisamente el talud falla por la combinación de todas las posibilidades de rotura.

4.4.2.2 Análisis tectónico cinemático

En el sector de Brisas del Volador, los taludes medidos fueron clasificados de manera preliminar de acuerdo con su orientación. Se recolectaron datos estructurales correspondientes a estratificaciones, fracturas y fallas con sus respectivos indicadores cinemáticos de desplazamiento (Fotografía 15).



Fotografía 15 Estrías de fricción. (Tomado de IGR -2006)

En el macizo rocoso se presentan cuatro familias principales de discontinuidades con una variación grande con respecto al punto medio tanto en azimut como en buzamiento, en el diagrama de frecuencias se puede ver que cada familia presenta variaciones de hasta 30° con respecto al valor medio tanto de Azimut como de Buzamiento. (Ver Figura 4.3 y Figura 4.4).

- D1 = Fracturas 215 / 72 con una frecuencia del 6,6%. Esta familia se encuentra asociada con fallas de rumbo, de carácter sinistral.
- D2 = Fracturas 321 / 84 con una frecuencia del 3,3%.
- D3 = Fracturas 147 / 67 con una frecuencia del 3,1%.

- D4 = Estratificación 68 / 27 con una frecuencia del 2,4%.
- Fracturas dispersas asociadas dispuestas con orientación intermedia a las familias principales indicadas.

Estas familias se mantienen a lo largo y ancho de todo el sector. A las fallas registradas (12 en total), se les realizaron los cálculos de condición cinemática de esfuerzos, cuyos resultados fueron: (ver Figura 4.5).

- Plano principal de falla de rumbo sinestral, el cual origina la mayor cantidad de fracturas (203 / 72)
- Plano principal de falla conjugada = 298 / 77
- Dirección de esfuerzo principal S1 = 71 / 22 (Posible dirección de cizalla regional)
- Dirección de esfuerzo principal S2 = 240 / 68
- Dirección de esfuerzo principal S3 = 340 / 4

4.5 GEOMORFOLOGÍA

4.5.1 Morfoestructural

La zona de interés se encuentra en la parte alta de una ladera de tipo estructural que conforma un monoclinal fallado con inclinación hacia el oriente, en cuya configuración morfológica es claro el control estructural de rocas de resistencia alta ante la erosión.

La ladera tenía una inclinación promedio de 30°, pero fue intervenida por labores de explotación minera (como fuente de materiales de construcción), mediante cortes aproximadamente paralelos al rumbo de las capas en la parte más baja de la ladera.

Como consecuencia de estas actividades, se crearon condiciones cinemáticas para la desestabilización de grandes porciones de macizo rocoso y las zonas de menor intervención fueron abandonadas con una reconfiguración morfológica inestable, tanto por los mencionados deslizamientos planares de macizo rocoso como por la creación de escarpes antrópicos sub-verticales sobre rocas sometidas a esfuerzos (voladuras) que disminuyeron sus características de resistencia.

4.5.1.1 Laderas estructurales denudacionales (Led)

Se ubican lateralmente en las partes altas adyacentes a la zona de estudio, en las áreas que no fueron intervenidas por la extracción de materiales (Fotografía 16). Se desarrollan sobre areniscas y lodolitas cubiertas por suelos coluviales delgados y suelos oscuros que enmascaran la litología. También se observan parches de rellenos antrópicos que no superan 1 metro de espesor.

Sobre este tipo de formas no se observan procesos de remoción en masa antiguos ni recientes. Los rangos típicos de pendiente para estas zonas no intervenidas varían entre 15 y 20°.



Fotografía 16 Panorámica de las laderas estructurales denudacionales, en la parte alta, al sur de la zona de estudio. Tomado IGR-2006

4.5.1.2 Laderas intervenidas por la actividad extractiva (Lea)

La extracción de las areniscas destapó horizontes infrayacentes, que fueron dejados sin intervenir en muchos sectores, probablemente por la dificultad para su laboreo. Estas laderas se observaban con ocurrencia de deslizamientos y flujos de tierra en el Sitio 5 (Fotografía 17). Los gradientes de pendiente se encuentran en general en el rango entre 20 y 30°, aunque algunos sectores alcanzan pendientes de 40° (generalmente coincidente con los afloramientos de areniscas).

4.5.1.3 Escarpes mecanizados

Son los escarpes producidos por la actividad extractiva o por el retroceso de ellos mediante procesos de remoción en masa. Sus pendientes son sub-verticales, con segmentos en voladizo (Fotografía 17). Están sujetos a la caída de bloques, dado su fracturamiento y la disminución de sus características de resistencia por los esfuerzos a los que fueron sometidos durante su laboreo como yacimiento minero. Sus pendientes varían entre 60 y 90°, con algunos taludes o porciones de talud en voladizo.

4.5.1.4 Explanaciones antrópicas

Formas suaves producidas por las actividades extractivas y posteriormente por adecuaciones para vías o viviendas. Suelen ubicarse adyacentes a los taludes de la antigua explotación minera sobre suelos residuales arenosos. En general, estas formas han sido urbanizadas.



Fotografía 17 Laderas intervenidas por actividades extractivas y taludes mecanizados producidos por la intervención antrópica, relacionada con la extracción de materiales de construcción. (Tomado de IGR-2006)

4.5.2 Morfodinámica

4.5.2.1 Meteorización

La meteorización es el conjunto de procesos externos (físico-químicos) que causan la alteración y desintegración de los componentes de las rocas y los suelos.

Para el área estudiada, el factor principal de meteorización es de tipo hídrico, en la que el lavado de ciertos minerales, y la concentración de otros, lleva al cambio de los suelos originales en suelos tipo residual.

Los procesos de meteorización se muestran en estadios avanzados en los remanentes de escarpes naturales no intervenidos, donde se observan suelos residuales arenosos de colores rojizos. Estos colores, concordantes con altos contenidos de óxidos e hidróxidos de hierro se relacionan con ambientes tropicales húmedos, no con los ambientes secos semidesérticos como el que actualmente se encuentra en la zona de estudio. Todo lo anterior permite inferir que el área tuvo una larga estabilidad en el tiempo, pero que dicha situación fue modificada por la intervención antrópica (extracción de materiales).

4.5.2.2 Erosión hídrica concentrada

Se definen como el grupo de eventos por medio de los cuales el material rocoso o los suelos son desprendidos o disueltos y transportados por el agua a lo largo de un eje

lineal. Esto incluye, en el caso de los suelos, el movimiento de partículas arrancadas por el impacto de las gotas de lluvia que son transportadas en un flujo superficial.

Para la zona de estudio se encuentran surcos poco desarrollados sobre las caras desnudas de los escarpes naturales en los que afloran suelos residuales arenosos y areniscas intensamente fracturadas en los sitios aledaños al sitio de estudio.

En el sitio de estudio, actualmente se aprecia un avance importante de procesos de erosión concentrada tipo laminar, en surcos y pequeñas cárcavas. El avance de la erosión del talud en la parte media y alta se debe principalmente a la acción del agua pluvial que genera saltación de las partículas mas finas por el impacto de la lluvia y el consecuente lavado del relleno existente en medio de los bloques, ocasionando posteriormente su caída. En la parte baja la erosión se debe principalmente a la escorrentía superficial generada desde la parte superior que por la alta pendiente aumenta la energía del flujo y arrastra las partículas finas formando surcos en la zona muy fracturada y pequeñas cárcavas donde está expuesta el nivel de lodolita en la pata del talud.

Si se permite que los procesos de erosión continúen afectando el talud en el mediano plazo el talud se puede inestabilizar nuevamente.

4.5.2.3 Procesos de remoción en masa

En la zona de estudio confluyen varias características importantes, tanto desde el punto de vista litológico como estructural. Son ellas:

- Presencia de paquetes de areniscas y lodolitas, de diferentes espesores y estados de alteración, en buzamientos altos, orientados hacia la ladera, lo que origina la posibilidad cinemática de deslizamientos a través de los planos de estratificación.
- Presencia de amplias zonas de brechamiento que afectaron los materiales más competentes (las areniscas), de una manera desigual, convirtiendo las características estructurales del macizo rocoso en meros relictos, sin persistencia, que hacen que la zona de brecha posea un comportamiento más similar al de un medio particulado como es el de los suelos granulares, tanto desde el punto de vista geomecánico como hidromecánico.
- Alta susceptibilidad al reblandecimiento o pérdida de resistencia por humedecimiento, en las capas de lodolita, así como una frontera “impermeable” al agua. Esto último ocasiona la saturación de los materiales sobreyacentes de la columna litoestratigráfica -en el caso de la brecha- o aumento de las presiones de empuje que se pueden presentar en las discontinuidades de las areniscas, así como en el contacto de los materiales con una superficie propicia al deslizamiento.

Las anteriores características, conjugadas con factores como:

- Incremento de la escorrentía superficial en el talud en la temporada de lluvias, por efecto de la deficiencia de la altura del sardinel, lo que ocasiona que las aguas que discurren por la vía, la sobrepasen y alcancen el desborde sobre el talud en estudio.
- Mal estado de las estructuras de drenaje de la vía y redes de conducción de aguas lluvias y aguas negras, las cuales se encuentran colmatadas por escombros y basura, impidiendo el correcto drenaje y generando un gran aporte de agua a la zona afectada.

- Vertimiento de aguas domésticas por viviendas de invasión que se localizan en la corona del talud.
- Mal estado de la vía de acceso al barrio los Alpes, lo que genera vibraciones en el terreno producto del paso de vehículos pesados de transporte público sobre las losas fracturadas.
- Generación de un corte casi vertical en el talud, con el fin de ampliar y adaptar un sendero peatonal para el paso de volquetas y maquinaria durante la construcción de las obras de mitigación para el talud del costado norte del parque El Volador. Este corte en el talud dejó expuesto en la parte inferior el estrato de lodolita que subyace a la arenisca friable, facilitando el inicio del proceso de remoción en masa.
- Deficiencia o ausencia en la construcción de las obras de mitigación de riesgo recomendadas en estudios previos.

Proporcionaron los elementos suficientes para el desarrollo del fenómeno de remoción en masa ocurrido en junio de 2006. La secuencia conceptual de la ocurrencia del proceso de remoción en masa se resume a continuación:

- Ocurrencia de una fuerte temporada de lluvias entre marzo y mayo de 2006, con periodo de retorno alto.
- El agua proveniente principalmente de la escorrentía de la vía y el terreno, así como de conexiones no autorizadas de redes de acueducto y alcantarillado de las viviendas en la parte alta del talud, se infiltró a través de las diaclasas o discontinuidades de la arenisca superior que se encuentra bastante fracturada o a través de las zonas de brecha de falla presentes en el talud, las cuales son bastante permeables.
- Pérdida de la cabeza de succión -y en consecuencia de la cohesión aparente- en los materiales brechados, lo que origina que solo intervenga la fricción de los mismos. Al perder dicho aporte de resistencia, el talud de corte de la vía de acceso de construcción se vuelve inestable. El movimiento de los materiales del talud de la vía inestabiliza aquellos que se encuentran en la parte posterior de la misma, y como consecuencia de ello, el fenómeno de remoción se propaga de manera ascendente, desplazando los materiales brechados, en un movimiento de carácter traslacional como flujo de detritos por el alto fracturamiento de la masa afectada.
- Los aportes del agua de infiltración alcanzaron los estratos de lodolita que subyacen la arenisca (zona de debilidad), para luego generar una reducción en la resistencia por humedecimiento de los estratos lodosos y causar la posterior falla. Las fallas son de tipo traslacional y se desarrollan a lo largo de un plano de estratificación entre la arenisca y la lodolita.
- Como consecuencia de todo lo anterior, las areniscas de la parte superior de la columna litoestratigráfica pierden soporte y se inestabilizan los bloques susceptibles – muy definidos por las discontinuidades-, originando la caída de los mismos hacia la superficie del movimiento anterior.
- En los desprendimientos se produce una disgregación de masa litológica ya sea de suelo o roca fracturada y existe un descenso súbito con fragmentación del material a lo largo de una ladera de fuerte pendiente.

- En los desplomes hay una disgregación de una masa litológica generalmente rocosa y de volumen considerable y forma en la base o pie un depósito caótico de material grueso.

En el caso de la zona de estudio en el proceso intervienen areniscas dispuestas en bancos con desprendimiento y caída de material en fragmentos mayores de 30 cm. En cuanto a volumen, el fragmento más grande observado tiene aproximadamente 1m³; es importante anotar que la masa del fragmento se relaciona directamente con la energía cinética que alcance el bloque en su caída y por lo tanto en el potencial de daño que pueda causar.

Actualmente el sitio de estudio cuenta con obras para el control de drenaje de la parte alta de la ladera, correspondiente con una cuneta en concreto de sección rectangular. Se mejoró la estabilidad del macizo rocoso de la parte alta con la construcción de la pantalla anclada; el retiro del material deslizado de la parte baja y los bloques sueltos de la parte alta, eliminó el riesgo que este material continuara ladera abajo y afectara la vía y las viviendas. El macizo expuesto en la parte media y baja del talud se encuentra relativamente estable, sin embargo es necesario protegerlo para evitar su degradación en el corto y mediano plazo.

Para la zona expuesta se proyectó una protección superficial en el estudio de 2006 sin embargo no se construyó. Debido al lapso transcurrido y sumado a excavaciones adicionales no previstas que se realizaron durante intervención para el movimiento del material suelto se modificó la morfología local del sitio lo cual hace que se requiera un rediseño de obras para la condición actual enfocadas a la estabilización de la parte media y baja del talud fallado en el año 2006.

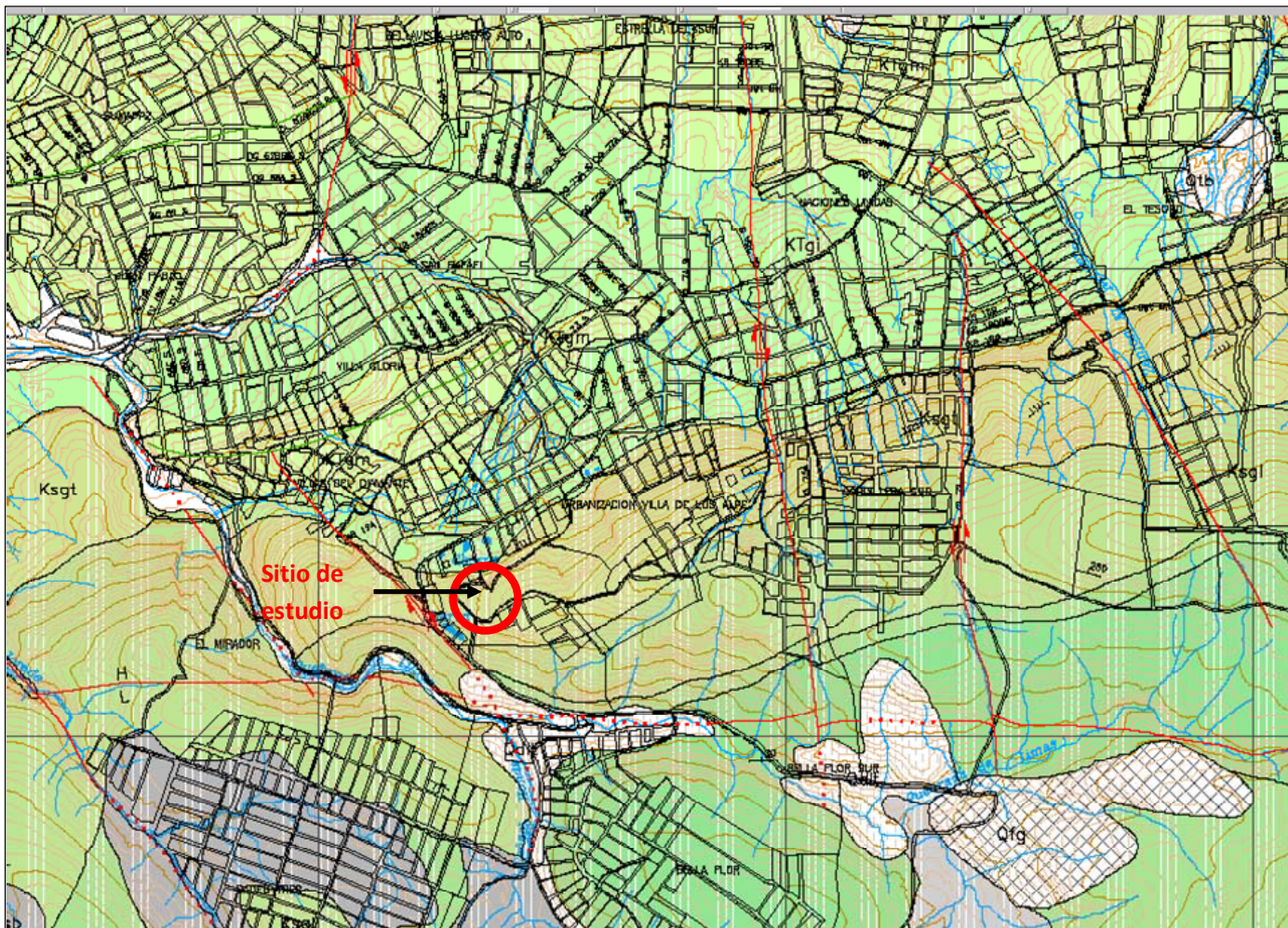


Figura 4.1 Marco geológico regional (Tomado de Ingeocim, 1999)

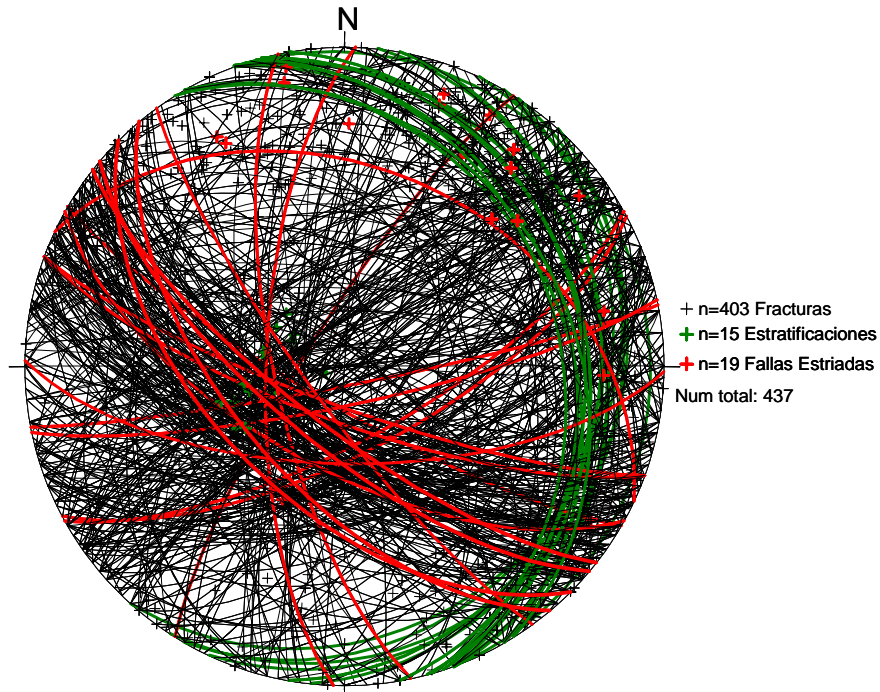


Figura 4.2 Estereógrafa de diaclasas (Tomado de IGR-2005)

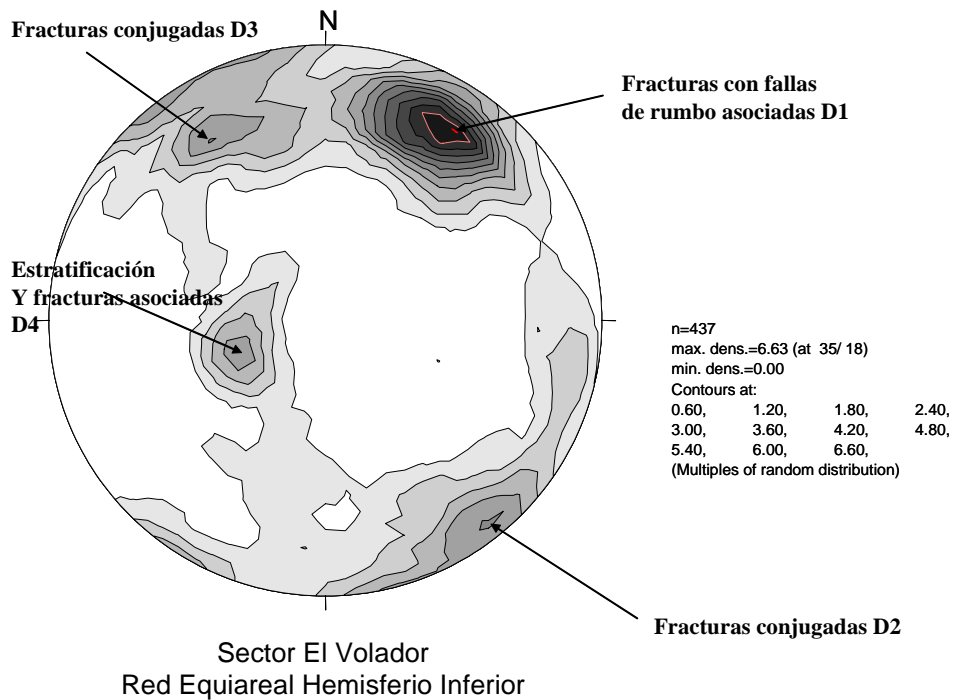


Figura 4.3 Polos para la totalidad de las diaclasas medidas (Tomado de IGR, 2005)

REALIZAR EL REDISEÑO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN DE RIESGO Y PRESTAR LA ASESORÍA DURANTE CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN EN EL BARRIO BRISAS DEL VOLADOR (ZONA 2 – FASE 2) UBICADO EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN BOGOTÁ D.C.

