FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIA DE BOGOTÁ FOPAE

ELABORACIÓN DE DISEÑOS DE OBRAS, PRESUPUESTOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS EN SITIOS DE RIESGO INMINENTE POR REMOCIÓN EN MASA EN LAS LOCALIDADES DE CHAPINERO, SANTAFÉ, SAN CRISTÓBAL Y RAFAEL URIBE DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.

Contrato de Consultoría No. 453 de 2005

CONSORCIO PI - LAMBDA
Informe Sitio No. 1
Barrio El Paraíso
Trabajo No. 131-A

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

En cumplimiento del Contrato de Consultoría No. 453/05, suscrito entre el FONDO PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS (FOPAE) y el CONSORCIO PI – LAMBDA (constituido por Geocing Limitada y el Ingeniero Miguel Ángel Raba M.), cuyo objeto es la "Elaboración de diseños de obras, presupuestos y especificaciones técnicas en sitios de riesgo inminente por remoción en masa en las localidades de Chapinero, Santafé, San Cristóbal y Rafael Uribe de la Ciudad de Bogotá D.C.", se presenta este documento que contiene el Informe del Sitio No. 1, localizado en el barrio El Paraíso de la localidad de Chapinero.

El objeto del estudio consiste en determinar las causas de los problemas de estabilidad de la zona y efectuar los respectivos diseños geotécnicos para las obras de mitigación. Para cumplir con este objeto, se realizó un reconocimiento del sitio por parte de los especialistas en Geología y Geotecnia, y se desarrolló un programa de exploración geotécnica del subsuelo con base en trincheras, perforaciones, y ensayos de laboratorio.

Con base en los resultados de los trabajos de campo y laboratorio se efectuaron los análisis de ingeniería, tendientes a establecer las causas del problema y a efectuar el planteamiento de alternativas de solución.

1.2. Descripción del problema

El sitio de estudio se encuentra localizado en la Diagonal 43 con carrera 1A del barrio El Paraíso, de la localidad de Chapinero, en una zona de laderas de pendiente moderada a alta. A continuación se presenta la descripción del problema de acuerdo con los diagnósticos técnicos emitidos por la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá (DPAE) y la visita de reconocimiento realizada por el personal profesional del Consorcio Pi – Lambda.

1.2.1. Diagnóstico técnico No. DI-553

Con base en el Diagnóstico Técnico No. DI-553 emitido por el DPAE, resultado de la visita técnica efectuada en el mes de enero de 1999, se identificó un deslizamiento del orden de 50 m^3, en el talud de corte del costado oriental de la vía de acceso al Barrio, sin alcanzar a afectar a la vivienda del interior 3 propiedad de Blanca Balboa Sanabria. En este documento, se recomendó retirar los materiales deslizados y la construcción de una obra para garantizar la estabilidad del talud afectado y evitar la propagación del deslizamiento hacia la zona posterior.

El 30 de junio de 2005, se presentó un segundo deslizamiento sobre un suelo arenoso con bloques, el cual obstruyó parte del carril norte sur de acceso al barrio. De acuerdo con la evaluación efectuada, el deslizamiento se produjo por saturación y pérdida de resistencia de los materiales que lo conforman , debido a las lluvias precedentes y por ausencia de las obras que se debieron haber efectuado a raíz de las recomendaciones efectuadas en el diagnóstico de enero del año 1999, relacionadas con la construcción de un muro de contención.

1.2.2. Situación actual

Con base en la visita de reconocimiento efectuado a finales del mes de octubre del año en curso, se encontró que la zona afectada corresponde a un talud de corte de la vía de acceso al barrio El Paraíso, el cual limita con varias casas de 1 y 2 pisos localizadas por los costados y por detrás del talud de corte.

Con base en la información suministrada por los residentes se pudo constatar que efectivamente a finales de 1989, se presentó una primer deslizamiento (deslizamiento 1) en el costado nor-oriental, justo al frente de la casa de la señora Blanca Balboa Sanabria (ver la Fotografía 1); este deslizamiento de poca profundidad, abarcó la altura total del talud de corte, con corona de falla muy cerca a la parte superior del talud; el material deslizado invadió el carril sur-norte de la vía de acceso al barrio, y parte de éste material deslizado quedó depositado en la parte inferior del talud inicial.



Fotografía 1: Deslizamiento que se presentó en 1989 en el zona nor-oriental del área de estudio, justo en frente del predio de la señora Blanca Balboa Sanabria. La cicatriz de falla fue cubierta con relleno de basuras y en la base se formó una lengüeta que invadió la vía en la parte baja.

Posteriormente, a comienzos del 2005, se generó una segunda falla en la zona central del talud de corte, producto de las lluvias que saturaron el talud; a diferencia de la falla anterior, en este sitio se generó una falla de mayor profundidad, con tendencia regresiva, la cual dejó al descubierto un escarpe casi vertical del orden de 4 m de altura, que comprometió la acera de la entrada oriental a la casa de la señora Rosa Amparo Pulido(ver la Fotografía 2).



Fotografía 2: Vista del deslizamiento ocurrido a comienzos del año 2005, en la zona central del área de estudio. Se generó una falla rotacional retrogresiva de profundidad moderada que emerge al nivel de la vía.

Aunque se presentó en los últimos meses (septiembre – octubre de 2005) un intenso invierno, no se ha percibido una evolución del proceso de falla dentro de las casas, exceptuando algunos bloques de tierra en forma de nariz, que se encuentran agrietados y que pueden desprenderse del talud (ver las Fotografías 3 y 4); un primer bloque se encuentra localizado en la esquina sur-occidental de la casa de la señora Blanca Balboa Sanabria Patiño (Interior 7) y un segundo bloque en frente de la casa de la señora Rosa Amparo Pulido (Interior 3).



Fotografías 3 y 4: Detalle del escarpe superior del deslizamiento 2 de la zona central; el talud está expuesto a la intemperie y hay cuñas de suelo que se encuentran agrietadas y que pueden desprenderse hacia la parte baja.

Finalmente se encuentra que, la parte sur del talud de corte está cubierta por una capa delgada de relleno, y en la actualidad permanece estable; sin embargo, en la base del talud, contra la cuneta de la vía, hay señales de deformaciones laterales del talud, que pueden llegar a afectar la cuneta inferior (ver las Fotografías 5 y 6).



Fotografías 5 y 6: Parte sur del talud cubierta por rellenos. Se notan algunas deformaciones laterales que pueden afectar la cuneta inferior.

Aunque no hace parte de la zona en estudio, es importante destacar que en la parte baja de la vía al otro lado del talud corte, se encuentran varios escarpes de deslizamientos antiguos que eventualmente pueden afectar la vía en la parte alta (ver la Fotografía 7).



Fotografía 7: Vista de la parte baja del talud al otro lado de la vía de acceso al barrio El Paraíso; se observan problemas de creep, que se evidencian por la irregularidad del terreno y la inclinación de los árboles, que alcanzan a dibujar un primer escalón, cerca del borde externo de la vía.

1.3. Diagnóstico de amenaza y riesgo actual

1.3.1. Evaluación cualitativa de la amenaza

Para la evaluación cualitativa de la amenaza se utilizó la valoración de expertos, utilizando la escala de valores presentados en la Tabla 1.

Tabla 1. Categorización de la amenaza cualitativa

CATEGORÍA DE LA AMENAZA	NIVEL
Muy alta	Significativa posibilidad de ocurrencia. Sucede algunas veces (período de retorno de aproximadamente 5 años)
Alta	Limitada posibilidad de ocurrencia. Puede suceder en forma esporádica (período de retorno de unos 10 años)
Media	Baja posibilidad de ocurrencia. Sucede muy raramente (período de retorno del orden de 25 años)
Baja	Muy baja posibilidad de ocurrencia. Sucedería en forma excepcional (período de retorno de 100 años)
Muy baja	Muy difícil que ocurra (ocurre cada 1000 años)

Teniendo en cuenta la descripción del problema, de acuerdo con los diagnósticos técnicos del DPAE y la visita de reconocimiento, se estimó que la categoría de amenaza en el MUY ALTA, situación que se respalda por la ocurrencia del deslizamiento, que a afectado la vía inferior y alguna de las viviendas de la parte alta.