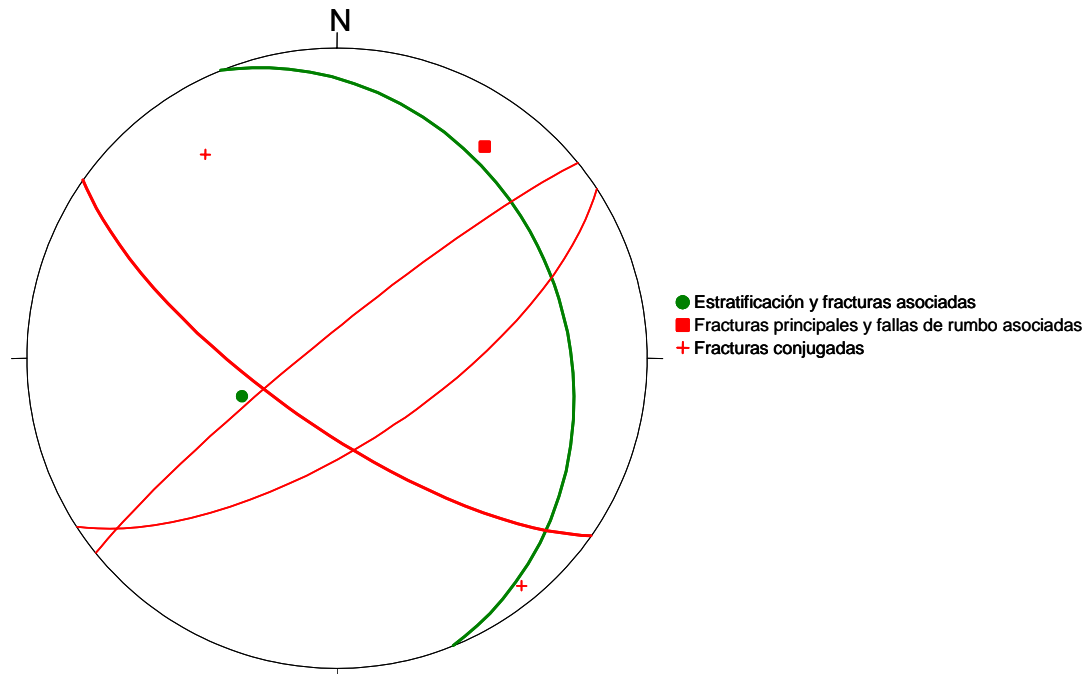


Figura 4.4 Discontinuidades promedias a partir de la totalidad de las diaclasas

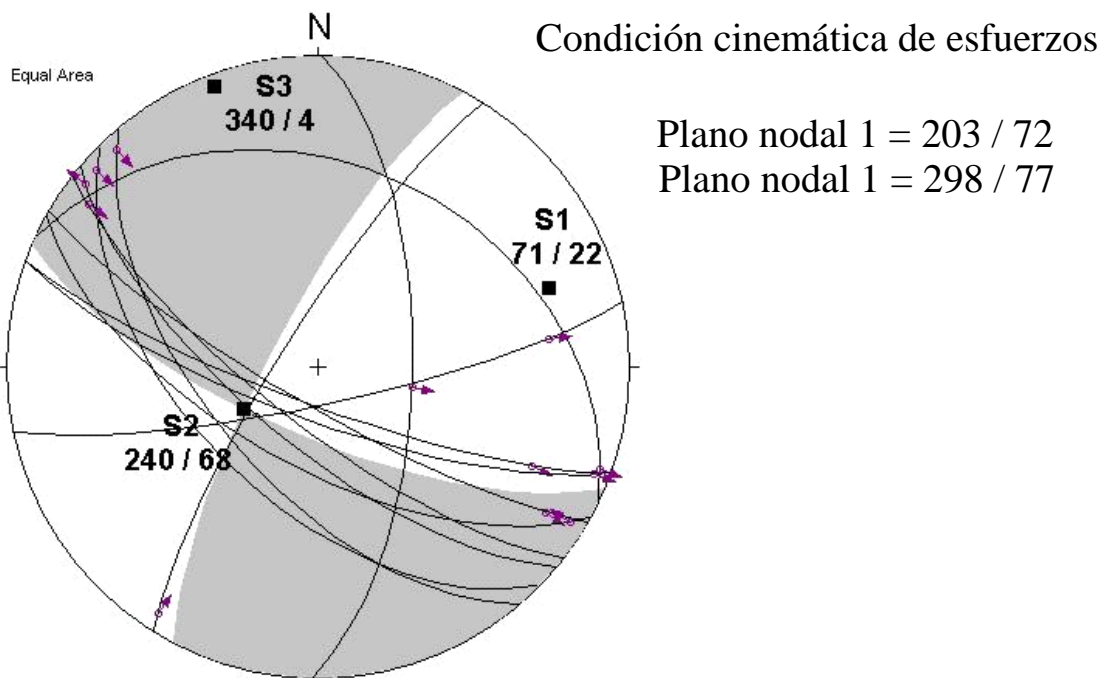


Figura 4.5 Condición cinemática de esfuerzos para la zona de estudio

Tabla 4.1 Datos estructurales levantados en campo - Talud 1

Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento
150	65	170	50	200	75
10	60	210	85	114	40
10	66	190	76	126	50
216	85	290	85	188	70
210	80	348	62	190	72
318	85	180	80	122	35
215	70	198	65	10	34
344	89	6	75	198	75
212	85	10	68	276	76
354	86	192	52	192	80
268	80	310	74	148	22
30	88	7	69	102	42
170	89	2	70	140	88
170	70	94	66	210	71
10	60	354	90	314	30
42	50	304	81	201	80
212	78	174	59	200	72
8	52	325	80	288	77
354	85	60	27	60	50
163	70	308	63	170	75
155	76	278	64	210	80
38	50	206	61	150	65
10	56	60	78	345	38
140	70	350	90	162	50
20	83	192	67	167	56
70	20	200	60	23	52
70	5	204	74	40	54
96	20	70	40	163	50
70	30	344	51	300	72
132	20	136	61	298	75
123	15	36	90	25	61
120	20	90	25	164	51
115	15	20	90	20	60
10	75	220	85	160	56
15	80	145	66	266	71
3	90	90	27	0	50
0	90	270	63	210	70
284	88	203	80	16	40
0	45	278	79	215	80
286	77	208	79	158	35
4	48	160	50	210	69
196	76	140	62	205	62
260	79	302	80	42	75
164	84	110	65	135	78
40	90	120	48	134	90
330	62	215	70	60	22
280	81	178	65	56	30
345	76	74	36	30	70
112	60	315	90	206	64
210	85	192	80		
Acimut buzamiento plano	Inclinación buzamiento plano	Acimut buzamiento estría	Inclinación buzamiento estría	Sentido	
302	80	190	6	<i>Dextral</i>	
210	80	128	14	<i>Sinistral</i>	

Tabla 4.2 Datos estructurales levantados en campo - Talud 2

Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento
142	88	60	60	42	75
217	65	325	70	232	65
214	70	204	71	76	62
126	75	8	25	78	58
318	72	170	63	194	70
144	65	310	85	132	35
288	28	204	70	192	75
212	55	211	67	116	75
215	76	42	25	204	80
160	60	116	75	206	72
130	76	297	88	198	55
166	60	138	88	190	65
83	84	160	62	322	55
217	67	28	80	106	80
241	76	320	80	200	65
165	70	282	85	260	70
146	70	215	78	125	55
210	65	138	82	222	75
220	76	322	80	180	53
342	72	152	65	154	65
158	75	58	83	214	60
146	66	155	85	158	60
217	67	212	62	176	70
287	80	150	45	16	45
218	77	214	75	228	70
208	25	326	80	138	70
222	75	324	75	250	80
220	65	150	56	220	35
155	76	278	80	132	65
182	69	342	65	176	57
240	75	225	75	330	80
32	15	152	85	284	76
233	70	202	82	194	65
145	83	212	72	166	85
241	70	146	72	130	55
158	50	180	80	0	76
328	82	120	85	114	40
146	72	272	80	154	62
205	64	220	72	162	62
202	65	222	55	200	50
220	65	140	70	146	80

Tabla 4.3 Datos estructurales levantados en campo - Talud 3

Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento
72	30	151	71	22	35
191	63	152	68	169	85
324	65	220	55		

5 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO, PRUEBAS DE CAMPO, ENSAYOS DE LABORATORIO Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

A partir de la información recopilada se establecieron las características de las diferentes litologías presentes en el área de estudio.

Para determinar las características y propiedades mecánicas del subsuelo, en estudios previos se adelantaron una serie de actividades de exploración del subsuelo consistentes en perforaciones mecánicas, trincheras, exploración geofísica y ensayos de laboratorio. En este numeral se describen los resultados de la información recopilada para el presente informe.

5.1 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

De acuerdo con las condiciones de la zona de estudio, se realizó una recopilación de información de las actividades de exploración, con el objeto de establecer las principales condiciones del subsuelo en relación con la distribución de los materiales y su comportamiento mecánico. En general, se tomó la información de exploración del subsuelo del estudio efectuado por IGR para el sector en el año 2005 y los resultados obtenidos en la exploración realizada para el diseño de las obras de emergencia en el año 2006. En este trabajo no se realizó exploración geotécnica por considerarse que la información existente es suficiente y confiable para la ejecución de los análisis geotécnicos. Adicionalmente la modificación topográfica de sitio se debió al retiro del material suelto e inestable el cual presentaba un comportamiento geotécnico muy variable, en la actualidad se encuentran expuestos los materiales cuyas características geomecánicas fueron estudiadas con suficiencia en los estudios anteriores.

A continuación se presenta un resumen de los resultados obtenidos en la información existente.

5.1.1 Sondeos Mecánicos, Toma de Bloques y Trincheras

Se tomaron como referencia tres (3) sondeos (S-1, S-2 y S-3, IGR-2005) con profundidades de 8, 14 y 8.1m, respectivamente, donde se indica que se recuperaron muestras de los materiales encontrados, para su identificación y la caracterización detallada en el laboratorio.

Por otra parte, se tomó la información de dos (2) trincheras con longitudes de 16 y 80 m con el objeto de establecer la estratigrafía y permitir la caracterización de las discontinuidades.

Como fuente básica de información se tomaron los resúmenes gráficos de los registros de cada una de las perforaciones y trincheras realizadas en el estudio de IGR 2005, en los cuales se señalan: la estratigrafía, las unidades geológicas a las que pertenecen, los resultados de recobro y RQD, la longitud o profundidad, y las propiedades físicas y mecánicas de las muestras.

En resumen, se encontró la siguiente estratigrafía en la exploración del subsuelo del estudio de IGR, 2005:

- El Sondeo 1, localizado en la parte baja del talud principal, en las vecindades del colegio, se desarrolló a lo largo de la Are1 en toda su longitud.
- El sondeo 2, localizado en la parte alta del escarpe y contiguo a la vía de acceso a los Alpes, atraviesa, en su orden, la Lod2 hasta 1.6m; la Are2 hasta 9.0m; la Lod1, hasta 10m, material del cual no se tuvo recobro y la Are1 hasta alcanzar los 14m, longitud total de la perforación.
- En el sondeo 3, ejecutado en la explanación de la zona norte, se encontraron rellenos en la parte superficial, la Are2 hasta 6.2; la Lod1, hasta 7m y de allí hasta 8.1m, la Are1.
- Las trincheras, por su parte, mostraron los siguientes materiales: La trinchera 1, que se extiende 80m a lo largo del escarpe principal y de occidente a oriente, exhibió 14m de Are3; posteriormente, 28m de Lod2, 12m de Are3 y 26m de Lod2. La trinchera 2, en el extremo norte, mostró 10m de Are2 y 6 de Lod1.

Para el apique efectuado en julio de 2006, se encontró el material arenoso del cuerpo del deslizamiento hasta una profundidad de 2.70m, hecho que evidencia el gran volumen deslizado y las características predominantemente arenosas de la roca en la zona de brecha. La descripción del material encontrado es la siguiente.

- 0.00-2.70m Material deslizado compuesto por bloques y bolos de arenisca embebidos en matriz arenosa de color amarillo carmelita, humedad baja a media y compacidad suelta. Presencia esporádica de pasto, escombros y basura.

En la trinchera realizada en julio de 2006 localizada en el escarpe principal del talud inestable, donde actualmente se encuentra la pantalla anclada, se encontró el contacto entre arenisca y lodolita que se constituyó como la zona de debilidad que ocasionó el proceso de remoción en masa en el año 2006, La descripción obtenida a partir de la identificación visual del material es la siguiente:

- 0.00-0.30m Cobertura vegetal compuesta por limo arenoso algo orgánico, de color negro, humedad baja y consistencia media. Presencia de raíces.
- 0.30-1.50m Arenisca maciza (Are 4) amarilla con tonalidades grises, de grano medio.
- 1.50-1.55m Lente de Lodolita de color gris, humedad baja y consistencia dura. El lente no tiene continuidad a lo largo del talud.
- 1.55-3.00m Arenisca maciza (Are 4) amarilla con tonalidades grises, de grano medio. La roca se encuentra algo más fracturada que el banco superior.
- 3.00-3.05m Lente de Lodolita de color gris clara a blanca, humedad baja y consistencia dura. El lente aparentemente tiene continuidad a lo largo del talud.
- 3.05-4.60m Arenisca (Are 3) amarilla carmelita con tonalidades grises y rojizas (óxidos), de grano medio. La roca se encuentra con mayor humedad y más meteorizada que la Are 3.

5.1.2 Líneas de Refracción Sísmica

Con el fin de complementar y extrapolar la información geotécnica del subsuelo obtenida por métodos de exploración directos, se tomó información de cuatro (4) líneas de

exploración geosísmica de refracción (LR1 a LR4), de longitudes variables entre 57 y 95m.

Las líneas reportaron, en términos generales, velocidades de onda V_p inferiores a 300 m/s para el estrato más superficial ($z < 0.80\text{m}$); alrededor de 800 m/s hasta una profundidad promedio de 15m (roca fracturada) y de ahí en adelante, correspondiente a roca sana, se encuentran velocidades superiores a 1000 m/s, tal y como se muestra en la Tabla 5.1.

5.1.3 Sondeos Eléctricos Verticales

Para evaluar las condiciones del agua del subsuelo y determinar la resistividad de los materiales presentes se tomó la información de tres (3) sondeos eléctricos verticales, cuyos resultados se describen a continuación:

- La profundidad explorada en los SEV fue entre 12 y 18m, restricción que fue causada por las barreras físicas en terreno.
- La resistividad de la capa 1 ($z < 1.6\text{m}$) reportada para los SEVs 1 y 3 es entre 140 y 500 Ohm correspondiente a los materiales superficiales sueltos, para la capa 2, de roca fracturada, (SEVs 1 y 2) está entre 500 y 900 aprox. y la resistividad de la capa 3 (SEVs 1 y 2) supera los 1000 Ohms que evidencia el hallazgo de la roca sana. En el SEV 3 posiblemente, por la presencia del agua, que le da mayor conductividad y menor resistividad; se identificó una segunda capa con resistividad inferior a 100 Ohms.

Los resultados de los sondeos eléctricos verticales se muestran resumidos en la Tabla 5.2.

5.2 PRUEBAS DE CAMPO

Los resultados de las pruebas de campo basadas en el RQD (Rock Quality Designation) para la exploración realizada en el estudio del año 2005, muestran lo siguiente:

Para el sondeo 1 el recobro varía entre 20 y 50 y el RQD es nulo. Para el sondeo 2, el recobro está entre 10 y 80% pero con RQD nulo, excepto hacia los 12m de profundidad donde alcanza el 63%. Para el sondeo 3, hay un comportamiento del recobro cercano al 50% y RQD de 20% hasta 3m, de ahí en adelante, recobro y RQD tienen valores cercanos a 100%.

5.3 ENSAYOS DE LABORATORIO

Se recopilaron los resultados de ensayos de laboratorio de estudios previos como peso unitario, peso específico de sólidos, determinación de porcentaje pasa No. 40, límites de consistencia, humedad natural, compresión inconfiada, carga puntual, tracción brasilera (sobre material rocoso), bloque deslizante y corte directo, sobre discontinuidades; todo el conjunto, con el fin de obtener una caracterización global del macizo rocoso.

Los resultados de las correlaciones entre carga puntual y resistencia a la compresión inconfiada en roca, así como los valores utilizados de esta variable para la modelación se muestran en la Tabla 5.3.

5.4 CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA

Para la caracterización geomecánica de los materiales encontrados en el sitio se tomaron como base los trabajos de reconocimiento de campo, junto con varias secciones geológicas de estudios previos. En cada punto de exploración se asignó la unidad geológica respectiva por profundidad y de esa manera se agruparon las propiedades físicas y mecánicas de cada conjunto.

Adicionalmente, se recopiló información de algunos proyectos en los que se hubiesen determinado propiedades mecánicas de materiales similares (arenisca y lodolita). A continuación se presentan los resultados más relevantes de la caracterización.

5.4.1 Materiales

En esta parte, se hace referencia a los pesos unitarios y las resistencias a tracción y compresión de las rocas:

Los pesos unitarios son, en promedio, los siguientes: Are1, 2.3 Ton/m³; Are2, 2.2 Ton/m³; Are4, 2.2 Ton/m³; Lod1, 1.8 Ton/m³; Lod2, 2.11 Ton/m³.

Con respecto a la resistencia a la compresión, σ_c , se tiene que es de 6; 34 y 39 MPa para Are 1, Are2 y Are4, respectivamente (ver Tabla 5.3). La resistencia a la tensión, σ_t , oscila entre 1.5 y 6.7 MPa para Are1 y alcanza 1.7MPa para Are2).

5.4.2 Discontinuidades

5.4.2.1 Caracterización geométrica

Las discontinuidades fueron descritas a partir de la información obtenida de los afloramientos, tomando como base los procedimientos sugeridos por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas, ISRM - 1981. Gracias a la gran extensión del afloramiento rocoso se tomaron como referencia los datos estructurales (azimut de buzamiento y buzamiento) y propiedades de las discontinuidades en diez sitios en y alrededor del área de estudio.

El inventario de los datos obtenidos y las características de las discontinuidades asociadas a ellos permitieron establecer lo siguiente, de acuerdo con la información suministrada por el estudio IGR, 2005:

Familia E (Estratificación): 68/27

- Unidad geológica: Miembro Arenisca Tierna de la Formación Guadalupe
- Tipo de roca: Arenisca cuarzosa bien cementada
- Persistencia: Continua (>10m)
- Espaciamiento: Bastante próximas (30 cm – 1m) a Separadas (1- 3 m).
- Abertura: Ligeramente abierta (<0,5cm) a Abierta (0,5 a 20 cm)
- Relleno: No existe

- Rugosidad micro: Ondulada suave. En ocasiones rugosa (capas con ichnofósiles)
- Rugosidad macro: Ondulada a planar
- Agua: Seca
- Número de Cecil: 7 (tres familias de discontinuidades y discontinuidades dispersas) y 8 (roca triturada, material parecido al suelo)

Familia D1 (Diaclasa 1): 215/72

- Asociada a fallas de rumbo de carácter sinistral.
- Unidad geológica: Miembro Arenisca Tierna de la Formación Guadalupe
- Tipo de roca: Arenisca cuarzosa bien cementada
- Persistencia: Continuidad media (5 – 10 m) a Continua (>10m)
- Espaciamiento: Bastante próximas (30 cm – 1m) a Separadas (1- 3 m).
- Abertura: Ligeramente abierta (<0,5cm) a Abierta (0,5 a 20 cm)
- Relleno: No existe o en ocasiones roca triturada.
- Rugosidad micro: Ondulada suave. En ocasiones estrías de fricción (mejor este término que espejo de falla)
- Rugosidad macro: Ondulada a planar
- Agua: Seca
- Número de Cecil: 7 (tres familias de discontinuidades y discontinuidades dispersas) y 8 (roca triturada, material parecido al suelo)

Familia D2 (Diaclasa 2): 321/84

- Asociada con lineamientos de rumbo N60E
- Unidad geológica: Miembro Arenisca Tierna de la Formación Guadalupe
- Tipo de roca: Arenisca cuarzosa bien cementada
- Persistencia: Continuidad media (5 – 10 m) a Continua (>10m)
- Espaciamiento: Bastante próximas (30 cm – 1m) a Separadas (1- 3 m).
- Abertura: Ligeramente abierta (<0,5cm) a Abierta (0,5 a 20 cm)
- Relleno: No existe o en ocasiones roca triturada.
- Rugosidad micro: Ondulada suave. En ocasiones estrías de fricción (mejor este término que espejo de falla)
- Rugosidad macro: Ondulada a planar
- Agua: Seca

- Número de Cecil: 7 (tres familias de discontinuidades y discontinuidades dispersas) y 8 (roca triturada, material parecido al suelo)

Familia D3 (Diaclasa 3): 147/67

- Asociada con lineamientos de rumbo N60E
- Unidad geológica: Miembro Arenisca Tierna de la Formación Guadalupe
- Tipo de roca: Arenisca cuarzosa bien cementada
- Persistencia: Continuidad media (5 – 10 m) a Continua (>10m)
- Espaciamiento: Bastante próximas (30 cm – 1m) a Separadas (1- 3 m).
- Abertura: Ligeramente abierta (<0,5cm) a Abierta (0,5 a 20 cm)
- Relleno: No existe o en ocasiones roca triturada.
- Rugosidad micro: Ondulada suave. En ocasiones estrías de fricción (mejor este término que espejo de falla)
- Rugosidad macro: Ondulada a planar
- Agua: Seca
- Número de Cecil: 7 (tres familias de discontinuidades y discontinuidades dispersas) y 8 (roca triturada, material parecido al suelo).

Como puede verse, las diaclasas 2 y 3 son la misma familia que, por ser cercanas a la vertical, son tomadas como dos sistemas: las D2 buzando al noreste y las D3 buzando al suroeste.

Para la determinación de la resistencia al deslizamiento entre discontinuidades, se tomó como referencia la información de pruebas de corte directo en condición saturada y seca y de bloque deslizante en condición seca, para los materiales rocosos presentes en el área de estudio

5.4.2.2 Caracterización geomecánica

Una vez caracterizados material rocoso y discontinuidades, se procedió a la clasificación y posterior caracterización del macizo. Para la clasificación se utilizó el método del RMR (Bieniawski, 1976) para los límites inferior y superior de propiedades, de donde se concluye que el macizo es entre pobre y regular según esta clasificación y el RMR oscila entre 36 y 42. Los mismos límites según la clasificación visual del GSI se encuentran, de manera consistente, entre 30 y 40.

Así, resulta más lógico asumir que la respuesta del macizo está gobernada por las discontinuidades y adoptar sus parámetros de resistencia.

5.5 ANÁLISIS CINEMÁTICO

Se tomó el análisis efectuado en el estudio de IGR, 2005, para determinar los modos probables de falla (planar, volteo y en cuña) para el conjunto de taludes en los que se expresa el macizo rocoso, contrastándolos con los posibles planos de movilización detectados en el levantamiento estructural.

En los análisis tomados del estudio del año 2005, se evidencia que bajo las condiciones geométricas mencionadas para los taludes y con las disposiciones de las diaclasas, los mecanismos de falla predominantes son planares y su geometría coincide con la estratificación. Por otro lado, se manifiesta la posibilidad de falla por volteo para unos pocos taludes. Las condiciones indicadas en los estudios del año 2005 y del año 2006 siguen siendo validas para la condición actual, excepto que no existe el material deslizado. Las características de los mecanismos de falla para el talud tanto en el sitio del deslizamiento como en sus alrededores inmediatos son similares a los presentados en los estudios anteriores ya que la orientación general del talud sigue siendo igual.

Es de aclarar que aunque es evidente la posibilidad de fallas planares a través de la estratificación, la presencia de las brechas de falla influyen en gran medida con la inestabilidad del talud debido al comportamiento mecánico deficiente y su localización desfavorable en el sitio de estudio. En este sentido en lo que sigue se realizará el análisis con obras de estabilización que mejoren la condición estructural del macizo rocoso especialmente en el área brechada cuyo comportamiento es de un suelo.

Tabla 5.1 Velocidades y espesores de las capas obtenidos en la exploración geofísica

Línea de refracción		Velocidad, v_p [m/s]	Material	Espesor [m]
1	Capa 1	268	Rellenos	1 - 2
	Capa 2	637	Roca meteorizada	2-18
	Capa 3	1290	Arenisca meteorizada	--
2	Capa 1	294	Rellenos	0-2
	Capa 2	700	Roca meteorizada	15
	Capa 3	3253	Arenisca sana	--
3	Capa 1	222	Rellenos	0.8
	Capa 2	877	Roca meteorizada	15
	Capa 3	3111	Arenisca sana	
4	Capa 1	300	Rellenos	0.8
	Capa 2	841	Roca meteorizada	15
	Capa 3	2872	Arenisca sana	

Tabla 5.2 Resultados obtenidos en los Sondeos Eléctricos Verticales

SEV	CAPA 1		CAPA 2		CAPA 3		Prof. del N.F. [m]
	Resistividad [Ohm-m]	Profundidad [m]	Resistividad [Ohm-m]	Profundidad [m]	Resistividad [Ohm-m]	Profundidad [m]	
SEV-01	207.71 (relleno)	0.00-0.75	1000 (arenisca)	0.75→			-
SEV-02	541 (s)	0.00-1.00	600-1000 (arenisca)	1.00→			-
SEV-03	391	0.00-0.81	70 (areniscas y arcillolitas)	0.81-11.92	20 (arcillolitas)	12-50	-

REALIZAR EL REDISEÑO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN DE RIESGO Y PRESTAR LA ASESORÍA DURANTE CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN EN EL BARRIO BRISAS DEL VOLADOR (ZONA 2 – FASE 2) UBICADO EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN BOGOTÁ D.C.

Tabla 5.3 Obtención de σ_c a partir de los ensayos de carga puntual y compresión inconfínada

Sondeo-Muestra	Unidad	Ensayo	Especimen No.	L (cm)	D (cm)	W (cm)	De (cm)	De ² (cm ²)	P (Kgf)	Is (Kgf/cm ²)	F _{corrección}	Is ₅₀ (Kgf/cm ²)	Is ₅₀ (Kgf/cm ²)	σ_u (Kgf/cm ²)
S1-M8	Are1	Carga puntual	1	4.75	2.50	4.00	3.57	12.73	340	26.70	0.86	22.94	15.55	373.25
			2	4.75	3.00	3.90	3.86	14.90	290	19.47	0.89	17.33		
			3	4.75	3.05	4.10	3.99	15.92	360	22.61	0.90	20.43		
			4	4.70	2.50	4.47	3.77	14.23	190	13.35	0.88	11.76		
			5	4.73	2.80	4.51	4.01	16.08	310	19.28	0.91	17.46		
			6	4.74	2.92	3.80	3.76	14.13	190	13.45	0.88	11.83		
			7	4.70	2.88	3.05	3.34	11.18	220	19.67	0.83	16.41		
S3-M5	Are2	Carga puntual	1	4.80	3.70	4.00	4.34	18.84	214	11.36	0.94	10.66	15.71	377.15
			2	4.90	4.00	4.70	4.89	23.94	300	12.53	0.99	12.41		
			3	4.80	4.50	4.00	4.79	22.92	330	14.40	0.98	14.12		
			4	4.82	3.85	4.10	4.48	20.10	294	14.63	0.95	13.93		
			5	4.80	4.42	4.70	5.14	26.45	760	28.73	1.01	29.10		
			6	4.75	3.66	4.08	4.36	19.01	422	22.20	0.94	20.87		
			7	4.80	3.30	4.53	4.36	19.03	349	18.34	0.94	17.24		
S3-M8	Are1	Carga puntual	1	6.10	4.75	4.80	5.39	29.03	590	20.32	1.03	21.02	23.16	555.83
			2	6.50	4.80	4.10	5.01	25.06	380	15.17	1.00	15.17		
			3	6.68	4.80	4.97	5.51	30.37	470	15.47	1.04	16.17		
			4	6.10	4.80	4.80	5.42	29.34	870	29.66	1.04	30.74		
			5	5.71	4.80	4.84	5.44	29.58	520	17.58	1.04	18.26		
			6	4.75	4.30	4.75	5.10	26.01	670	25.76	1.01	25.99		
			7	4.85	3.70	4.80	4.76	22.61	700	30.96	0.98	30.26		
			8	4.75	3.50	4.75	4.60	21.17	890	42.05	0.96	40.50		
			9	4.75	3.20	4.70	4.38	19.15	400	20.89	0.94	19.67		
TL-1	Are4	Carga puntual	1	5.00	3.10	4.90	4.40	19.34	210	10.86	0.94	10.25	4.97	119.35
			2	6.30	4.05	5.58	5.36	28.77	165	5.73	1.03	5.92		
			3	6.10	5.05	5.90	6.16	37.94	180	4.74	1.10	5.21		
			4	6.43	4.56	5.35	5.57	31.06	158	5.09	1.05	5.34		
			5	6.70	4.84	5.90	6.03	36.36	150	4.13	1.09	4.49		
			6	5.04	3.89	4.93	4.94	24.42	124	5.08	0.99	5.05		
			7	5.80	4.20	5.20	5.27	27.81	83	2.98	1.02	3.06		
			8	7.00	4.75	5.30	5.66	32.05	116	3.62	1.06	3.83		
TL-6	Are4	Carga puntual	1	7.50	5.40	7.01	6.94	48.20	53	1.10	1.16	1.27	1.40	33.70
			2	4.85	4.22	4.51	4.92	24.23	31	1.28	0.99	1.27		
			3	6.30	5.80	6.00	6.66	44.31	54	1.22	1.14	1.39		
			4	5.64	4.80	5.00	5.53	30.56	29	0.95	1.05	0.99		
			5	5.00	4.37	5.60	5.58	31.16	28	0.90	1.05	0.94		
			6	4.80	3.50	4.70	4.58	20.94	26	1.24	0.96	1.19		
			7	5.25	3.50	4.93	4.69	21.97	63	2.87	0.97	2.79		
			8	4.89	3.40	4.07	4.20	17.62	44	2.50	0.92	2.31		
S2-M11	Are1	Compresión inconfínada	1											401
S3-M6	Are2	Compresión inconfínada	1											302

Unidad	σ_u (Kgf/cm ²)	σ_u (MPa)
Are1	60	6
Are2	335	34
Are4	385	39

6 AJUSTE DEL MODELO GEOTÉCNICO

Como se describió en capítulos anteriores el principal cambio sufrido en el modelo planteado en los informes de 2006 y 2005 se limita únicamente a los cambios en la morfología del terreno.

Con el propósito de evaluar la estabilidad actual y futura del talud de análisis se definió una sección de análisis característica de la zona y sus propiedades mecánicas. De las secciones realizadas en el levantamiento topográfico se selecciona la denominada C1 (ver Plano 1) por ser la que mejor representa las condiciones del terreno. En la Figura 6.1 se presenta el modelo para análisis.

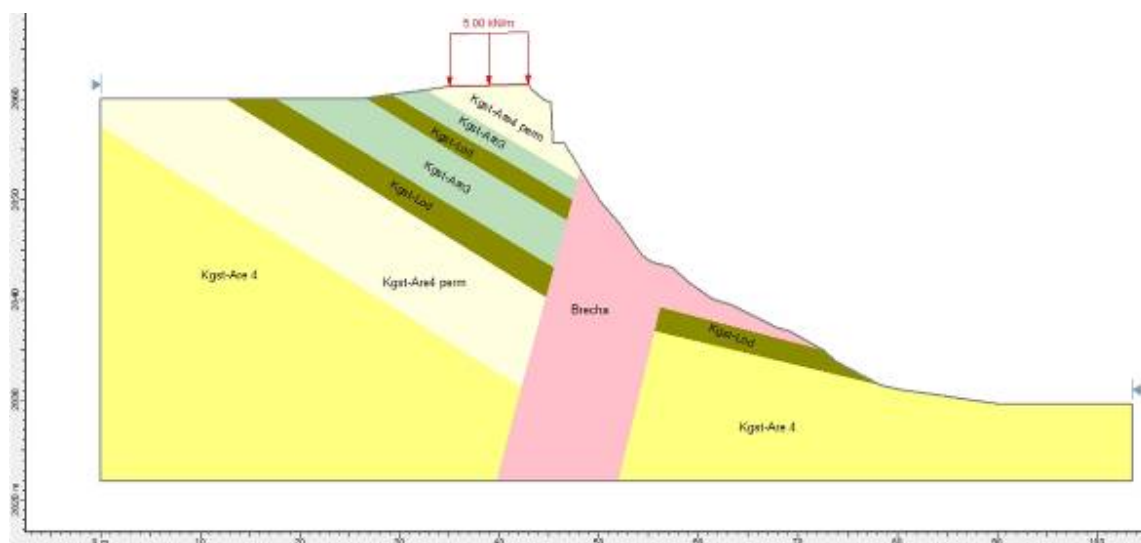


Figura 6.1 Modelo de Análisis sección C1

Partiendo de las propiedades geomecánicas definidas en informes anteriores se determinó los valores de cohesión y ángulo de fricción de los materiales utilizando el criterio de Hoek and .Brown (2002) partiendo de los valores de resistencia a la compresión uniaxial, GSI y mi característicos del macizo.

Para la aplicación del criterio se empleó el programa Rocklab, con el cual se logró estimar los valores de C y ϕ de los diferentes materiales definidos en el modelo. De la Figura 6.2 a la Figura 6.5 se muestran los resultados obtenidos, en la Tabla 6.1 se presenta el resumen de los parámetros obtenidos de éste análisis.

Tabla 6.1 Resumen de parámetros resultados criterio de Hoek and Brown (2002)

Material	Peso Unitario KN/m3	Cohesión (KN)	Ángulo de Fricción (°)
Kgst Are 4	22	60	37
Kgst Are 3	20	60	35
Kgst lod 3	18	30	28
Brecha	20	20	21

REALIZAR EL REDISEÑO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN DE RIESGO Y PRESTAR LA ASESORÍA DURANTE CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN EN EL BARRIO BRISAS DEL VOLADOR (ZONA 2 – FASE 2) UBICADO EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN BOGOTÁ D.C.

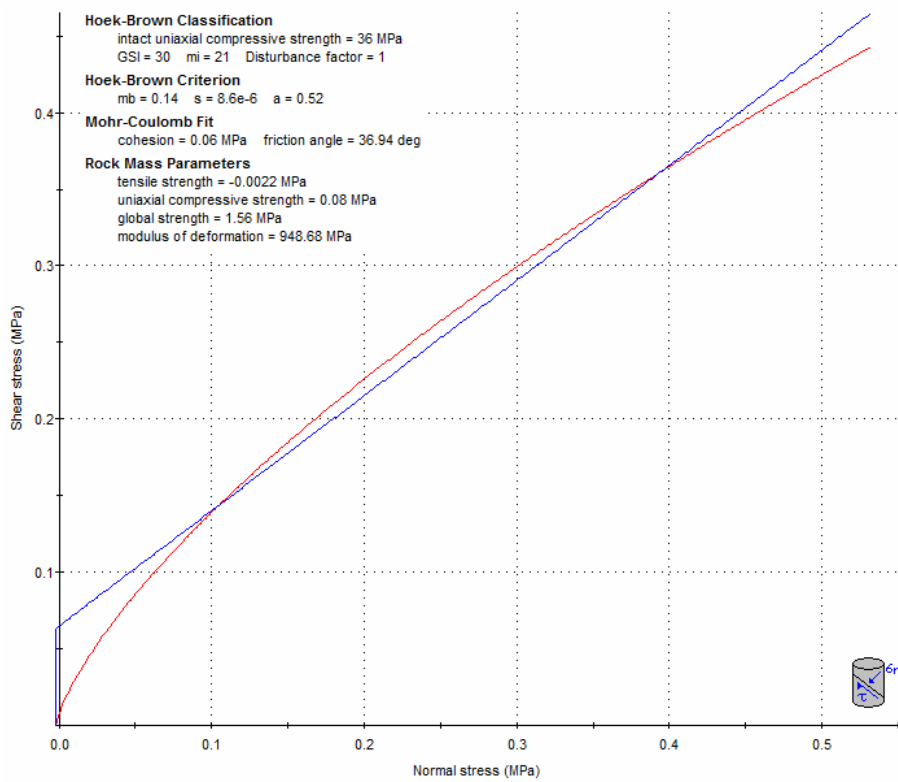


Figura 6.2 Resultado análisis de esfuerzo en roca usando Rocklab para Kgst Are 4

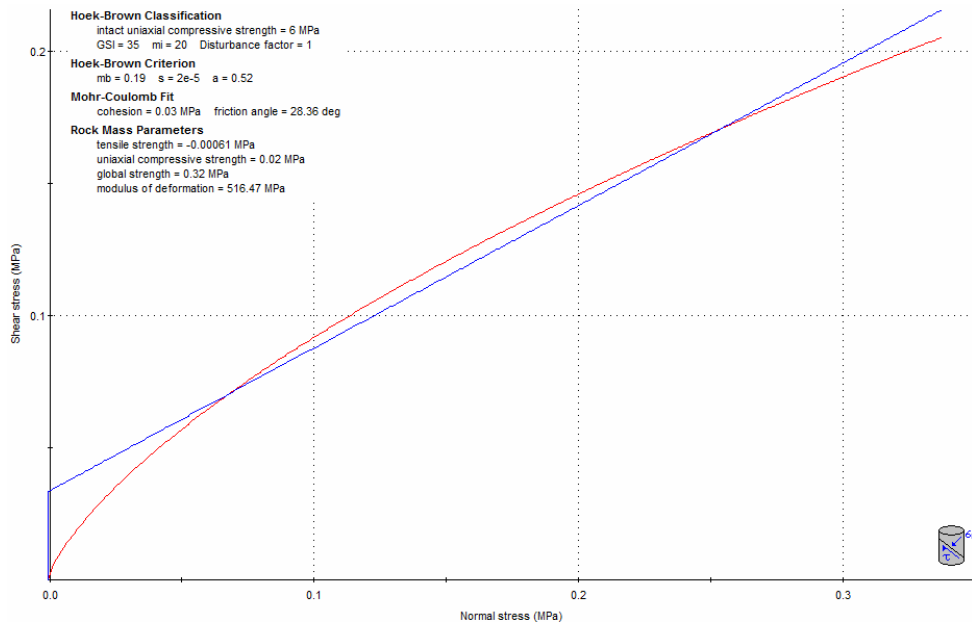


Figura 6.3 Resultado análisis de esfuerzo en roca usando Rocklab para Kgst Lod

REALIZAR EL REDISEÑO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN DE RIESGO Y PRESTAR LA ASESORÍA DURANTE CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN EN EL BARRIO BRISAS DEL VOLADOR (ZONA 2 – FASE 2) UBICADO EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN BOGOTÁ D.C.

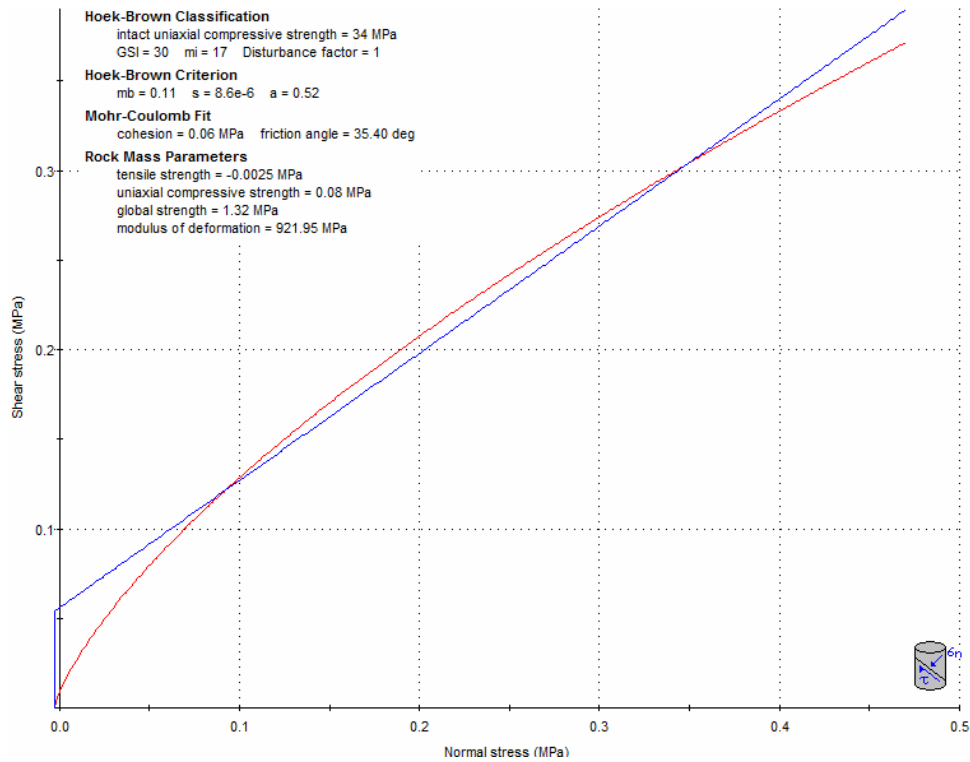


Figura 6.4 Resultado análisis de esfuerzo en roca usando Rocklab para Kgst Are 3

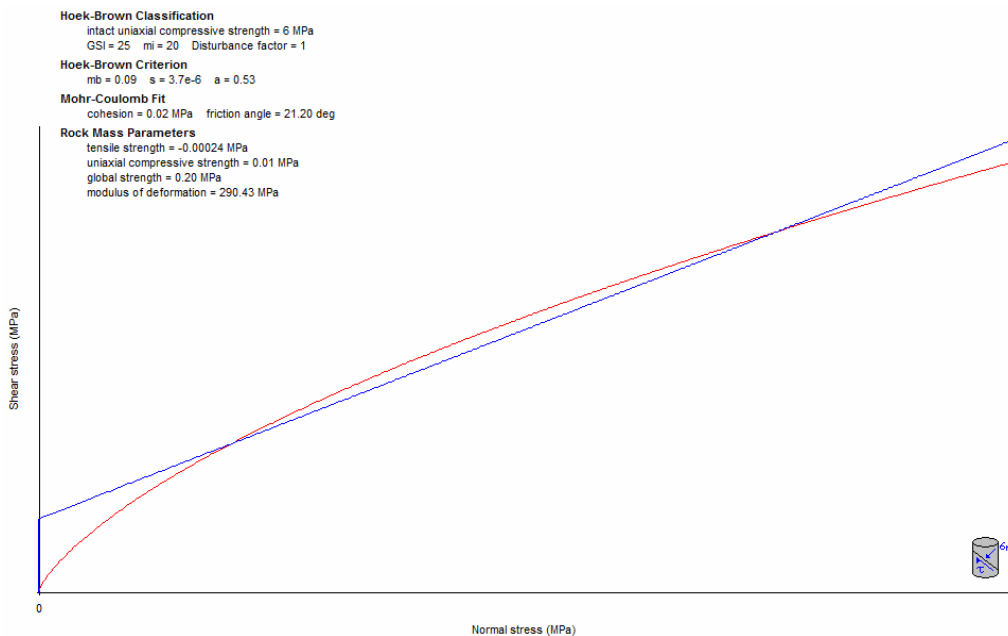


Figura 6.5 Resultado análisis de esfuerzo en roca usando Rocklab para Brecha

7 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Para la revisión de estabilidad del talud se empleo métodos de equilibrio límite: empleando falla planar teniendo en cuenta la posible falla sobre los niveles de arcillolita, adicionalmente se analizó para una superficie circular y de forma irregular dado que es muy probable este tipo de rotura debido al alto grado de fracturamiento de la roca y a la presencia de la brecha amplia que subyace a la roca, el modelo se analizó en el programa Slide 5.0, empleando el método de Bishop con 5000 posibles superficies de falla de manera que se pueda obtener la superficie críticas para el caso de fallas circulares e irregulares.

Para consideración del nivel de agua se empleó una malla de elementos finitos consistente en 1602 elementos triangulares y 866 nodos.

La consideración del efecto sísmico se estableció a partir de la NSR-98 (Norma Sismo Resistente 1998) y el Estudio de Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá. La aceleración horizontal del terreno en caso de sismo se tiene en 0.24 g, correspondiente a la Zona 1 – Cerros, para este caso se empleó un valor igual a 2/3 (0.16g) de ésta aceleración. A continuación se presenta los datos y parámetros de entrada de la modelación en SLIDE.