1.3.2. Evaluación de la vulnerabilidad

La vulnerabilidad se valoró según la magnitud de las consecuencias, utilizando las siguientes variables lingüísticas:

- **Insignificante:** Pérdidas o daños despreciables.
- **Marginal:** Pérdidas o daños moderados.
- **Crítica:** Pérdidas o daños considerables.
- **Catastrófica:** Pérdidas o daños de gran magnitud.

En el caso del barrio El Paraíso, los daños o pérdidas en caso de reactivación del movimiento están representados en el taponamiento de la vía (carrera 1 A Este), y años estructurales en aproximadamente tres (3) de las viviendas localizadas en la parte superior del talud, considerándose las posibles consecuencias como CRÍTICAS.

1.3.3. Determinación del riesgo

Teniendo en cuenta la categorización de amenaza y vulnerabilidad previamente descrita, se presenta en la Tabla 2 la matriz de aceptabilidad del riesgo.

Tabla 2. Matriz de aceptabilidad del riesgo

Amenaza relativa					
	Muy Alta	Tolerable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable
	Alta	Tolerable	Tolerable	Inaceptable	Inaceptable
	Media	Aceptable	Tolerable	Tolerable	Inaceptable
	Baja	Aceptable	Aceptable	Tolerable	Tolerable
	Muy Baja	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Tolerable
		Insignificante	Marginal	Critica	Catastrófica
		Vulnerabilidad relativa			

Como se puede ver en dicha figura, se identificaron tres (3) zonas o niveles de riesgo, los cuales se describen a continuación:

- Nivel de riesgo aceptable (nivel de riesgo menor del 15%)

  Un escenario situado en esta región de la matriz, significa que la convolusión amenaza - vulnerabilidad no representa un peligro significativo, por lo que no amerita la inversión inmediata en acciones específicas para la gestión sobre el riesgo.

- Nivel de riesgo tolerable (nivel de riesgo entre el 15% y el 30%)

  Un escenario situado en esta región de la matriz, significa que aunque deben desarrollarse actividades para la gestión sobre el riesgo, esta tiene una prioridad de segundo nivel. Se deben ahondar los esfuerzos para disminuir la incertidumbre en la evaluación.

- Nivel de riesgo inaceptable (mayor al 30%)

  Un escenario situado en esta región de la matriz, significa que se requiere siempre desarrollar acciones prioritarias e inmediatas para su gestión debida al alto impacto que tendría sobre la comunidad.

Ya que la amenaza se calificó como MUY ALTA y la vulnerabilidad (consecuencias) como CRITICA, de acuerdo con la matriz presentada se califica el riesgo como INACEPTABLE, recomendándose llevar a cabo obras de mitigación de amenaza para disminuir el riesgo.

2. TOPOGRAFÍA

2.1. Generalidades

Se efectuó un levantamiento altimétrico y planimétrico del sector de estudio que abarca un área aproximada de 0.66 Ha. El terreno presenta una topografía inclinada enmarcada entre las cotas 2701 y 2721 msnm.

Para la ejecución de los trabajos se utilizó una estación de las siguientes características:

INSTRUMENTO:	ESTACION
MARCA:	SOKKIA
MODELO:	SET-3E
SERIE:	71190
PRECISION ANGULAR:	SEGUNDO
PRECISION DISTANCIA:	MILÍMETRO
COLECTOR DE DATOS:	TRIPOD DATA SYSTEM

Este instrumento cuenta con su respectivo Certificado de verificación Óptico- Mecánico y Electrónico, suministrado por la empresa TOPO-ESTAR, el cual se anexa en este informe.

2.2. Descripción de actividades

Las labores de campo en la zona se realizaron a mediados del mes de octubre de 2005; durante éste periodo se desarrollaron las siguientes actividades:

En una primera etapa se realizó un amarre de coordenadas geográficas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, mediante el uso de GPS de alta precisión (ver Anexo I).