Analysis Methods

- Bishop simplified

Loading

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.16
- Distributed Load Constant Distribution, Orientation: Vertical, Magnitude: 5 kN/m

Groundwater Analysis

- Mesh Element Type: 3 noded triangles
- Number of Elements: 1602
- Number of Nodes: 866

Material & Support Properties

Material: Kgst-Are 4

- Strength Type: Mohr-Coulomb
- Unit Weight: 22 kN/m³
- Cohesion: 60 kPa
- Friction Angle: 37 degrees
- Ks: 1e-007

Material: Kgst-Are3

- Strength Type: Mohr-Coulomb
- Unit Weight: 20 kN/m³
- Cohesion: 60 kPa
- Friction Angle: 35 degrees
- Ks: 1e-007

Material: Kgst-Lod

- Strength Type: Mohr-Coulomb
- Unit Weight: 18 kN/m³
- Cohesion: 30 kPa
- Friction Angle: 28 degrees
- Ks: 1e-006

Material: Brecha

- Strength Type: Mohr-Coulomb
- Unit Weight: 20 kN/m³
- Cohesion: 20 kPa

- Friction Angle: 21 degrees
- Ks: 1e-006

Material: Kgst-Are4 perm

- Strength Type: Mohr-Coulomb
- Unit Weight: 22 kN/m³
- Cohesion: 60 kPa
- Friction Angle: 37 degrees
- Ks: 1e-007

Material: Dren

- Strength Type: Mohr-Coulomb
- Unit Weight: 20 kN/m³
- Cohesion: 20 kPa
- Friction Angle: 35 degrees
- Ks: 0.001

Material: Relleno

- Strength Type: Mohr-Coulomb
- Unit Weight: 20 kN/m³
- Cohesion: 20 kPa
- Friction Angle: 30 degrees
- Ks: 1e-006

Material: Gavión

- Strength Type: Mohr-Coulomb
- Unit Weight: 21 kN/m³
- Cohesion: 25 kPa
- Friction Angle: 35 degrees
- Ks: 1e-005

Anclajes

- Support Type: Grouted Tieback
- Force Application: Active
- Out-of-Plane Spacing: 2 m
- Tensile Capacity: 200 kN
- Plate Capacity: 200 kN
- Bond length: 11. m
- Bond Strength: 50 kN/m

Nailing

- Support Type: Soil Nail

REALIZAR EL REDISEÑO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN DE RIESGO Y PRESTAR LA ASESORÍA DURANTE CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN EN EL BARRIO BRISAS DEL VOLADOR (ZONA 2 – FASE 2) UBICADO EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN BOGOTÁ D.C.

- Force Application: Passive
- Out-of-Plane Spacing: 2 m
- Tensile Capacity: 100 kN
- Plate Capacity: 100 kN
- Bond Strength: 50 kN/m

Pilote

- Support Type: Micro-Pile
- Force Application: Passive
- Out-of-Plane Spacing: 2 m
- Pile Shear Strength: 50 Kn

7.1 ANÁLISIS EN CONDICIONES ACTUALES

La sección analizada en condiciones normales (sin agua y sin sismo) es estable con un factor de seguridad igual a 1.16 para una superficie irregular, 1.19 para una superficie circular y 1.57 para una superficie definida por el nivel de arcillolita. Con efectos de agua y sismo este valor se reduce a factores de seguridad en promedio de 0.92 para una superficie irregular, 0.895 para una superficie circular y 0.832 para una superficie definida, de acuerdo con lo anterior se tiene que el menor factor en condición actual sin sismo ni agua se presenta para la superficie irregular y es muy parecido a una circular, esta condición es lógica teniendo en cuenta el alto grado de fracturamiento del macizo. Para la condición crítica de sismo y agua el factor de seguridad mínimo se presenta para la superficie definida. Los factores de seguridad indicados son evidencia de un potencial alto de inestabilidad del sector y justifica la necesidad de la implementación de medidas de mitigación.

De la Figura 7.1 a 7.6 se presentan los modelos de análisis para superficies diferentes y condiciones de análisis evaluadas.

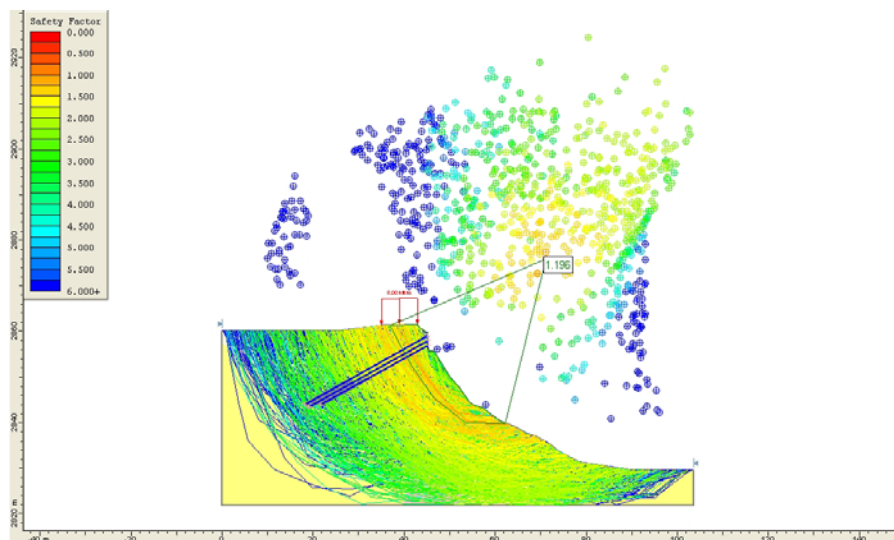


Figura 7.1 Resultado análisis de estabilidad condición actual superficie irregular

REALIZAR EL REDISEÑO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN DE RIESGO Y PRESTAR LA ASESORÍA DURANTE CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN EN EL BARRIO BRISAS DEL VOLADOR (ZONA 2 – FASE 2) UBICADO EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN BOGOTÁ D.C.

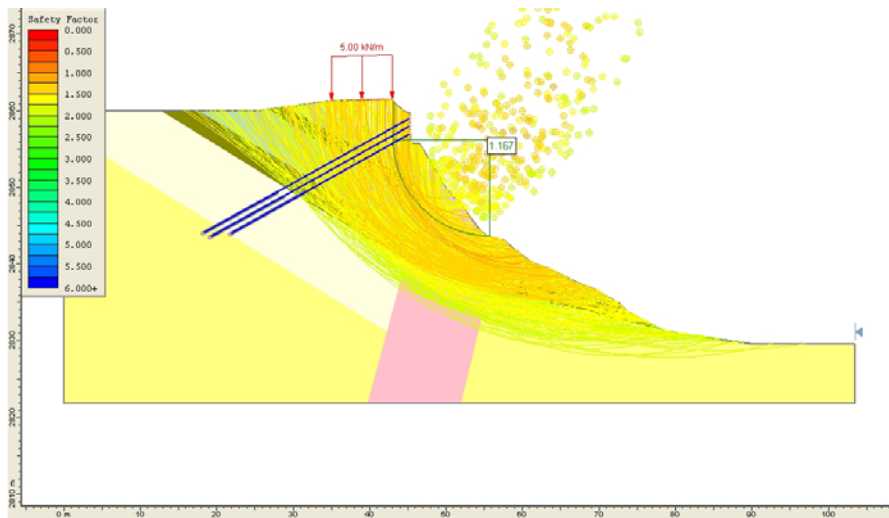


Figura 7.2 Resultado análisis de estabilidad condición actual superficie circular

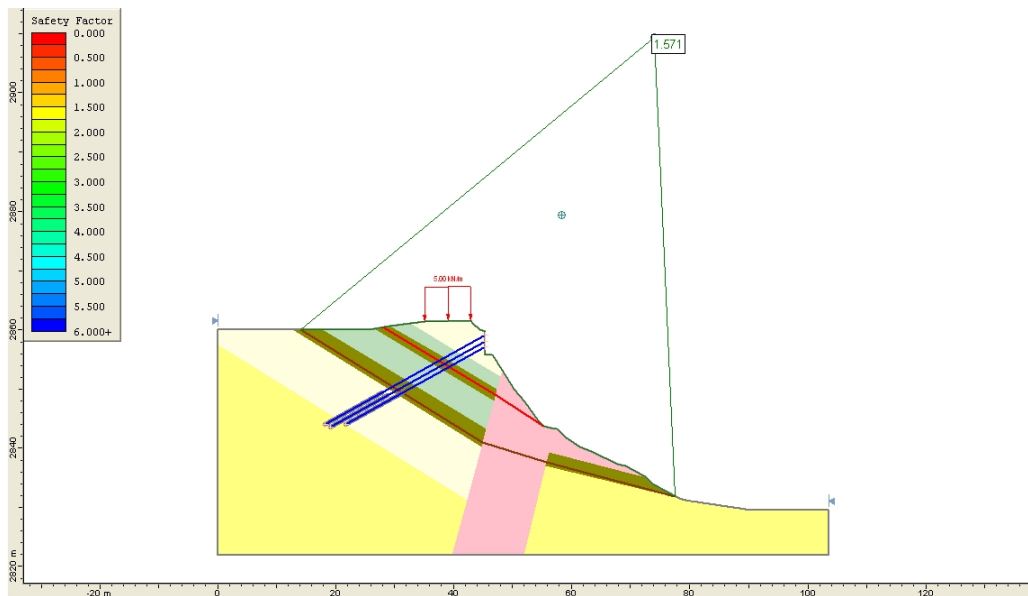


Figura 7.3 Resultado análisis de estabilidad condición actual superficie definida

REALIZAR EL REDISEÑO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN DE RIESGO Y PRESTAR LA ASESORÍA DURANTE CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN EN EL BARRIO BRISAS DEL VOLADOR (ZONA 2 – FASE 2) UBICADO EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN BOGOTÁ D.C.

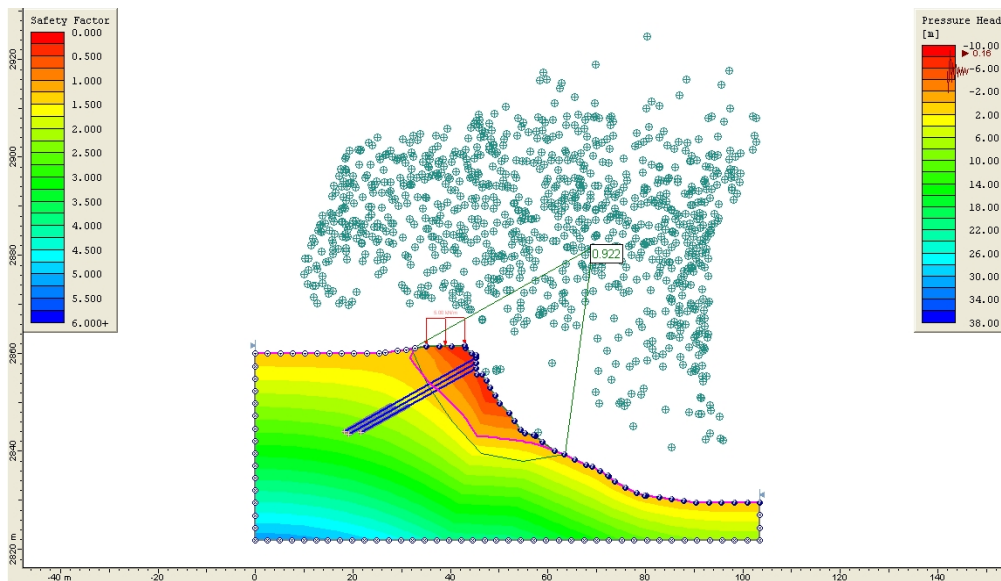


Figura 7.4 Resultado análisis de estabilidad condición actual superficie irregular condición crítica

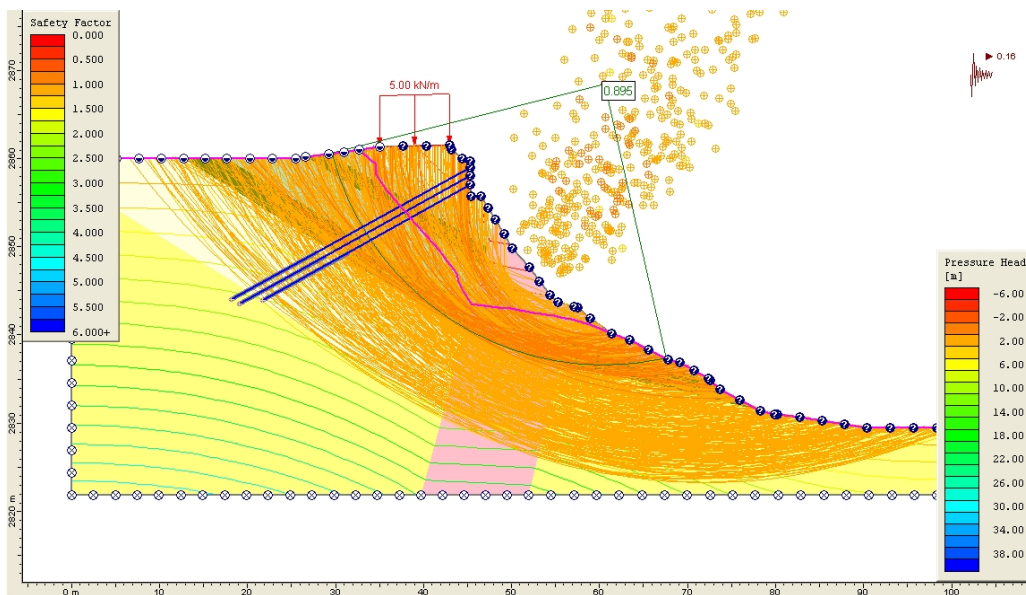


Figura 7.5 Resultado análisis de estabilidad condición actual superficie circular condición crítica

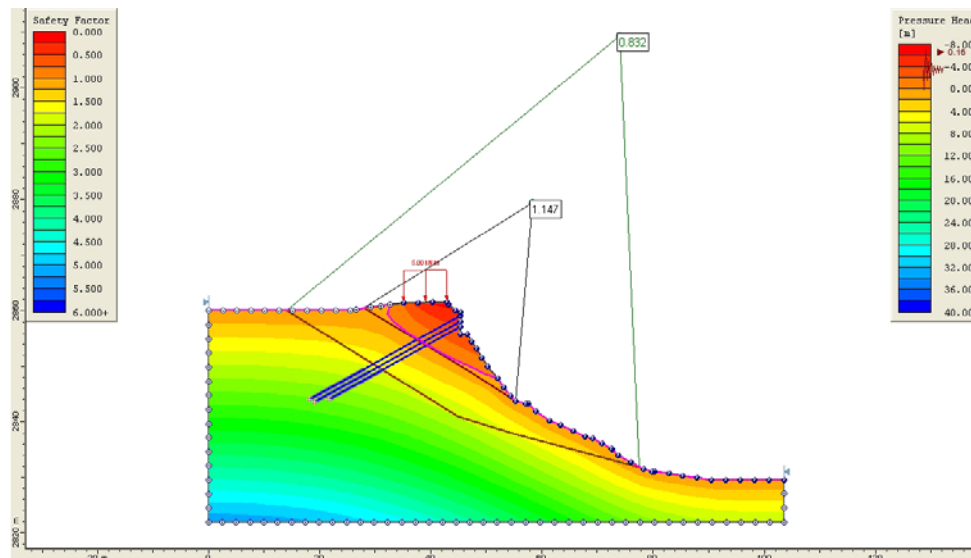


Figura 7.6 Resultado análisis de estabilidad condición actual superficie definida condición crítica

7.2 OBRAS PROPUESTAS

Con el propósito de aumentar el factor de seguridad obtenido se proponen las siguientes dos alternativas de Obras.

Teniendo en cuenta la alta variabilidad espacial de los materiales que conforman el subsuelo de los taludes, así como sus características de deformabilidad y permeabilidad, el diseño de las obras siguió como directrices los siguientes aspectos:

- Distribución adecuada de las obras a lo largo de la ladera, proporcionando soporte a la parte alta con el fin de prevenir el desarrollo de desplazamientos que puedan afectar la estabilidad de la vía de acceso al barrio Los Alpes.
- Prevención de fenómenos de infiltración hacia las capas de lodolita, evitando que puedan actuar como superficies preferenciales de deslizamiento, por reblandecimiento de la zona de contacto.

De esta forma las obras previstas para el manejo de la zona del fenómeno de remoción en masa son las siguientes:

7.2.1 Alternativa 1

7.2.1.1 Remoción de materiales susceptibles y perfilados del Talud

Debido a la gran alteración que han sufrido los materiales expuestos deben ser retirados para lo cual se propone la realización de una reconfiguración del talud:

- Entre la cota 2855.5 y la cota 2852 se perfila con un talud 0.5H:1V.
- Entre la cota 2852 y la cota 2844 se perfila con un talud 0.6H:1V.

- Entre la cota 2844 y la cota 2838 se perfila con un talud 1H:1V.
- Entre la cota 2838 y la cota 2831 se perfila con un talud 1.5H:1V.

7.2.1.2 Celosía pernada

Finalizado el perfilado se debe reforzar el talud con un sistema de vigas y pernos de anclaje. La celosía estará conformada por una retícula de 4mx4m, los nodos de ésta así como las longitudes intermedias de los elementos se anclaran con pernos de 12m de longitud entre la cota 2855.5 y la 2838, de la cota 2838 a la 2831 los nodos y las luces medias de las vigas se anclaran con pernos de 6m de longitud.

La celosía estará compuesta por elementos tipo viga reforzados de sección 0.35mx0.35m.

Los pernos de anclajes son barras corrugadas de acero de 420 Mpa de 1" de diámetro en una perforación de 3" de diámetro inyectadas con lechada de cemento con relación agua /cemento de 0.8/1 en peso.

Los recuadros de la celosía se protegerán con concreto lanzado de e=8cm reforzada con malla electrosoldada M-221.

7.2.1.3 Drenes subhorizontales

En la mitad de todos los recuadros de la celosía se construirán drenes de 14m de longitud inclinados 5°.

En el Plano 3 se presenta la localización en planta y perfil de las obras propuestas y algunos detalles generales.

7.2.2 Alternativa 2

7.2.3 Remoción de materiales susceptibles y perfilado del Talud

Debido a la gran alteración que han sufrido los materiales expuestos deben ser retirados para lo cual se propone la realización de una reconfiguración del talud:

- Entre la cota 2855.5 y la cota 2852 se perfila con un talud 0.5H:1V.
- Entre la cota 2852 y la cota 2844 se perfila con un talud 0.6H:1V.
- Entre la cota 2844 y la cota 2838 se perfila con un talud 1H:1V.

7.2.3.1 Celosía pernada

Finalizado el perfilado se debe reforzar el talud con un sistema de vigas y pernos de anclaje. La celosía estará conformada por una retícula de 4mx4m aproximadamente, los nodos de ésta así como las longitudes intermedias de los elementos se anclaran con pernos de 12m de longitud entre la cota 2855.5 y la 2838.

La celosía estará compuesta por elementos tipo viga reforzados de sección 0.35mx0.35m.

Los pernos de anclajes son barras corrugadas de acero de 420 MPa de 1" de diámetro en una perforación de 3" de inyectadas con lechada de cemento con relación agua /cemento de 0.8/1 en peso.

Los recuadros de la celosía se protegerán con concreto lanzado de e=8cm reforzada con malla electrosoldada M-221.

7.2.3.2 Drenes subhorizontales

En la mitad de todos los recuadros de la celosía se construirán drenes de 14m de longitud inclinados 5°.

7.2.3.3 Pilotes

En la cota 2838 como sostenimiento de la celosía se construirá una fila de pilotes en concreto reforzado de 0.20m de diámetro y una longitud de 9m separados cada 2m.

7.2.3.4 Muro en Gaviones y lleno

En la cota 2831 se construirá un muro en gaviones de 3m de altura y 2.5m de base escalonado, en el espaldón de éste como se realizara un lleno con el material proveniente de la excavación generando un talud artificial entre el muro y el terreno de 3H:1V entre las cotas 2834 y 2838.

En el espaldón del muro se construirá un sistema de drenaje para evitar incrementos de las presiones de poros.

En el Plano 4 se presenta la localización en planta y perfil de las obras propuestas y algunos detalles generales.

7.2.4 Alternativa 3

7.2.5 Remoción de materiales susceptibles y perfilado del Talud

Debido a la gran alteración que han sufrido los materiales expuestos deben ser retirados para lo cual se propone la realización de una reconformación del talud:

- Entre la cota 2855.5 y la cota 2852 se perfila con un talud 0.5H:1V.
- Entre la cota 2852 y la cota 2842 se perfila con un talud 0.6H:1V.
- Entre la cota 2842.5 y la cota 2835. se perfila con un talud 2.7H:1V.

7.2.5.1 Celosía pernada

Finalizado el perfilado se debe reforzar el talud con un sistema de vigas y pernos de anclaje. La celosía estará conformada por una retícula de 4mx4m aproximadamente, los

nodos de ésta así como las longitudes intermedias de los elementos se anclaran con pernos de 12m de longitud entre la cota 2855.5 y la 2842.5.

La celosía estará compuesta por elementos tipo viga reforzados de sección 0.35m de alto x 0.30m de ancho.

Los pernos de anclajes son barras corrugadas de acero de 420 MPa de 1" de diámetro en una perforación de 3", inyectadas con lechada de cemento con relación agua /cemento de 0.8/1 en peso.

Los recuadros de la celosía se protegerán con concreto lanzado de e=6 cm reforzada con malla electrosoldada de acuerdo con las solicitudes de cargas.

7.2.5.2 Drenes subhorizontales

En la mitad de todos los recuadros de la celosía se construirán drenes de 14m de longitud inclinados 5°.

7.2.5.3 Muro en Gaviones y lleno

En la cota 2831 se construirá un muro en gaviones de 4m de altura y 3m de base escalonado, en el espaldón de éste como se realizará un lleno con el material proveniente de la excavación generando un talud artificial entre el muro y el terreno de 2.7H:1V el cual será revegetalizado con cespedón.

En el espaldón del muro se construirá un sistema de drenaje para evitar incrementos de las presiones de poros.

7.2.5.4 Drenaje superficial

Se proyecta la construcción de una cuneta en concreto localizada en la pata del talud con el fin de captar el flujo superficial proveniente de la celosía.

En el Plano 5 se presenta la localización en planta y perfil de las obras propuestas y algunos detalles generales.

7.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD CON OBRAS

Para cada alternativa se realizó el análisis de estabilidad con Slide en condición estática y con sismo de 0.16g que equivale a un período de retorno de 500 años y para 0.08g que equivale a un período de 100 años. En lo que sigue se presentan los resultados obtenidos de factores de seguridad para cada alternativa.

7.3.1 Alternativa 1

De la Figura 7.7 a 7.9 se presentan los modelos de análisis para la alternativa 1 utilizando superficies de falla irregular, circular y planar para la condición crítica de sismo y agua teniendo en cuenta los drenes horizontales.

Para la condición crítica el factor de seguridad para falla irregular es de 1.098, para superficie circular es de 1.114 y para el caso de superficie definida es de 1.117. Los resultados anteriores muestran un aumento significativo del factor de seguridad en condición crítica con respecto a la condición actual. Para una condición normal es decir sin sismo pero incluyendo el efecto de los drenajes, el factor de seguridad para una superficie irregular es de 1.33, para la superficie circular de 1.28 y para la superficie definida de 1.58, para esta condición la mejora tan solo aumenta el factor de seguridad en 0.1. para incrementar el factor de seguridad para una falla circular o irregular a valores superiores de 1.5 se requiere la implementación de obras de gran magnitud o un modificación geométrica significativa que involucraría un área importante atrás de la corona del talud actual. Es importante anotar que aunque en condición normal el factor de seguridad no aumenta significativamente, en condición crítica el aumento es más notorio y en promedio esta por encima de 1.1 lo cual en términos prácticos es seguro.

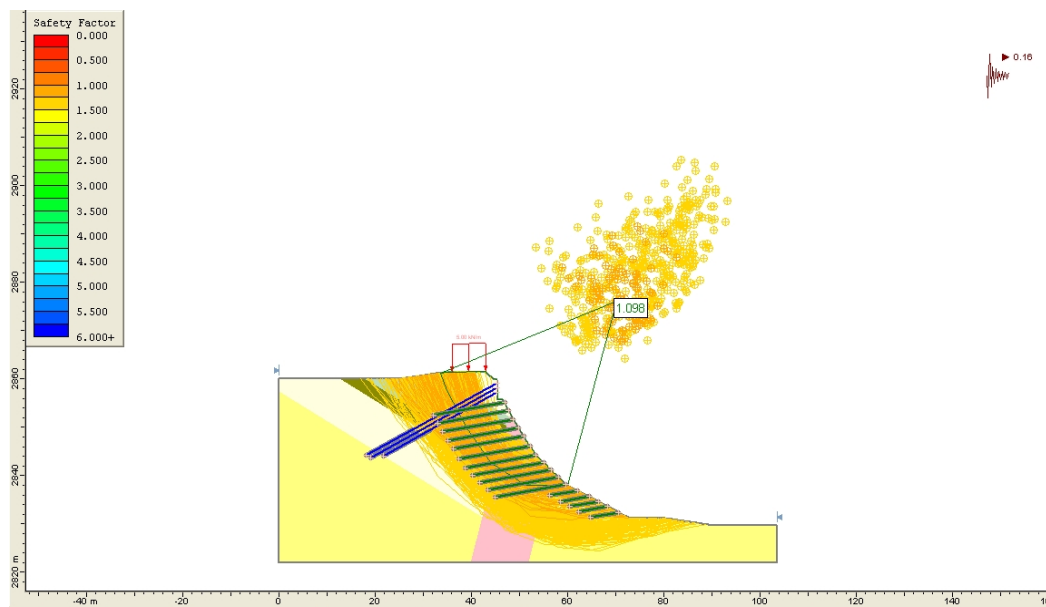


Figura 7.7 Resultado análisis de estabilidad alternativa 1 superficie irregular condición crítica

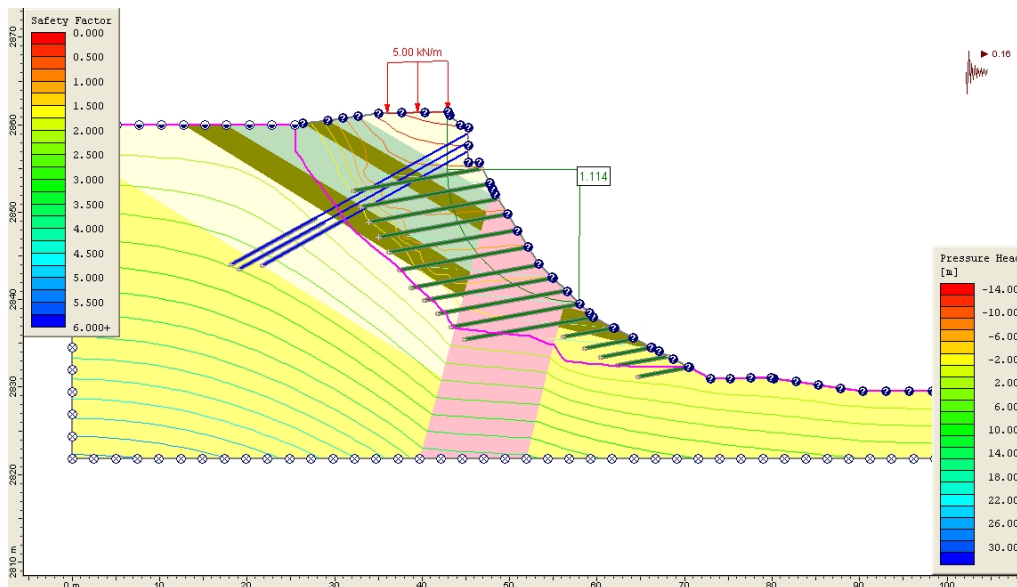


Figura 7.8 Resultado análisis de estabilidad alternativa 1 superficie circular condición crítica

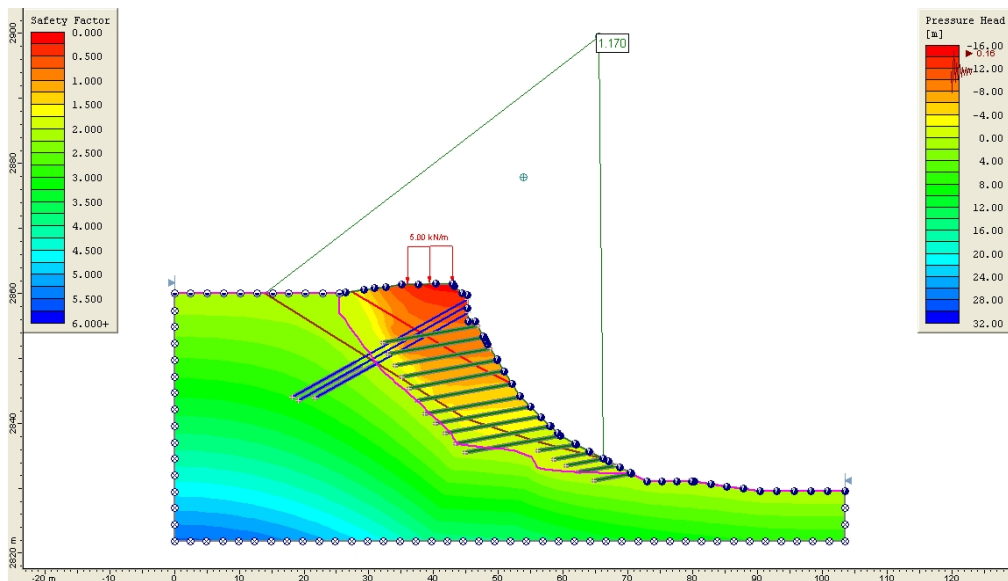


Figura 7.9 Resultado análisis de estabilidad alternativa 1 superficie definida condición crítica

7.3.2 Alternativa 2

De la Figura 7.10 a 7.12 se presentan los modelos de análisis para la alternativa 2 utilizando superficies de falla irregular, circular y planar para la condición crítica de sismo y agua teniendo en cuenta los drenes horizontales.

Para la condición crítica el factor de seguridad para falla irregular es de 1.079, para superficie circular es de 1.121 y para el caso de superficie definida es de 1.248. Los resultados anteriores muestran un aumento significativo del factor de seguridad en

condición crítica con respecto a la condición actual. Para una condición normal es decir sin sismo pero incluyendo el efecto de los drenajes, el factor de seguridad para una superficie irregular es de 1.29, para la superficie circular de 1.284 y para la superficie definida de 1.698, para esta condición la mejora tan solo aumenta el factor de seguridad en 0.1. Aunque en condición normal el factor de seguridad no aumenta significativamente, en condición crítica el aumento es más notorio y en promedio esta por encima de 1.1 lo cual en términos prácticos es seguro.

De la Tabla 8 a la Tabla 10 se presenta el resumen de los resultados de los análisis de estabilidad para las diferentes condiciones de funcionamiento y tipos de superficie de falla. Los resultados muestran que la alternativa 2 genera factores de seguridad ligeramente mayores que en el caso de la alternativa1, por lo tanto desde el punto de vista de estabilidad es mejor alternativa.

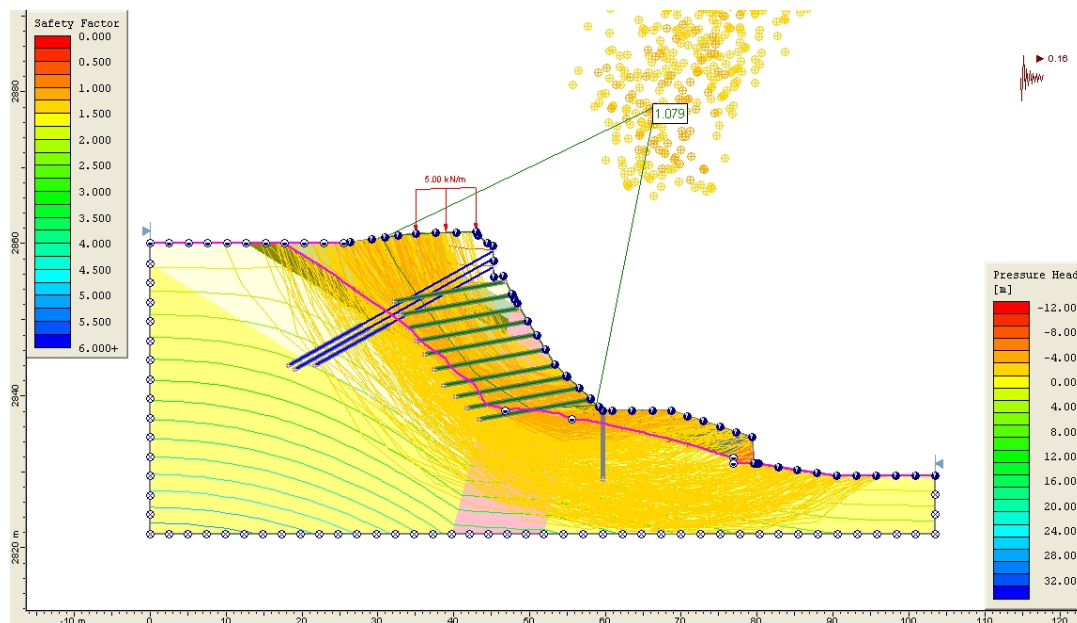


Figura 7.10 Resultado análisis de estabilidad alternativa 2 superficie irregular condición crítica

REALIZAR EL REDISEÑO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN DE RIESGO Y PRESTAR LA ASESORÍA DURANTE CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN EN EL BARRIO BRISAS DEL VOLADOR (ZONA 2 – FASE 2) UBICADO EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN BOGOTÁ D.C.

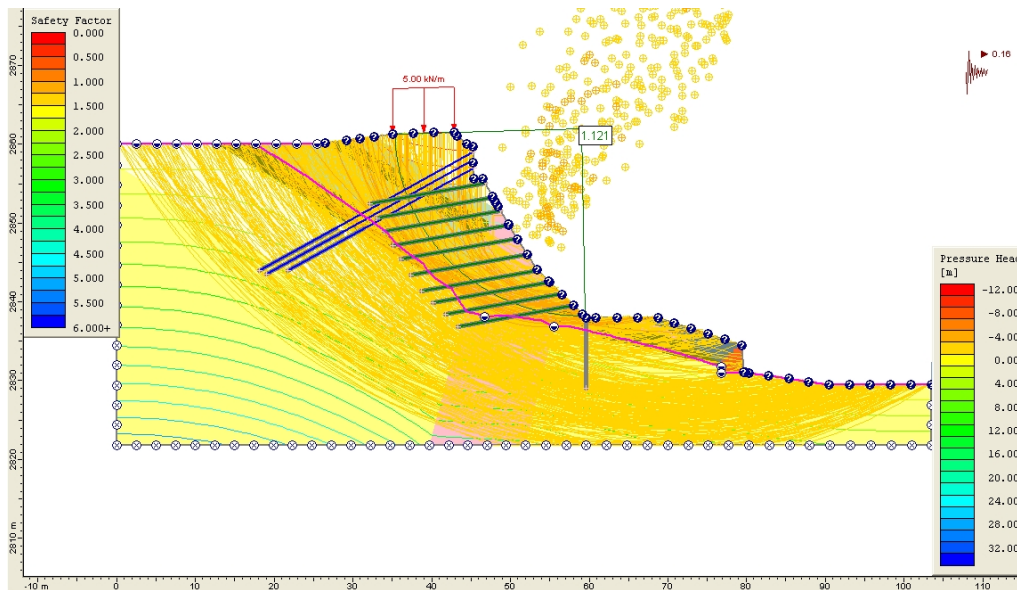


Figura 7.11 Resultado análisis de estabilidad alternativa 2 superficie circular condición crítica

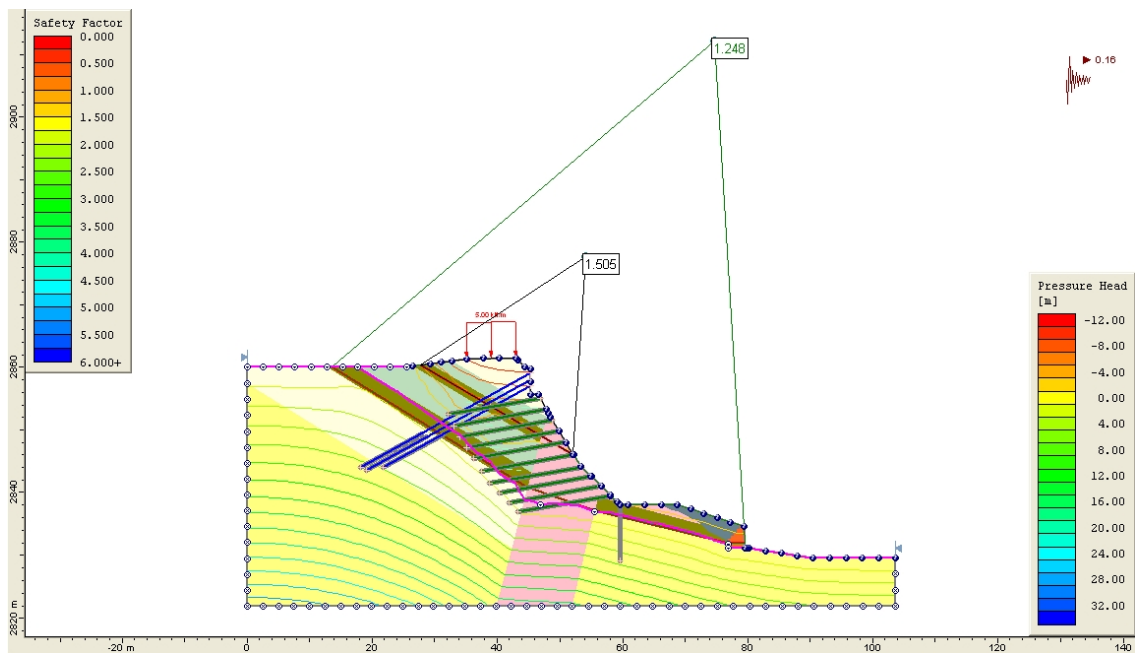


Figura 7.12 Resultado análisis de estabilidad alternativa 2 superficie definida condición crítica

7.3.3 Alternativa 3

De la Figura 7.13 a 7.15 se presentan los modelos de análisis para la alternativa 3 utilizando superficies de falla irregular, circular y planar para la condición crítica de sismo y agua teniendo en cuenta los drenes horizontales.

Para la condición crítica el factor de seguridad para falla irregular es de 1.077, para superficie circular es de 1.12 y para el caso de superficie definida es de 1.20. Los resultados anteriores muestran un aumento significativo del factor de seguridad en condición crítica con respecto a la condición actual. Para una condición normal es decir sin sismo pero incluyendo el efecto de los drenajes, el factor de seguridad para una superficie irregular es de 1.36, para la superficie circular de 1.37 y para la superficie definida de 1.653, para esta condición la mejora tan solo aumenta el factor de seguridad en 0.15 en promedio. Aunque en condición normal el factor de seguridad no aumenta significativamente, en condición crítica el aumento es más notorio y en promedio esta por encima de 1.1 lo cual en términos prácticos es seguro.

De la Tabla 8 a la Tabla 10 se presenta el resumen de los resultados de los análisis de estabilidad para las diferentes condiciones de funcionamiento y tipos de superficie de falla. Los resultados muestran que la alternativa 2 genera factores de seguridad ligeramente mayores que en el caso de la alternativa 1 y 3 para el caso crítico con agua y sismo. Por otro lado la alternativa 3 genera factores de seguridad mayores que las demás alternativas para el caso normal es decir sin sismo y con agua controlada por los drenes horizontales, los factores de seguridad para la condición crítica son prácticamente iguales que para la alternativa 2. Lo anterior indica que para la condición normal la alternativa 3 corresponde con la mejor opción y para el caso crítico la alternativa 2 presenta un mejor resultado. La definición de una de las alternativas depende entonces de la evaluación económica.

En el capítulo 10 se presenta la evaluación económica de cada una de las alternativas planteadas, de esta valoración se puede concluir que desde el punto de vista económico la alternativa 3 presenta la mejor opción. En lo que sigue se realizará el análisis numérico con el uso del método de elementos finitos con la ayuda del programa PLAXIS v8.X. Para la alternativa seleccionada con el fin de determinar la interacción suelo estructura y obtener así las solicitaciones que deben ser soportadas por la celosía y demás elementos que conforman esta alternativa.

REALIZAR EL REDISEÑO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN DE RIESGO Y PRESTAR LA ASESORÍA DURANTE CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN EN EL BARRIO BRISAS DEL VOLADOR (ZONA 2 – FASE 2) UBICADO EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN BOGOTÁ D.C.

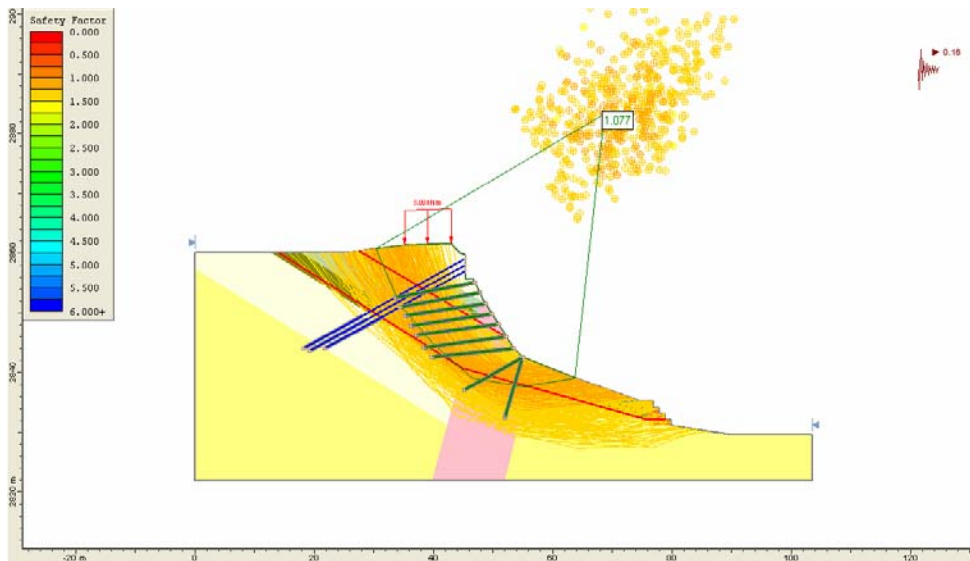


Figura 7.13 Resultado análisis de estabilidad alternativa 2 superficie irregular condición crítica

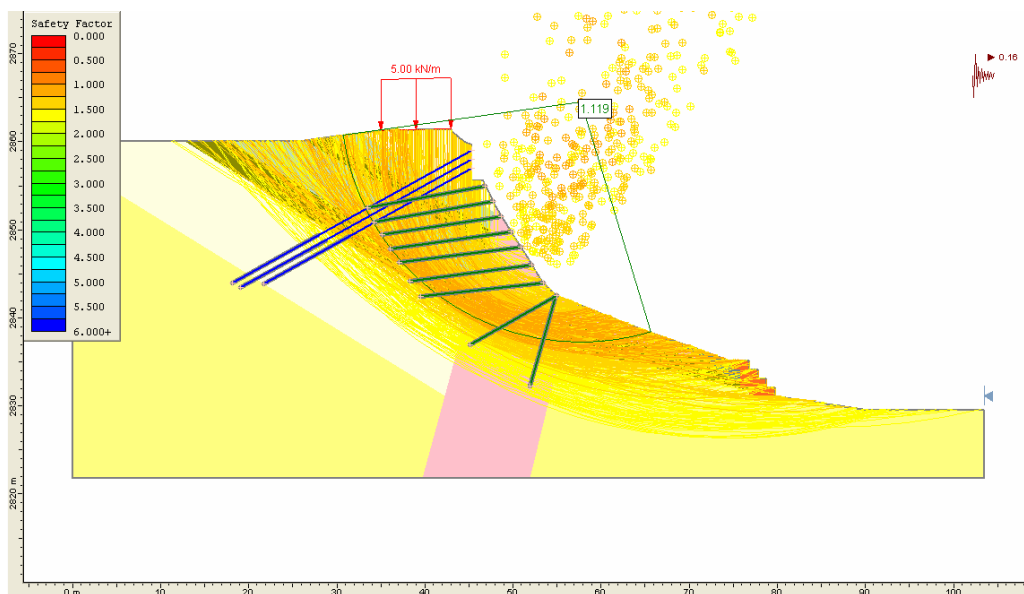


Figura 7.14 Resultado análisis de estabilidad alternativa 3 superficie circular condición crítica

REALIZAR EL REDISEÑO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN DE RIESGO Y PRESTAR LA ASESORÍA DURANTE CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN EN EL BARRIO BRISAS DEL VOLADOR (ZONA 2 – FASE 2) UBICADO EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN BOGOTÁ D.C.