Posteriormente se ubicaron puntos estratégicos que permitieran tomar en detalle construcciones, vías, redes de teléfono, energía, pozos de acueducto o alcantarillado, así como aquellos puntos que facilitaran la descripción del relieve de la zona y de otros puntos que se consideraron importantes para la elaboración del levantamiento topográfico. Se materializaron dos (2) puntos en la zona de estudio para la futura localización de las obras diseñadas en este estudio. Las coordenadas de estos puntos son:

Tabla 3. Coordenadas de los mojones materializados en el sitio

PUNTO	NORTE (m)	ESTE (m)	ELEVACIÓN (msnm)
CACL-1	101.948,206	103.639,473	2.707,305
CACL-2	101.902,25	103.630,012	2.704,000

Se recopiló información de 445 puntos del área de estudio, y por medio del software SURFACE MODELING se generaron curvas de nivel cada 0.5 metros y un perfil longitudinal que se encuentran plasmados en un plano escala 1:500 (ver Plano GE131-PL1-01).

3. INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO

Con el fin de conocer la estratigrafía del sector y determinar las características geomecánicas de los diferentes materiales que conforman el subsuelo en la zona de estudio, se llevó a cabo un programa de investigación del subsuelo, detallado a continuación.

3.1. Exploración del subsuelo

Para determinar las características del suelo del área de estudio, se efectuaron cinco (5) trincheras de 3 m de profundidad, en la parte baja y alta del talud, y una (1) perforación del orden de 5 m de profundidad en la parte alta, se realizo una trinchera adicional (T-6) como parte de la comprobación de campo (ver Plano GE131-PL1-01).

En las perforación se efectuó el ensayo de penetración estándar (SPT) y se recuperaron muestras alteradas con el sistema de cuchara partida; el muestreo se efectuó de manera continua. Al encontrar bloques de roca, se avanzó por el sistema de rotación y lavado mediante el uso de tricono.

En las trincheras se tomaron varias muestras alteradas e inalteradas de suelo en bloque para ensayos de laboratorio.

En el Anexo II se presentan los registros de las perforaciones y trincheras realizados.

3.2. Ensayos de laboratorio

En el laboratorio se efectuaron ensayos de clasificación de suelos y propiedades índice; al igual que ensayos de resistencia al corte. En suelos se programaron ensayos de corte directo, consolidados y fallados a baja tasa de deformación; se tomaron además datos de veleta de laboratorio y penetrómetro de bolsillo.

En el Anexo III se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio realizados.

4. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

El barrio El Paraiso se encuentra localizado sobre un gran cono de deyección que se extiende hacia el occidente hasta la carrera 7, abarcando todo el Parque Nacional (ver Plano GE131-PL1-02). El cono de deyección es un depósito matriz soportado con bloques angulares de areniscas de tamaño que varía desde 0.3 m hasta 1.5 m; la relación entre bloques y matriz es aproximadamente 1:9. Desarrollan pendientes medias a altas que reflejan una compactación alta de la matriz; sin embargo, en condiciones de exposición a las aguas lluvias y los cortes elaborados para el desarrollo de asentamientos estos se inestabilizan con relativa facilidad.

4.1. Geología local

En el talud en estudio, y tal como se puede apreciar en el Plano GE131-PL1-03, se pueden diferenciar tres (3) tipos de materiales: Cono de deyección (Qcd), Material deslizado (Qmd) y un perfil de suelo conformado por material de relleno sobre el cono de deyección (Qr/Qcd).

4.1.1. Material de relleno: Qr/Qcd

Producto del proceso de urbanización los taludes se encuentran cubiertos en la parte superior por materiales de relleno como adecuación para la conformación de patios y la zona de taludes por basuras y escombros de construcción; estos materiales se encuentran en mala disposición, saturados y con baja compactación. En la zona donde se efectuaron las trincheras T_1, T_2 y T_6, las basuras alcanzan espesores de hasta 1.2 m, hacia la zona de la trinchera T_5, no sobrepasan un (1) metro de espesor (ver Fotografía 8).