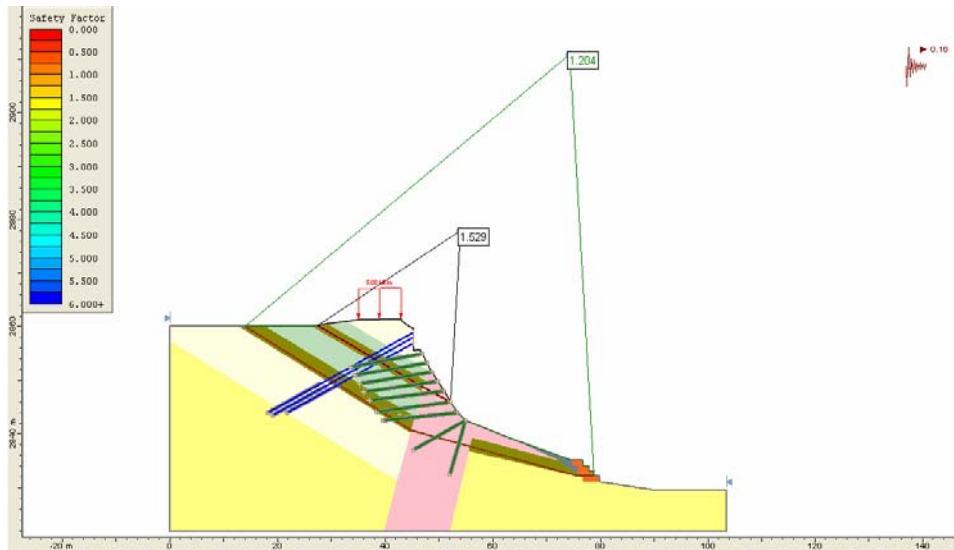


Figura 7.15 Resultado análisis de estabilidad alternativa 3 superficie definida condición crítica

Tabla 2 resultados análisis de estabilidad para superficies de falla irregulares

Evaluación	Estado	Variables			FS (aleat)	
		Condición con agua	sin sismo	sismo 0,16g		
C1-C1	Actual		X		1.235	
				X	1.002	
		X	X		1.17	
		X		X	0.922	
	Alternativa 1			X		1.33
				X		1.098
		X	X			1.33
		X		X		1.098
	Alternativa 2			X		1.291
				X		1.061
		X	X			1.328
		X		X		1.079
	Alternativa 3			X		1.36
				X		1.077
		X	X			1.36
		X		X		1.077

Tabla 3 resultados análisis de estabilidad para superficies de falla circular.

Evaluación	Estado	Variables			FS (circular)	
		Condición con agua	sin sismo	sismo 0,16g		
C1-C1	Actual		X		1.165	
				X	0.99	
		X	X		1.114	
		X		X	0.895	
	Alternativa 1			X		1.28
					X	1.114
		X	X			1.28
		X		X		1.114
	Alternativa 2			X		1.284
					X	1.12
		X	X			1.282
		X		X		1.121
	Alternativa 3			X		1.37
					X	1.12
		X	X			1.37
		X		X		1.12

Tabla 4 resultados análisis de estabilidad para superficies de falla definidas

Evaluación	Estado	Variables			FS (Planar)	
		Condición con agua	sin sismo	sismo 0,16g		
C1-C1	Actual		X		1.571	
					X	1.145
		X	X			1.323
		X		X		0.95
	Alternativa 1			X		1.585
					X	1.187
		X	X			1.56
		X		X		1.17
	Alternativa 2			X		1.698
					X	1.239
		X	X			1.69
		X		X		1.239

REALIZAR EL REDISEÑO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN DE RIESGO Y PRESTAR LA ASESORÍA DURANTE CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN EN EL BARRIO BRISAS DEL VOLADOR (ZONA 2 – FASE 2) UBICADO EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN BOGOTÁ D.C.

			X		1.653
	Alternativa 3			X	1.2
		X	X		1.653
		X		X	1.2

7.4 ANÁLISIS NUMÉRICO ALTERNATIVA 3 CON PLAXIS V8.x

Con el fin de obtener las fuerzas internas de los elementos estructurales de la celosía para realizar el diseño estructural, se realizó un modelo geotécnico de elementos finitos con las estructuras proyectadas para hacer un análisis de interacción suelo estructura. El modelo se generó con la geometría existente en el año 2006 y se generaron varias fases de cálculo hasta llegar a la situación futura con la influencia de las obras proyectadas.

7.4.1 Modelo geotécnico y discretización de elementos finitos.

El modelo geotécnico se realizó partiendo de la situación de 2006, tomando como base lo indicado en el modelo geotécnico utilizado para los análisis de equilibrio límite. En la Figura 7.16 se presenta el modelo geotécnico utilizado para el análisis con elementos finitos.

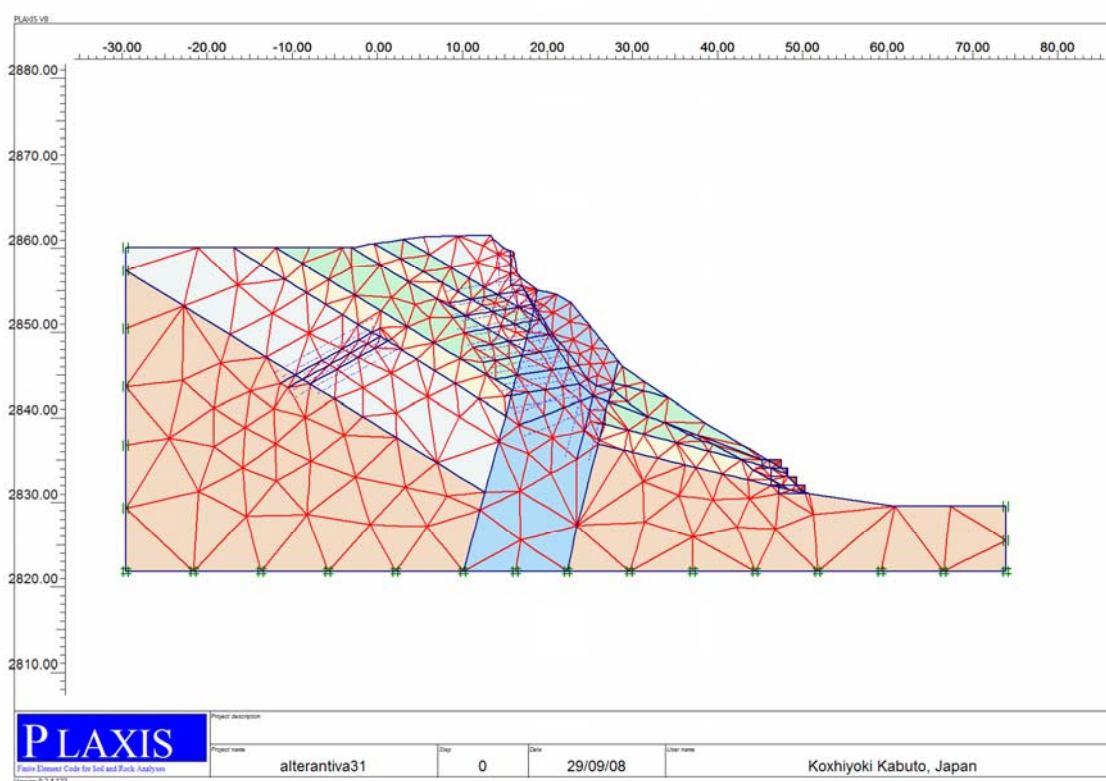


Figura 7.16 Modelo geotécnico y malla de elementos finitos para la alternativa 3.

7.4.2 Materiales y estructuras.

Los materiales geotécnicos se tomaron con las mismas propiedades de resistencia que en el caso del modelo de análisis de SLIDE-5.0, las propiedades de deformabilidad se definieron con el módulo de elasticidad y la relación de Poisson, estos parámetros se asignaron de acuerdo con las características del material teniendo en cuenta recomendaciones de parámetros presentados en la literatura. (Hunt,1986). Para los elementos estructurales se utilizaron propiedades típicas del concreto y el acero. La rigidez de los elementos se determinó teniendo en cuenta sus propiedades geométricas de área e inercia y la separación proyectada de cada elemento. En la Tabla 11 se presentan las propiedades geotécnicas de los materiales y en las Tablas 12 y 13 las propiedades de los elementos estructurales.

Tabla 5 Propiedades de resistencia y deformabilidad de los materiales geotécnicos

<i>Mohr-Coulomb</i>		1	4	6	8	9	11	12
		Brecha	Kgst_Ar e3	Kgst_Are 4	Kgst_Are 4_imp	Kgst_Lod	Gavión	Relleno
γ_{unsat}	kN/m ³	20.00	20.00	22.00	22.00	18.00	18.00	18
γ_{sat}	kN/m ³	20.00	20.00	22.00	22.00	18.00	18.50	18
E_{ref}	[kN/m ²]	80000	100000	100000	200000	50000	50000	25000
ν	[-]	0.300	0.250	0.250	0.200	0.400	0.350	0.350
c_{ref}	[kN/m ²]	20.00	60.00	60.00	60.00	30.00	25.00	20.00
ϕ	[°]	21.00	35.00	37.00	37.00	28.00	35.00	25.00
$R_{inter.}$	[-]	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.7	0.7

Tabla 6 Propiedades mecánicas de elementos estructurales viga de celosía inclinada y pantalla existente.

No.	Identification	EA [kN/m]	EI [kNm ² /m]	w [kN/m/m]	ν [-]
1	Celosia	6.125E5	6552.60	1.14	0.20
2	Pantalla	6E6	45000.00	2.4	0.20

Tabla 7 propiedades de los anclajes activos y los pernos pasivos.

No.	Identification	EA [kN/m]
1	Nailing	44178.
2	Grout	1410000

7.4.3 Fases de construcción

Para el proceso de cálculo geotécnico con el modelo de los elementos finitos se determinaron fases de construcción que están relacionadas con el cambio de la morfología que se ha presentado hasta la actualidad y con el procedimiento constructivo que se plantea para la implementación de las obras. En la Tabla 14 se presenta el listado de las fases de cálculo. De la fase 1 a 8 se presentan las fases de construcción del proyecto, de la Fase 9 a la fase 16 se incluyen las evaluaciones de factores de seguridad y los efectos de sismo con la inclusión de las obras de estabilización proyectadas para la alternativa 3.

Tabla 8 Listado de fases de cálculo para el análisis numérico del talud.

Phase	Ph- No.	Start phase	Calculation type	Load input
Initial phase	0	0		-
peso propio	1	0	Plastic	Total multipliers
Estado 2006	2	1	Plastic	Staged construction
sección actual y pantalla anclada	3	2	Plastic	Staged construction
Fs actual estático	4	3	P.D./c reducción	Incremental multipliers
excavación muro gaviones	5	3	Plastic	Staged construction
muro en gaviones relleno y 1-4 filas pernos	6	5	Plastic	Staged construction

perfilado talud y filas 5 a 9 relleno	7	6	Plastic	Staged construction
celosía	8	7	Plastic	Staged construction
Fs fase 8	16	8	P.D./c reducción	Incremental multipliers
FS fase7	9	7	P.D./c reducción	Incremental multipliers
sismo -0.16g	11	8	Plastic	Total multipliers
s.f. sismo -0.16g	13	11	P.D./c reducción	Incremental multipliers
sismo -0.08	14	8	Plastic	Total multipliers
FS-0.08	15	14	P.D./c reducción	Incremental multipliers

7.4.4 Resultados obtenidos con el método de elementos finitos.

A continuación se realiza una descripción general de los resultados. Los resultados que se presentan básicamente corresponden con los niveles de deformación del talud bajo diferentes condiciones, los factores de seguridad que se obtienen y las solicitaciones esperadas para los elementos estructurales que se utilizarán para la ejecución del diseño estructural.

7.4.4.1 Deformaciones

A continuación se muestran los resultados de las deformaciones totales que se presentarán como resultado de la construcción de las obras tanto en condición estática como en condición de sismo para 0.16 g y para 0.08 g. En la Figura 7.17 se aprecian los contornos de de desplazamiento que probablemente se presentan en el estado actual incluyendo el efecto de la pantalla anclada, el valor de desplazamiento máximo resultante es de 1.92 cm. En la Figura 7.18 se presentan los desplazamientos cuando se han construido los pernos en la parte media y alta y el muro de gaviones de la parte inferior junto con el relleno, el desplazamiento máximo alcanza los 2.04 cm. la variación con respecto a estado actual es mínima.

En la Figura 7.19 se presenta los desplazamientos una vez se ha terminado de construir la celosía, es este caso se aprecia una reducción mínima de los desplazamientos totales debido a la influencia del peso de la estructura, el valor es de 2.03 cm. En la Figura 7.20 se muestran los desplazamientos totales para la obra completa incluyendo una aceleración por sismo de 0.08 g que equivale a un periodo de retorno cercano a los 100 años, el desplazamiento máximo es de 3.52 cm el cual aumenta en 1.5 cm con respecto a la condición estática.

En la Figura 7.21 se pueden ver los contornos de desplazamientos para una aceleración horizontal de 0.16g, el valor de desplazamiento máximo alcanza los 14.5 cm, es de notar que el movimiento se presentaría como una especie de cuerpo rígido sobre el nivel de lodolita mas profunda. Para limitar los desplazamientos del talud para este nivel de aceleración se debe involucrar el bloque completo que presenta color rojo en la figura indicada, esto implica la implementación de obras adicionales de magnitud significativa.

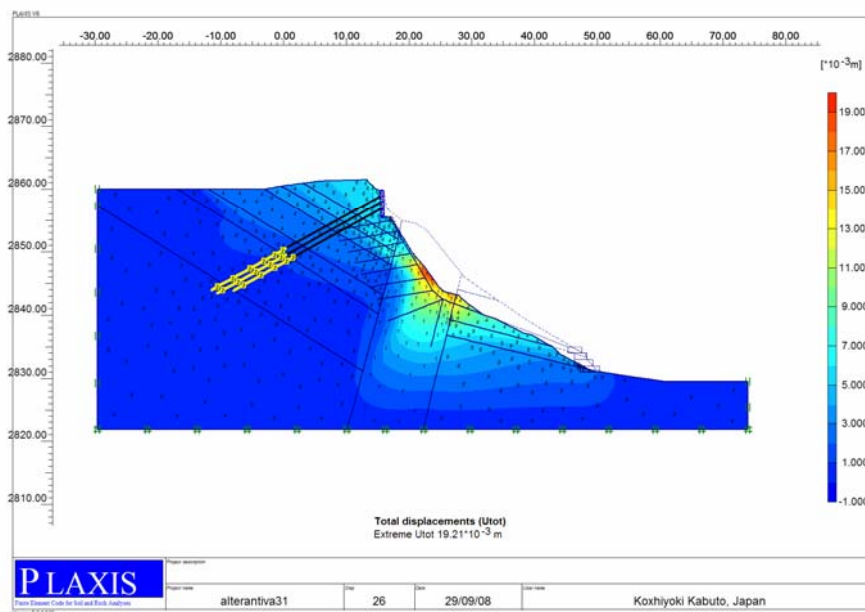


Figura 7.17 Contorno de desplazamientos totales que existen actualmente en el sitio de estudio .

REALIZAR EL REDISEÑO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN DE RIESGO Y PRESTAR LA ASESORÍA DURANTE CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN EN EL BARRIO BRISAS DEL VOLADOR (ZONA 2 – FASE 2) UBICADO EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN BOGOTÁ D.C.

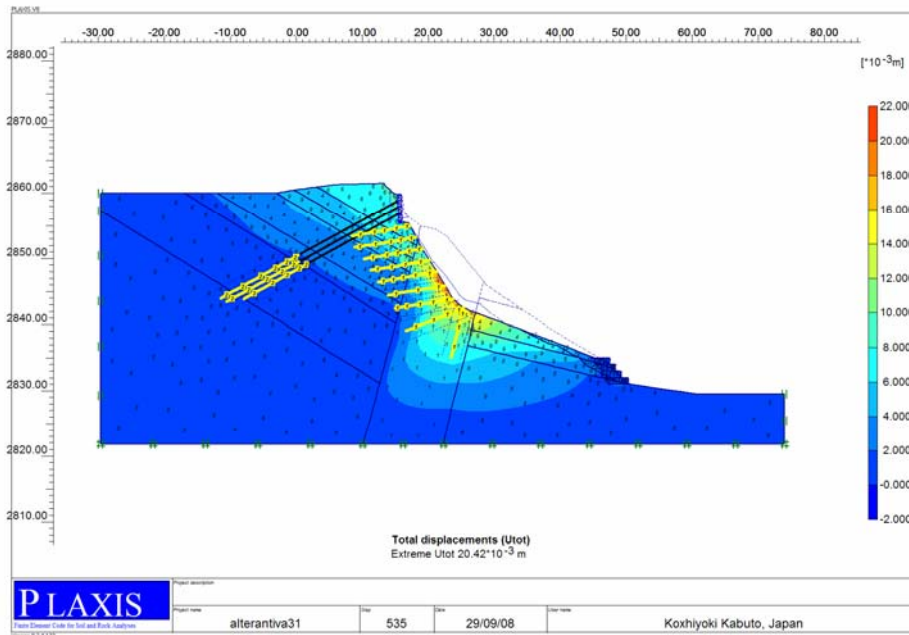


Figura 7.18 Contorno de desplazamientos una vez construidos los pernos de anclaje y el muro en gaviones, sin efecto de la celosía y en condición estática

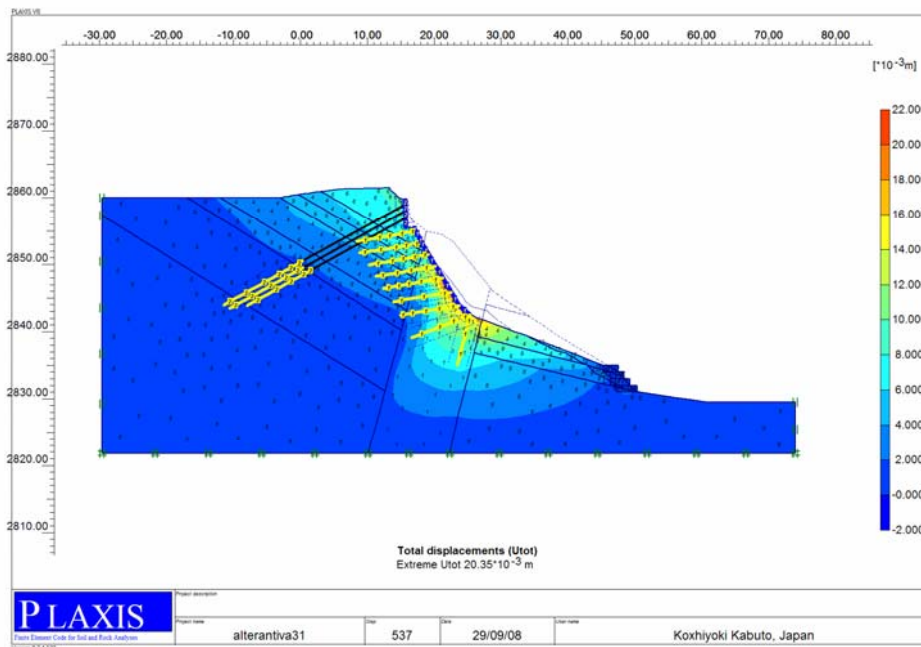


Figura 7.19 Contorno de desplazamientos una vez construida la celosía.

REALIZAR EL REDISEÑO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN DE RIESGO Y PRESTAR LA ASESORÍA DURANTE CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN EN EL BARRIO BRISAS DEL VOLADOR (ZONA 2 – FASE 2) UBICADO EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN BOGOTÁ D.C.

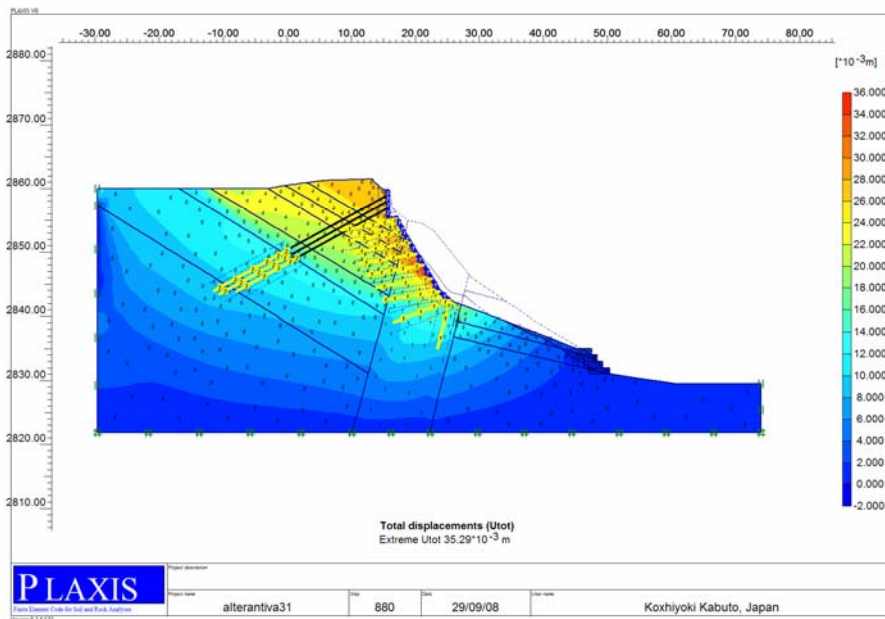


Figura 7.20 Contorno de desplazamientos con la obra completa con un coeficiente de aceleración de 0.08g.