Fotografía 8: Área de la Trinchera T_1, donde se detectaron depósitos de escombros y basuras de hasta 1.2 m de espesor.

4.1.2. Material deslizado: Qmd

Hacia la parte media y baja del talud se encuentra depositado el material desprendido de la parte superior, mezclando el material de basuras, capa vegetal, gravas y bloques de arenisca y matriz limosa, se encuentra muy saturado y suelto, afectando el drenaje de la vía. En la trinchera T_3, se observó un espesor de hasta 1.3 m (ver Fotografía 9).



Fotografía 9: Material deslizado cubierto por vegetación reciente en la parte baja del talud. Barrio El Paraíso.

4.1.3. Cono de deyección: Qd

Es un depósito matriz soportado con bloques, cantos y gravas de areniscas angulares con espesores mayores de cinco (5) metros que descansa sobre rocas de la formación Bogotá. La compactación de la matriz es media a baja debido a las condiciones

alteradas por el constante vertimiento de aguas lluvias; conforma pendientes altas (ver Fotografía 10).



Fotografía 10: Escarpe en cono de deyección (coluvión). Barrio El Paraíso

4.2. Geomorfología

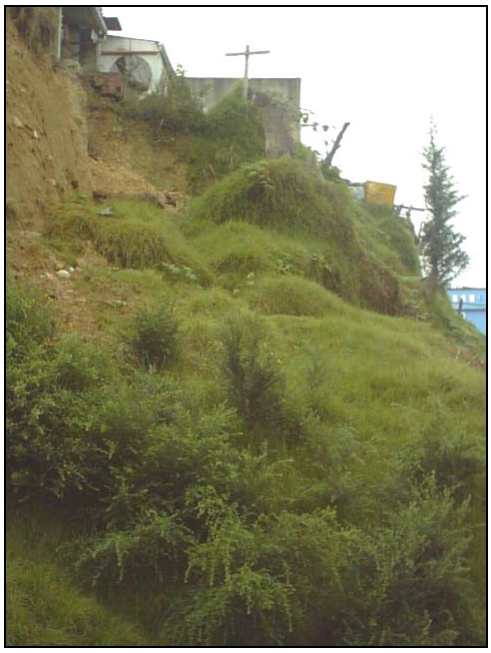
El talud en estudio se encuentra afectado por una serie de movimientos rotacionales de carácter retrogresivo que amenazan con dañar las viviendas localizadas en la parte superior y obstruir la vía localizada en la parte inferior del talud. Como se puede observar en el Plano GE131-PL1-04, se identificaron tres movimientos en la ladera de orientación norte-sur y dos en la ladera de orientación oriente-occidente, a saber:

4.2.1. Ladera norte-sur

Los tres movimientos principales constituyen escarpes de 3,5 m, 2,4 m y 5,5 m, se observan grietas en los patios de las dos viviendas localizadas en la parte superior, que presume una ampliación del movimiento. Es la zona más afectada del talud (ver Fotografía 11), según los habitantes en la zona, el movimiento se origino por la descarga constante de un colector de aguas lluvias de las viviendas.

4.2.2. Ladera oriente occidente

Los escarpes de los dos movimientos principales no sobrepasan el metro de altura y no están generando actualmente problemas sobre la vivienda ubicada en la parte superior (ver Fotografía 12).



Fotografía 11: Ladera norte-sur



Fotografía 12: Ladera oriente-occidente

5. ANÁLISIS GEOTÉCNICOS

5.1. Características geotécnicas del subsuelo

El subsuelo del lote consiste en rellenos y depósitos de ladera del orden de 2 a 3 m de espesor que cubren el sustrato rocoso, consistente en intercalaciones de arenitas y arcillolitas de la formación Guaduas.

Con base en los resultados del programa de exploración, se define el siguiente perfil estratigráfico:

De 0.0 a 1.0 m : Cobertura vegetal ,y rellenos compuestos principalmente por limo orgánico con raíces, muy húmedo. Las siguientes son sus propiedades geotécnicas:

Humedad natural :	Wn = 26 %
Peso unitario :	γ_t = 1,9 ton/m³

A partir de un ensayo de corte directo efectuado sobre éste material, se obtienen los siguientes parámetros de resistencia:

Cohesión	c´= 1,2 ton/m^2
Angulo de fricción interna	ϕ´ = 25,9°

Estos valores fueron comprobados con modelos de retro-análisis, guardando total coherencia.

Mayor a 1.0 m: Depósito de ladera matriz-soportado consistente en arcillas arenosas o viceversa de color amarillo con bloques de arenisca del orden de 0,3 a 1,0 m. La matriz de suelo arcilloso es de consistencia media a firme y su plasticidad es baja-media. Las siguientes son sus propiedades geotécnicas:

Humedad natural :	Wn = 16 al 36 %
Límite líquido :	Wl = 34-36
Límite plástico :	Wp = 17-18
Peso unitario :	γ_t = 2,0 a 2,2 ton/m³
Contenido de Finos	PT200 = 30 al 60 %
Ensayo de Penetración Estándar SPT	N = 6 a 15 golpes/pie

A partir de muestras inalteradas en bloque de un ensayo de corte directo se encontraron los siguientes parámetros de resistencia al corte:

Cohesión	c´= 1,8 ton/m^2
Angulo de fricción interna	ϕ´ = 35,4°

En condiciones de falla (resistencia residual), por retroanálisis se obtienen los siguientes parámetros de resistencia en las zonas de falla (deslizamiento 2):

Cohesión	c´= 0,8 ton/m^2
Angulo de fricción interna	ϕ´ = 31°

5.2. Análisis de estabilidad general

5.2.1. Generalidades

Para el análisis de las condiciones de estabilidad del talud se utilizó el programa P.C. Stable Versión 5, el cual permite analizar las condiciones de estabilidad del talud basados en modelos de equilibrio límite; se analizaron aleatoriomente numerosas superficies de falla circular por el método de Janbú Simplificado, y se determinaron aquellas que definen las condiciones de estabilidad más críticas.

Para los análisis de estabilidad se adoptaron los parámetros de resistencia presentados en la Tabla 4. Con respecto a las condiciones de presiones de poros en el suelo se analizaron dos posibles escenarios:

a) Un primer escenario de suelo totalmente saturado hasta la superficie el cual define condiciones actuales.

b) Un segundo escenario de nivel freático abatido (talud seco).

Tabla 4. Parámetros de resistencia al corte adoptados para los análisis

MATERIAL	PESO UNITARIO TOTAL (ton/m³)	COHESIÓN (ton/m²)	ANGULO DE FRICCION (°)
Rellenos orgánicos	1,9	1,20	25,9
Coluvión inalterado	2,1	1,80	35,4
Coluvión fallado	2,1	0,85	31,0

Para tener en cuenta la influencia de sismo, y teniendo en cuenta que la zona de estudio está emplazada sobre un coluvión de gran magnitud, se acogieron los valores indicados en el Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá, correspondientes a la zona 2 de piedemonte, en el cual se define un coeficiente de aceleración máxima Am =0.30 g, para un periodo de recurrencia de 475 años. Para fines de efectuar un análisis de sensibilidad, y como criterio de diseño de las obras geotécnicas de mitigación, se adoptaron en los modelos la mitad de la aceleración efectiva que equivale a un valor de a=0,15 g; esta aceleración corresponde a un periodo de recurrencia de 100 años aproximadamente.

5.2.2. Análisis de estabilidad actual

Los resultados de los análisis de estabilidad actual se presentan en el Anexo IV del informe y se resumen a continuación.

5.2.2.1. Secciones de análisis

Se seleccionaron tres (3) secciones típicas de análisis, cuya localización en planta se presenta en el Plano GE131-PL1-03, y cuyos esquemas se presentan en la Figura 1.