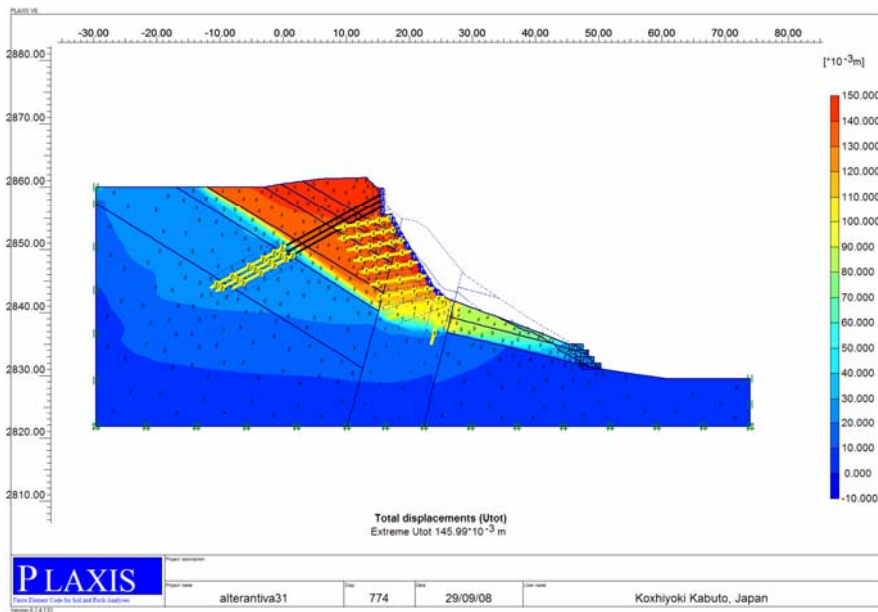


Figura 7.21 Contorno de desplazamientos con la obra completa con un coeficiente de aceleración de 0.16g.

7.4.4.2 Superficie potencial de falla y Factores de seguridad

En el programa de elementos finitos utilizado es posible evaluar un factor de seguridad para cada fase mediante la reducción iterativa de los parámetros de resistencia al corte C y F_i hasta alcanzar la falla del sistema. La relación de los parámetros disponibles con los parámetros de falla indican un factor de seguridad del sistema para la condición evaluada. Adicionalmente se puede ver la superficie potencial de falla representada con bandas de cortante máximo.

En lo que sigue se hace una descripción de los factores de seguridad obtenidos en las diferentes fases de cálculo, en estos análisis se asume un funcionamiento adecuado de las obras de subdrenaje proyectadas por lo tanto en la condición crítica se incluye solo el efecto de sismo. En la Figura 7.22 se aprecia la banda de máximos esfuerzos de corte e indica la superficie potencial de falla más crítica del talud en la condición actual, para este caso el factor de seguridad obtenido es de 1.23.

En la Figura 7.23 se aprecia la superficie potencial de falla para el talud con el efecto de las obras proyectadas en condición estática, en este caso la banda de corte se desplaza hacia atrás y el área de salida se encuentra mas abajo comparado con el caso actual, el factor de seguridad aumenta a 1.49 indicando que el efecto de las obras proyectadas es positivo, es de aclarar que en este caso el factor de seguridad dio mayor que el obtenido con el método del equilibrio límite, lo anterior debido al efecto de la viga de la celosía que en el caso de los elementos finitos es posible obtener su efecto.

En la Figura 7.24 se aprecia la banda de corte incluyendo una aceleración de 0.08g, la superficie potencial indicada se aprecia mejor definida que en el caso estático, el factor de seguridad para este caso es de 1.33., en la Figura 7.25 se presenta la banda de corte para una aceleración de 0.16g, en esta Figura se aprecia que la superficie potencial alcanza la base del muro en gaviones, el factor de seguridad obtenido es de 1.20 este valor es adecuado sin embargo las fuerzas internas necesarias en los elementos estructurales son bastante altas y requieren elementos mas robustos que los proyectados lo cual incrementa el costo de la alternativa sustancialmente.

De acuerdo con los resultados obtenidos, para propósito de diseño se recomienda tomar como condición crítica la influencia del sismo con una aceleración de 0.08g que equivale a una aceleración pico efectivo de 0.12g correspondiente a un periodo de retorno de alrededor de 100 años. Para esta condición el factor de seguridad es superior a 1.3 y con una aceleración de 0.16g el factor de seguridad es superior a 1 indicando que con esta aceleración el talud se acerca a la falla pero no alcanza este estado. Sin embargo, con respecto a los desplazamientos para 0.08g apenas se alcanzan los 3.5 cm. y para 0.16g se aumentan a 14.5 cm. los cuales se pueden traducir en grietas del terreno y en estructuras la menos 20 m atrás de la corona del talud sin que se alcance una falla inminente.

REALIZAR EL REDISEÑO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN DE RIESGO Y PRESTAR LA ASESORÍA DURANTE CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN EN EL BARRIO BRISAS DEL VOLADOR (ZONA 2 – FASE 2) UBICADO EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN BOGOTÁ D.C.

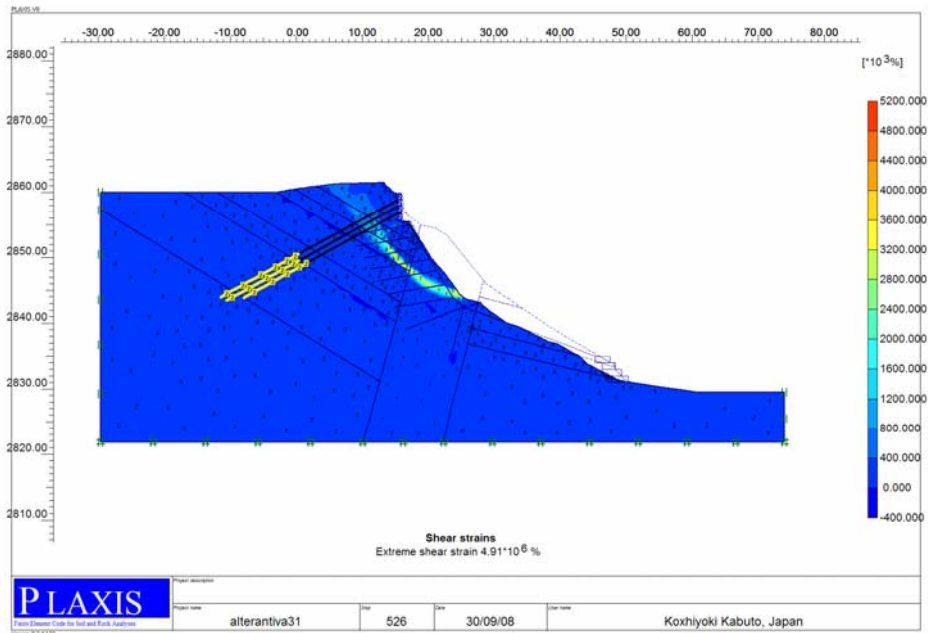


Figura 7.22 Banda de corte que muestra la superficie potencial de falla del talud en condición actual

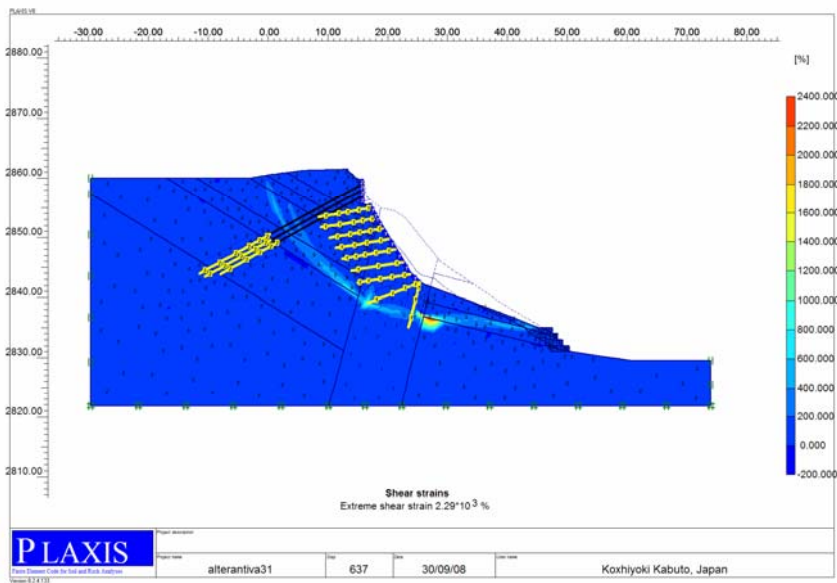


Figura 7.23 Banda de corte que muestra la superficie potencial de falla del talud en condición estática con las obras proyectadas

REALIZAR EL REDISEÑO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN DE RIESGO Y PRESTAR LA ASESORÍA DURANTE CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN EN EL BARRIO BRISAS DEL VOLADOR (ZONA 2 – FASE 2) UBICADO EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN BOGOTÁ D.C.

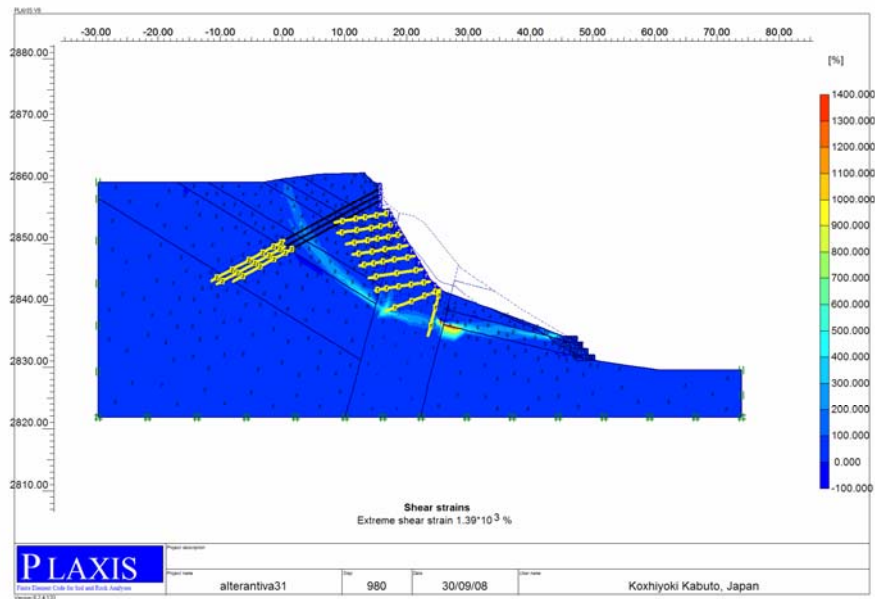


Figura 7.24 Banda de corte que muestra la superficie potencial de falla del talud en condición de sismo con 0.08g y con las obras proyectadas.

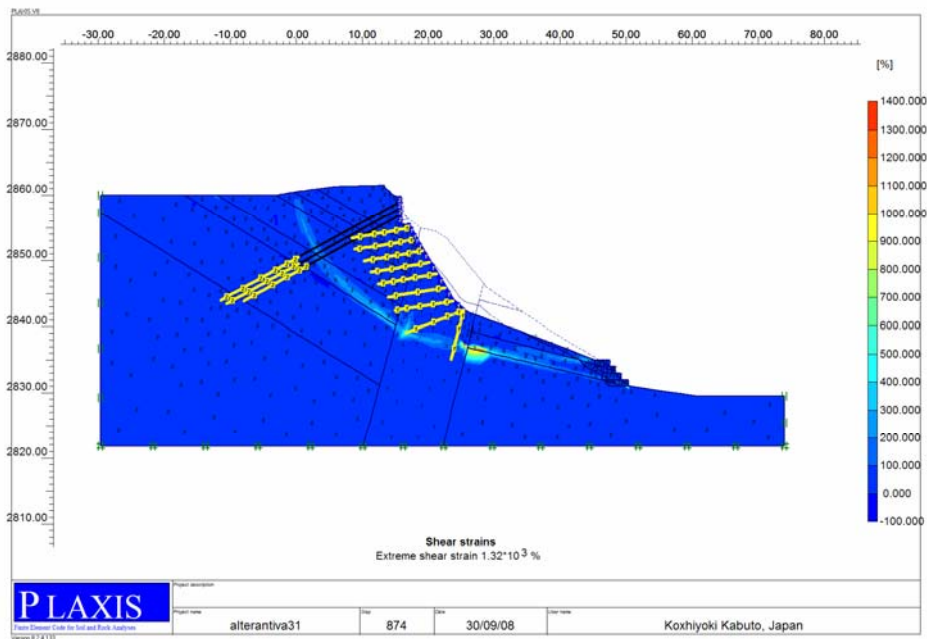


Figura 7.25 Banda de corte que muestra la superficie potencial de falla del talud en condición de sismo con 0.16g y con las obras proyectadas.

7.4.4.3 Cargas de los elementos estructurales.

Con el método de elementos finitos y el análisis de interacción suelo estructura es posible obtener los resultados de los fuerzas internas que deben ser soportadas por los diferentes elementos estructurales que se proyectan para la estabilización. Para el caso de los pernos pasivos se obtiene la distribución de las fuerzas axiales a lo largo del elemento y para el caso de la celosía representada por un elemento placa se obtiene la distribución de fuerzas axiales, fuerzas cortantes y momentos a lo largo del elemento.

En la Figura 7.26 se aprecia la distribución de fuerzas axiales para el caso de sismo con 0.08g, las cargas corresponden para un metro de ancho, la fuerza total para cada perno corresponde con la carga por metro multiplicada por la separación de los anclajes en cada fila. La carga de falla estimada para cada perno compuesto por una barra de acero de 1" es de 120 KN. En la Tabla 15 se presentan las cargas totales por anclaje, en esta tabla se aprecia que los anclajes 1 a 3 requieren unas cargas pequeñas, del anclaje 4 a 8 las cargas axiales son altas e incluso se sobrepasa la carga de falla en el anclaje 6 que tiene una separación de 4 m, sin embargo los anclajes vecinos no alcanzan la carga de falla y se puede presentar una redistribución de cargas axiales que permite un sistema estable en general. En el anclaje 9 la carga es baja y por la orientación presentada este elemento no aporta mayor resistencia a la estabilidad, de acuerdo con esto este anclaje se eliminará y solo se dejan 8 líneas de anclajes.

Para el caso de la celosía se determinaron los diagramas de cargas axiales, fuerzas cortantes y momentos totales teniendo en cuenta los valores resultantes por metro y la separación entre vigas de 4 m. En la Figura 7.27 se aprecia que la carga axial máxima en la celosía para una aceleración de 0.08g es de hasta 430 KN en la mitad inferior debido a los mayores empujes de tierra. En la Figura 7.28 se aprecia el diagrama de cortante total para la celosía, en este caso se ve que los valores máximos se presentan entre el anclaje 6 y 8 alcanzando un valor máximo de 100 KN. En la Figura 7.29 se muestra el diagrama de momentos para la celosía los valores máximos se generan en la parte baja de la estructura con un valor máximo de 40 KN/m. Las Figuras antes mencionadas fueron utilizadas como elementos de entrada para la ejecución del diseño estructural de la celosía.

REALIZAR EL REDISEÑO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN DE RIESGO Y PRESTAR LA ASESORÍA DURANTE CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN EN EL BARRIO BRISAS DEL VOLADOR (ZONA 2 – FASE 2) UBICADO EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN BOGOTÁ D.C.

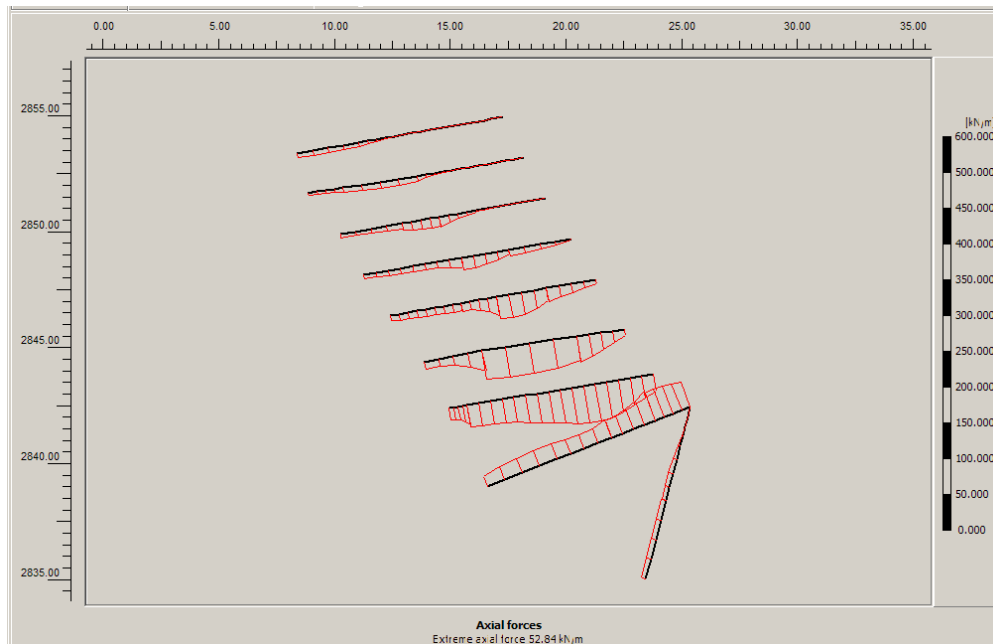


Figura 7.26 Diagramas de fuerzas axiales para los pernos pasivos en condición de sismo con 0.08g.

Tabla 9 Determinación de las cargas totales por perno para el diseño estructural.

Perno	Cota msnm	Carga KN/m	Separación (m)	Carga total KN	carga adm KN	Observaciones
1	2855	7.09	2	14.18	120	OK
2	2853	9.2	4	36.8	120	OK
3	2852	13.85	2	27.7	120	OK
4	2850	16.72	4	66.88	120	OK
5	2848	33	2	66	120	OK
6	2846	42	4	168	120	no cumple
7	2844	52.88	2	105.76	120	OK
8	2843	43.59	2	87.18	120	OK
9	2843	6.51	2	13.02	120	carga mínima

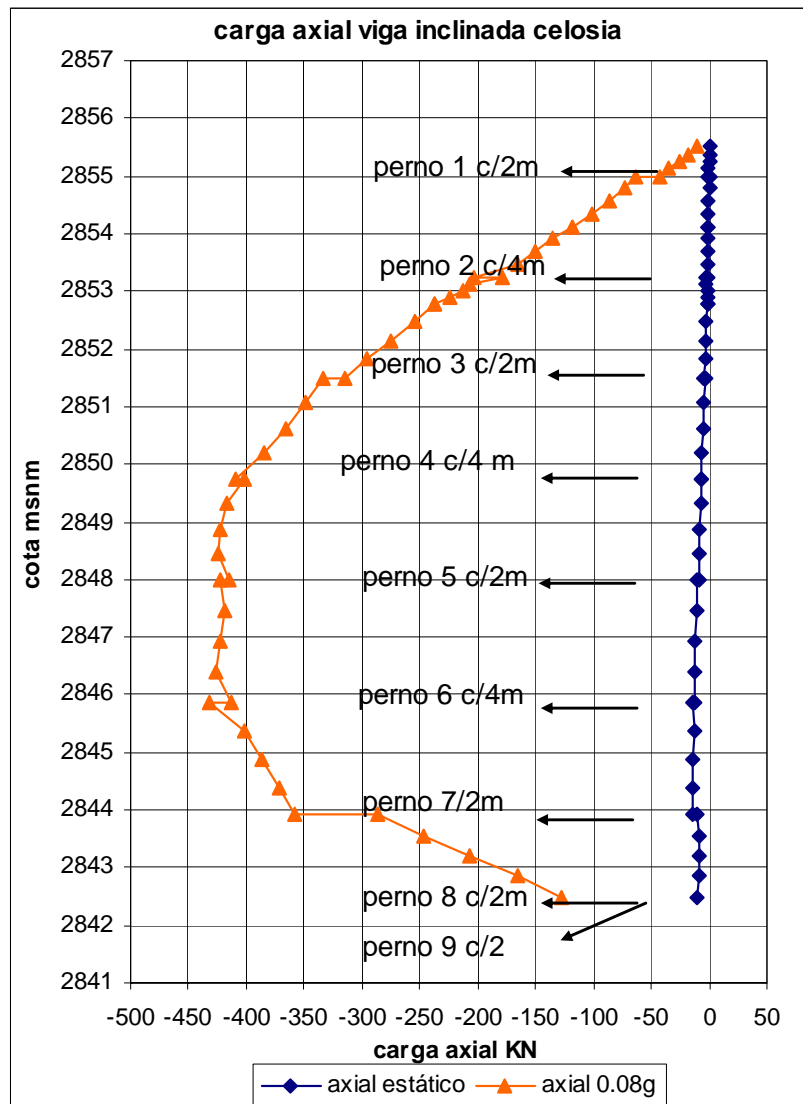


Figura 7.27 Diagramas de Fuerzas axiales para la celosía en condición estática y de sismo

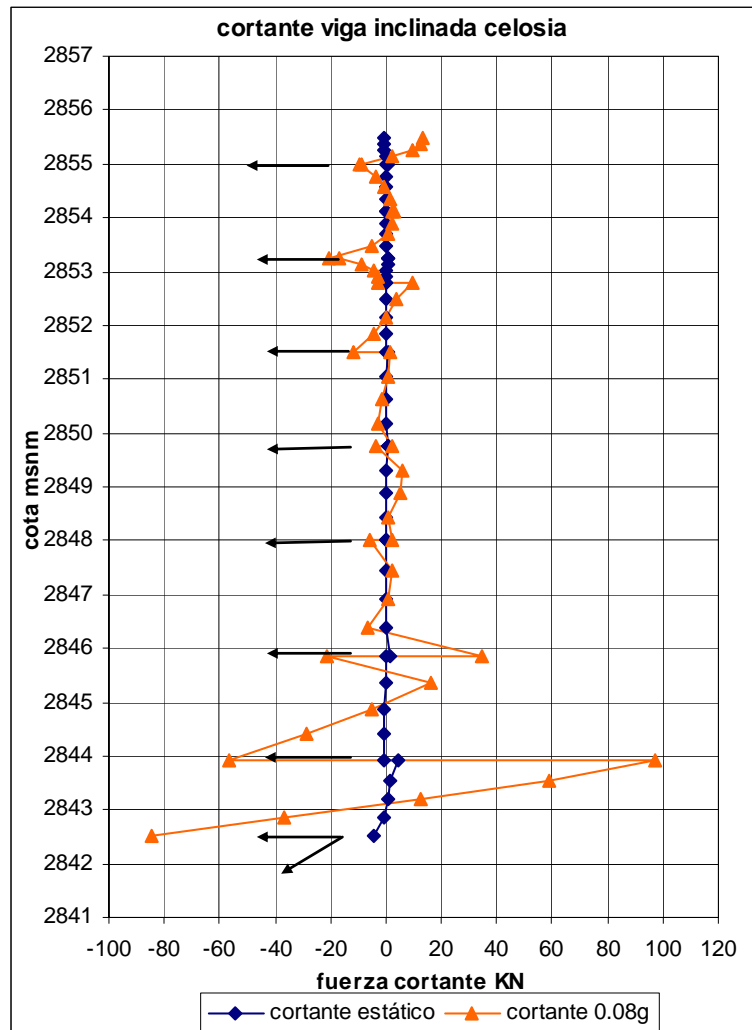


Figura 7.28 Diagramas de fuerzas cortantes para la celosía en condición estática y de sismo

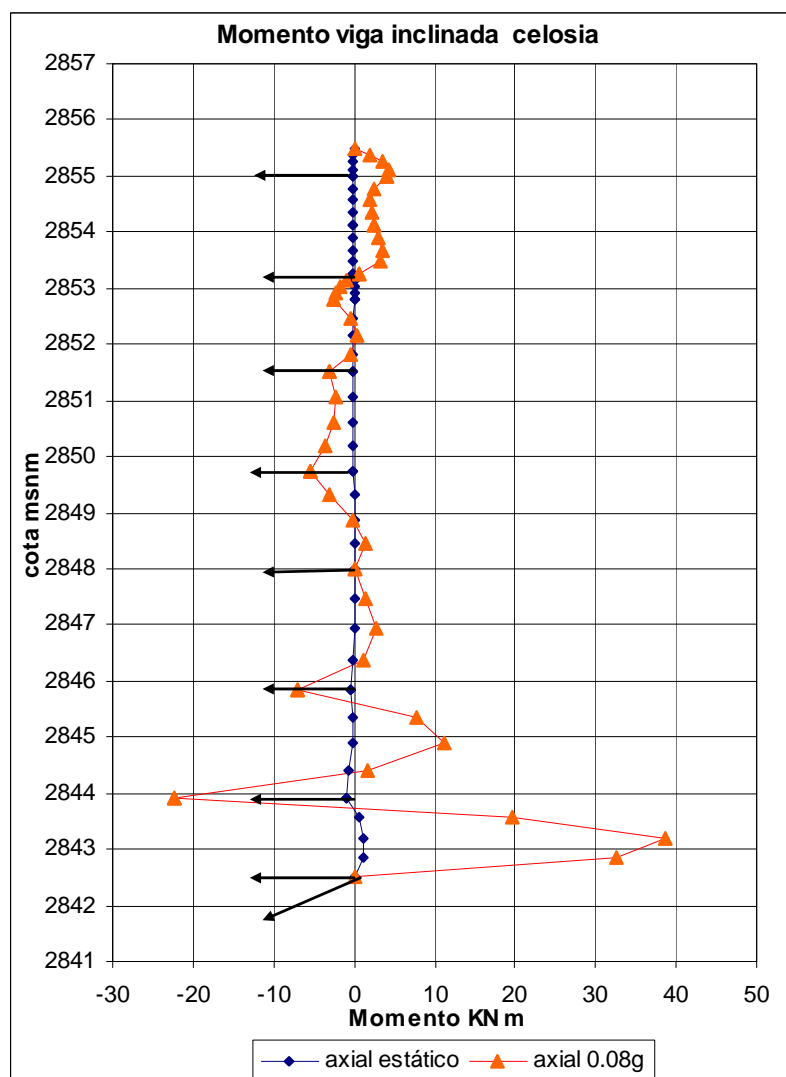


Figura 7.29 Diagramas de fuerzas cortantes para la celosía en condición estática y de sismo

7.5 DISEÑO ESTRUCTURAL ALTERNATIVA 3

El diseño estructural de la alternativa seleccionada se realizó con base en los resultados del análisis geotécnico presentado en el numeral anterior. En el diseño estructural se presenta básicamente el modelo estructural que integra las vigas horizontales y verticales, el revestimiento de concreto lanzado y los pernos de anclaje pasivo para generar una estructura integral para la protección del talud. En el Anexo B se presentan las consideraciones tenidas en cuenta en el diseño estructural y las memorias de cálculo respectivas del diseño detallado de las estructuras.

En los Planos 6 y 7 se presentan los detalles constructivos para la alternativa 3.

8 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

En este numeral se presenta el procedimiento constructivo general para el proyecto teniendo en cuenta las obras proyectadas en la alternativa 3, la cual fue seleccionada como la mejor desde el punto de vista económico como técnico. Los procedimientos detallados para la construcción de cada obra se presentan en las especificaciones técnicas de construcción. A continuación se presenta en orden lógico la secuencia de actividades para la ejecución de la alternativa 3.

1. Hacer limpieza de la cuneta localizada en la parte alta del talud atrás de la pantalla anclada existente de manera que se garantice su funcionamiento adecuado y se evite el desborde de agua de escorrentía hacia la cara del talud, lo cual puede ser dañino para la estabilidad del talud.
2. hacer la localización y el replanteo del muro en gaviones y de las áreas de excavación en la parte media y alta del talud que requieren perfilado.
3. Iniciar la construcción del muro en gaviones. Para esto se inicia con la excavación mecánica por tramos no mayores a 10 m según la geometría indicada en los planos de obras, hacer la posterior instalación del geotextil para drenaje y de la tubería perforada para drenaje garantizando que su descarga se realice al sistema de alcantarillado pluvial o sistema similar para la captación y transporte adecuado del agua que se alcance a captar por este sistema de drenaje. Continuar con la conformación del muro en gaviones hasta el nivel 3 disponiendo adecuadamente un geotextil de separación en la base y el espaldón del muro. El proceso se debe repetir hasta completar toda la longitud del muro hasta el nivel 3.
4. Iniciar el perfilado del talud desde la parte alta hasta la cota 2849 con excavación manual de acuerdo los taludes indicados en el Plano 5 y tomando como referencia adicional las coordenadas de los anclajes proyectados y de los drenes horizontales indicadas en el mismo Plano 5. Disponer el material de excavación como relleno del muro de gaviones compactándolo con una densidad de mínimo el 90% de la densidad obtenida en el ensayo de Proctor modificado.
5. Hacer la instalación de las líneas de pernos pasivos 1 a 4 dejando expuesta la longitud de barra roscada necesaria para la instalación de la celosía y la fijación posterior de placas y tuercas. Simultáneamente hacer la instalación de las líneas drenes horizontales 1 y 2. la localización de los pernos y los drenes se debe hacer de acuerdo con lo indicado en los planos de diseño y su construcción de acuerdo con el procedimiento indicado en las especificaciones técnicas. La inyección de los anclajes debe hacerse antes de instalar los drenes para evitar que éstos se obstruyan y queden funcionando mal.
6. Hacer el perfilado del talud desde la cota 2849 hasta la cota 2842.5 con excavación manual o de ser posible excavación mecánica garantizando que no se presente sobre excavación y se respete la inclinación taludes indicados en los planos de diseño, disponer el material de excavación como relleno del muro de gaviones con las condiciones indicadas en el numeral 3 y construir simultáneamente el cuarto nivel de gaviones para completar la colocación del relleno proyectado con la inclinación indicada en los planos de diseño. La

inyección de los anclajes se debe hacer antes de la instalación de los drenes horizontales para evitar la obstrucción de éstos.

7. Hacer la instalación de las líneas de anclajes 5 a 6 y las líneas de drenes 3 y 4 localizados de acuerdo con lo indicado en los planos de diseño y con el procedimiento descrito en las especificaciones técnicas. Se debe garantizar que el tubo de inyección de los anclajes quede sobresaliendo de la superficie del talud unos 5 cm y cuando se funda la celosía de debe garantizar que el tubo de inyección no quede tapado y el extremo debe quedar a ras de la superficie externa de la viga, de manera que en el futuro se puedan reinyectar los anclajes con lechada de cemento.
8. Hacer la excavación manual para la conformación del perfil final del terreno, para la construcción de las vigas de concreto y de la membrana en concreto lanzado, el proceso de excavación debe garantizar de forma aproximada la geometría curvada mostrada en el Plano 6 correspondiente con el diseño estructural. La curvatura de de la membrana concuerda con la curvatura del terreno, pues ésta debe quedar directamente sobre el suelo. En cada espacio de la celosía se debe generar la curvatura en ambas direcciones, es decir, que queda un abombamiento, la curvatura corresponde de manera aproximada con un sector circular con cuerda de 4 m y flecha de 0.3 m. El proceso de excavación se debe realizar desde la parte alta hacia abajo, para evitar desprendimiento de bloques, el talud se debe revestir con una capa inicial de concreto lanzado de 0.03 m la cual termina haciendo parte del revestimiento proyectado en concreto lanzado. Simultáneamente con el revestimiento en concreto lanzado se deben instalar lloraderos (pases de drenaje) para evitar la acumulación de agua atrás del revestimiento de acuerdo con lo indicado en el plano de diseño.
9. Sobre la superficie terminada y recubierta con la capa de concreto lanzado, poner la malla electrosoldada del revestimiento y la armadura de acero para las vigas de la celosía teniendo en cuenta los detalles constructivos presentados en los planos 6 y 7. Se debe colocar la formaleta necesaria para garantizar la geometría y las dimensiones indicadas para las vigas, el revestimiento no requiere formaleta.
10. Instalar el concreto de las vigas de la celosía para lograr las dimensiones recomendadas de 0.35 de alto * 0.30 m de ancho e instalar una segunda capa de concreto lanzado de 0.03 m para completar el revestimiento de acuerdo con las especificaciones técnicas para la construcción de estos elementos.
11. Hacer la fijación de los pernos de anclaje mediante la colocación de platina y las tuercas como se muestra en los planos de diseño y según las especificaciones.
12. Construir la cuneta de concreto en la parte baja del talud revestido para coleccionar el flujo superficial que se genere sobre revestimiento y de los drenes horizontales y la cuneta en sacos de suelo cemento localizada atrás de la corona del muro en gaviones con sus respectivas obras de descoles y entrega de acuerdo con lo indicado en los plano localización y detalles constructivos. Todo el sistema de drenaje se debe entregar en el sistema de alcantarillado de aguas lluvias o en un sitio autorizado por las entidades ambientales y por el FOPAE de manera que se evite la generación de procesos de inestabilidad.

13. Hacer la Empradización del talud localizado entre la parte baja del revestimiento en concreto y el muro en gaviones, este revestimiento se debe realizar con cespedón de Kikuyu.
14. Hacer limpieza general del área.

9 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Las especificaciones técnicas se presentan para cada ítem de la alternativa 3 que corresponde con la seleccionada, sin embargo éstas se pueden aplicar a las demás alternativas teniendo en cuenta que prácticamente son las mismas obras pero con una distribución diferente, en el Anexo C se presentan las Especificaciones Técnicas de construcción para la alternativa seleccionada.

10 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO

Las cantidades de obra se evaluaron de acuerdo con las características geométricas de las obras definidas para cada alternativa, en el Anexo D se incluyen las memorias de calculo de las cantidades para cada una de las alternativas. El presupuesto se determinó teniendo en cuenta el análisis de precios unitarios basados en precios de CONSTRUDATA 2008 y precios del mercado obtenidos mediante cotizaciones y llamadas telefónicas y las cantidades de obra. En el anexo E se presentan el análisis de precios unitarios y el presupuesto para cada alternativa, en la siguiente tabla se presenta el resumen del presupuesto. Para el caso de la alternativa 3 el presupuesto se realizó teniendo en cuenta los diseños estructurales y geotécnicos detallados, para las demás alternativas se evaluó con los planos generales, dimensiones proyectadas y cuantías aproximadas.

ALTERNATIVA	COSTO DIRECTO	COSTO DIRECTO +AIU
1	578'376.555	688'615.127
2	493'739.342	587'846.061
3	384'144.878	466'044.566

11 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en la información consultada y en los análisis realizados en éste trabajo, se pueden presentar las siguientes conclusiones y recomendaciones que deben ser tenidas en cuenta para la construcción de las obras de estabilización en el barrio Brisas del Volador en la Zona 2- Fase 2.

1. Desde el punto de vista geotécnico el macizo rocoso del sitio de estudio presenta una alteración alta debido a su composición litológica y a la actividad tectónica que ha generado un gran fracturamiento del macizo evidenciado en zonas de brechas de falla de de gran espesor. Esta condición de alteración hace que el macizo tenga un comportamiento tendiente a un suelo particulado con matriz fina, susceptible de presentar fallas principalmente de tipo circular o compuesta entre planar y circular. Adicionalmente, la acción de agentes externos como el agua de escorrentía superficial y subsuperficial afectan la estabilidad del talud por ablandamiento de los niveles de lodolita, por el lavado del relleno de las discontinuidades y de la brecha y por el incremento de la presión de poros. La actividad antrópica también contribuye en gran medida con la inestabilización del área por descargas inadecuadas de aguas servidas y lluvias y por los aportes de basuras a los sistemas de drenaje existentes.
2. Los resultados de los análisis de estabilidad en la condición actual indican una condición de seguridad marginal en condición estática, bajo la acción de sismos y del agua mal controlada es muy posible la inestabilización del talud de estudio. Dada esta condición precaria de estabilidad se recomienda implementar obras estabilización en el menor tiempo posible para evitar que el talud se continúe debilitando.
3. Se plantearon tres alternativas de obras para mejorar la estabilidad del talud. La primera consiste en un perfilado del talud que genera un movimiento de tierras apreciable en la parte baja, colocación de pernos pasivos de longitud variable desde la parte alta hasta la cota 2831 y revestimiento con una celosía formada por vigas de concreto con cubrimiento de concreto lanzado y drenes horizontales. La segunda plantea la construcción de pernos desde la parte alta del talud hasta la cota 2838 y revestimiento del talud con una celosía de vigas de concreto con cubrimiento de concreto lazado, pilotaje en la pata de la celosía como cimentación, muro de gaviones en la pata de la ladera de 3 m de alto y drenes horizontales. La alternativa tres considera pernos pasivos desde la parte alta hasta la cota 2842.5 y revestimiento del talud con una celosía de vigas de concreto con cubrimiento de concreto lanzado, un muro de gaviones de 4 m en la pata de la ladera con su respectivo relleno de confinamiento, drenes horizontales, cunetas y empradización de taludes poco empinados con cespedón.
4. De las alternativas planteadas se recomienda utilizar la alternativa 3 que presenta factores de seguridad mas favorables para la estabilidad del talud y desde el punto de vista económico presenta el costo mas bajo debido al menor volumen de corte

y a la disminución de las líneas de pernos pasivos y del área de revestimiento del talud con la celosía de concreto.

5. De los análisis detallados de estabilidad para la alternativa tres se obtuvo un factor de seguridad estático superior a 1.4, para condición de sismo con aceleración de 0.08g el factor de seguridad es superior a 1.3 y para 0.16g el factor de seguridad es superior a 1.0. Si bien los factores de seguridad no superan los requerimientos del FOPAE para garantizar una amenaza baja por deslizamiento, los factores indican una condición de estabilidad técnicamente estable y las obras presentan un costo razonable para la proyección presupuestal de la entidad. Para poder lograr niveles de seguridad por encima de los requisitos normales es necesario implementar obras de gran envergadura como la reconfiguración geométrica del talud para disminuir su pendiente general y grandes obras de contención cuyos costos son elevados.
6. Dentro del alcance de este estudio no se planteó la inclusión de obras de estabilización en la parte alta del talud hacia los lados de la pantalla anclada existente. De todas maneras en condiciones críticas de agua o sismo, o la combinación de los dos, la condición de estabilidad puede ser crítica. Por lo tanto, se recomienda revisar las condiciones de estabilidad de los sectores adyacentes aledaños a la pantalla anclada de forma detallada, incluyendo exploración del subsuelo para tener información clara sobre la distribución de los materiales, diseñar las obras que se requieran para mantener la condición de estabilidad del sector.
7. Durante la construcción de las obras se recomienda tener mucho cuidado en la ejecución del perfilado del talud actual para evitar excesos de excavación que sobre-empinen el talud y disminuyan el grado de estabilidad actual, esta condición reduce la efectividad de las obras proyectadas. Se recomienda hacer las excavaciones justo hasta los niveles indicados en los planos de diseño y siguiendo el procedimiento constructivo general indicado.
8. Si durante la construcción se presentan lluvias se recomienda cubrir el talud con plástico de polietileno #8 para evitar la alteración de la cara del talud por la escorrentía superficial y por el impacto de las gotas de agua, también para evitar saturación superficial y posibles desprendimientos de bloques del talud, el costo de esta protección temporal debe entrar como imprevisto ya que no se sabe cual será la condición climática durante la construcción.
9. Se recomienda hacer limpieza de la cuneta en concreto existente en la parte alta del talud antes de iniciar las obras proyectadas para evitar que la cuneta se desborde y pueda desencadenar problemas de inestabilidad.
10. En el caso del muro en gaviones, para los tres primeros niveles se recomienda su construcción por tramos no superiores a 10 m. El suelo de fundación para esta estructura debe ser la unidad geológica Kgst-Are4 correspondiente a un nivel de arenisca cuarzosa medianamente meteorizada de estratificación gruesa. En todo caso el suelo de fundación debe ser aprobado por un ingeniero geotecnista. Para

evitar la acumulación de agua en el suelo de fundación, el muro se puede dejar levemente inclinado hacia atrás y se debe disponer un sistema de drenaje que permita la evacuación rápida del agua y su descarga al sistema de alcantarillado pluvial o similar, que evite la generación de problemas de estabilidad aledaños al sitio estabilizado.

11. La construcción del relleno proyectado se debe hacer con el material proveniente del perfilado del talud y se debe compactar en capas de 15 cm con una densidad mínima del 90% de la densidad máxima obtenida en el ensayo de Proctor modificado, el equipo a utilizar debe ser un rodillo vibrocompactador pequeño para evitar sobre-empujes en el muro de gaviones y vibraciones excesivas del terreno.
12. Todos los drenajes proyectados deben descargar al sistema de alcantarillado pluvial, de no ser posible, al sistema de alcantarillado de aguas residuales o en un sitio autorizado por el FOPAE y por la Entidad Ambiental competente. En todo caso se debe garantizar que la descarga del sistema de drenaje existente y proyectado no desencadene procesos de inestabilidad del terreno aledaño.
13. Todas las obras proyectadas se deben construir de acuerdo con lo indicado en los planos de localización, detalles constructivos y especificaciones técnicas presentadas, cualquier modificación que se realice en obra debe tener el visto bueno del diseñador, de lo contrario la responsabilidad del diseñador queda eximida.

12 LIMITACIONES

Los resultados, conclusiones y recomendaciones fueron obtenidos a partir de la información existente principalmente y a partir de la geometría actual del talud.

Debido al carácter puntual de la información y a la variabilidad del subsuelo, en caso de encontrarse condiciones del subsuelo diferentes a las descritas en este informe durante el proceso de construcción, se deberá informar al consultor para realizar las modificaciones y aclaraciones que sean necesarias.

13 BIBLIOGRAFIA

1. Ingeniería y Georiesgos IGR (2005). Estudio de riesgos por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras recomendadas para estabilizar los escarpes y laderas ubicados en el Barrio Brisas del Volador y el extremo noroccidental del Barrio La Esmeralda Sur de la localidad Ciudad Bolívar en Bogotá D.C.
2. Ingeniería y Georiesgos IGR (2006). Elaboración de diseños de obras nuevas y diseños para el mantenimiento de obras existentes , presupuestos y especificaciones técnicas en sitios críticos de riesgo inminente por remoción en masa en las localidades de Suba, Usaquén, Ciudad Bolívar y Usme de la ciudad de Bogotá, D.C. Sitio 5 – Brisas del Volador – localidad de Ciudad Bolívar
3. Lee, E.M. y Jones, K.C. (2004) Landslides Risk Management. Thomas Telford E.
4. Xanthakos P. (1991). Ground Anchors and anchored structures. John Wiley and sons inc.

REALIZAR EL REDISEÑO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN DE RIESGO Y PRESTAR LA ASESORÍA DURANTE CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN EN EL BARRIO BRISAS DEL VOLADOR (ZONA 2 – FASE 2) UBICADO EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN BOGOTÁ D.C.

Anexo A
INFORME LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

REALIZAR EL REDISEÑO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN DE RIESGO Y PRESTAR LA ASESORÍA DURANTE CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN EN EL BARRIO BRISAS DEL VOLADOR (ZONA 2 – FASE 2) UBICADO EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN BOGOTÁ D.C.

Anexo B
DISEÑO ESTRUCTURAL OBRAS DE PROTECCIÓN

REALIZAR EL REDISEÑO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN DE RIESGO Y PRESTAR LA ASESORÍA DURANTE CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN EN EL BARRIO BRISAS DEL VOLADOR (ZONA 2 – FASE 2) UBICADO EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN BOGOTÁ D.C.

Anexo C
ESPECIFICACIONES TECNICAS

REALIZAR EL REDISEÑO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN DE RIESGO Y PRESTAR LA ASESORÍA DURANTE
CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN EN EL BARRIO BRISAS DEL VOLADOR (ZONA 2 – FASE 2)
UBICADO EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN BOGOTÁ D.C.

Anexo D
CALCULO CANTIDADES DE OBRA

REALIZAR EL REDISEÑO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN DE RIESGO Y PRESTAR LA ASESORÍA DURANTE CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN EN EL BARRIO BRISAS DEL VOLADOR (ZONA 2 – FASE 2) UBICADO EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN BOGOTÁ D.C.

Anexo E
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS Y PESUPUESTO