- Sección 1

La sección 1 del orden de 20 m de longitud representa un perfil típico del costado nor-oriental de la zona de estudio, abarcando la zona correspondiente al deslizamiento 1. La sección parte de la vía de acceso al barrio El Paraíso y se prolonga hasta el predio de la señora Blanca Balboa Sanabria.

Los modelos de falla local representan las condiciones de estabilidad en la zona de rellenos orgánicos o derrubios antiguos.

Los modelos de falla general representan superficies potenciales de falla que se prolongan desde la parte baja hasta la zona de la casa.

- Sección 2

Corresponde a una segunda línea que se localiza en la zona central del deslizamiento 2 y se prolonga desde la parte baja, a la altura de la vía de acceso al barrio y se

prolonga ladera arriba hasta la parte alta del deslizamiento, en predios de la señora Rosa Pulido.

- Sección 3

Se trata de una tercera línea que se localiza en la zona sur de la zona de estudio entre la vía de acceso al barrio y los predios del señor Miguel Pulido.

5.2.2.2. Factores de seguridad

Los análisis de estabilidad indican que la zona baja de los taludes son altamente susceptibles a la falla, ya que corresponden a materiales que han sufrido pérdida de resistencia por deformación.

Las parte alta de los taludes correspondiente a las zonas de las casas presentan condiciones de estabilidad marginal; sin embargo esta condición se considera razonable teniendo en cuenta que regionalmente el Barrio El Paraíso se encuentra emplazado en un cono de deyección (coluvión) de gran espesor, de amenaza geotécnica media.

Tabla 5. Sección 1 Actual – Caso 1: Falla general del coluvión.

Condición de drenaje	Condición Estática	Condición de sismo	
		a_h = 0,15 g	a_h = 0,30 g
N. F. Abatido	1.49	1.17	0.94
Talud saturado	1.12	0.87	0.69

Tabla 6. Sección 1 Actual – Caso 2: Falla local del coluvión.

Condición de drenaje	Condición Estática	Condición de sismo	
		a_h = 0,15 g	a_h = 0,30 g
N. F. Abatido	1.49	1.14	0.91
Talud saturado	1.03	0.78	0.61

Tabla 7. Sección 2 Actual – Caso 1: Falla general del coluvión.

Condición de drenaje	Condición Estática	Condición de sismo	
		a_h = 0,15 g	a_h = 0,30 g
N. F. Abatido	1,74	1,36	1,08
Talud saturado	1,20	0,77	0,61

Tabla 8. Sección 2 Actual – Caso 2: Falla local del coluvión.

Condición de drenaje	Condición estática	Condición de sismo	
		a_h = 0,15 g	a_h = 0,30 g
N. F. Abatido	1,63	1,24	0,97
Talud saturado	1,05	0,76	0,57

Tabla 9. Sección 3 Actual – Caso 1: Falla general del coluvión.

Condición de drenaje	Condición Estática	Condición de sismo	
		a_h = 0,15 g	a_h = 0,30 g
N. F. Abatido	1,66	1,30	1,04
Talud saturado	1,20	0,92	0,72

5.2.3. Condiciones de estabilidad general con obras de mitigación

5.2.3.1. Alternativa 1

Las obras de mitigación previstas en la Alternativa 1 son las siguientes:

- Conformación de un muro de gaviones de 2 a 4 m de altura en la base del talud, con la corona de muro a la cota 2.708 msnm.

- Retiro de los rellenos orgánicos y zonas de falla y reemplazo por una estructura de relleno reforzado con geomallas de alta resistencia. Esta estructura se proyecta entre las cotas 2.707 y 2.712 msnm. Se incluyen obras de drenaje subsuperficial en la base del relleno estabilizado.

- Retiro de rellenos de basuras del costado nor-oriental, y reemplazo por una estructura de relleno reforzado de 2 m de ancho y 4 m de altura.

- Conformación de una estructura de gaviones de 4 m de altura en la zona central .

- Empradización y drenajes superficiales.

- Para esta alternativa es necesario la compra de la vivienda de propiedad de: la señora Blanca Balboa Sanabria Patiño (Diagonal 43 No. 1A-20 Interior 7).

Al incorporar las obras de drenaje y contención se encuentra un incremento importante en las factores de seguridad ante la ocurrencia de fallas locales; con respecto a la ocurrencia de fallas generales se logra una mejora por la incidencia de los drenes subsuperficiales (geodrén planar) instalados en la base del relleno mecánicamente estabilizado. Los análisis indican que con las obras de drenaje y contención previstas el talud puede resistir sismos de intensidad moderada; ante la ocurrencia de sismos de gran magnitud es muy probable la ocurrencia de fallas regionales en el coluvión.

Los planos con la localización de las obras y detalles, se presentan en los Planos GE131-PL1-05 y GE131-PL1-06, respectivamente. Los resultados de los análisis de estabilidad se presentan en el Anexo V y se resumen a continuación.

- Sección 1

Tabla 10. Sección 1 Con obras Alternativa 1 – Caso 1: Falla general por la base del muro.

Condición de drenaje	Condición Estática	Condición de sismo	
		a_h = 0,15 g	a_h = 0,30 g
N. F. Abatido	1,93	1,47	1,16
Talud saturado	1,60	1,16	0,89

Tabla 11. Sección 1 Con obras Alternativa 1 – Caso 2: Falla local por la corona del muro.

Condición de drenaje	Condición Estática	Condición de sismo	
		a_h = 0,15 g	a_h = 0,30 g
N. F. Abatido	2,04	1,56	1,23
Talud saturado	1,89	1,38	1,06

Tabla 12. Sección 1 Con obras Alternativa 1 – Caso 1: Falla local por la berma intermedia.

Condición de drenaje	Condición Estática	Condición de sismo	
		a_h = 0,15 g	a_h = 0,30 g
N. F. Abatido	2,13	1,69	1,37
Talud saturado	2,13	1,69	1,37

La condición transitoria de excavación en condición de saturación (sin sismo), presenta un factor de seguridad de 1,32.

- Sección 2

Tabla 13. Sección 2 Con obras Alternativa 1 – Caso 1: Falla general por la base del muro.

Condición de drenaje	Condición Estática	Condición de sismo	
		a_h = 0,15 g	a_h = 0,30 g
N. F. Abatido	1,98	1,55	1,24
Talud saturado	1,57	1,16	0,90

Tabla 14. Sección 2 Con obras Alternativa 1 – Caso 2: Falla local por la corona del muro.

Condición de drenaje	Condición Estática	Condición de sismo	
		a_h = 0,15 g	a_h = 0,30 g
N. F. Abatido	1,64	1,33	1,08
Talud saturado	1,64	1,33	1,08

Tabla 15. Sección 2 Con obras Alternativa 1 – Caso 1: Falla local por la berma intermedia.

Condición de drenaje	Condición Estática	Condición de sismo	
		a_h = 0,15 g	a_h = 0,30 g
N. F. Abatido	1,73	1,43	1,18
Talud saturado	1,73	1,43	1,18

La condición transitoria de excavación en condición de saturación (sin sismo), presenta un factor de seguridad de 1,25.

- Sección 3

Tabla 16. Sección 3 Con obras Alternativa 1 – Caso 1: Falla local por la berma intermedia.

Condición de drenaje	Condición Estática	Condición de sismo	
		a_h = 0,15 g	a_h = 0,30 g
N. F. Abatido	1,66	1,30	1,04
Talud saturado	1,63	1,27	1,01

5.2.3.2. Alternativa 2

Las obras de mitigación previstas son las siguientes:

~ Conformación de un muro de gaviones de 2 a 4 m de altura en la base del talud, con la corona de muro a la cota 2.708 msnm.

~ Retiro de los rellenos orgánicos y zonas de falla y reemplazo por una estructura de relleno reforzado con geomallas de alta resistencia. Esta estructura se proyecta entre las cotas 2.707 y 2.712 msnm. Se incluyen obras de drenaje subsuperficial en la base del relleno estabilizado.

~ Conformación de la parte superior del talud con inclinación 1.5H: 1.0V, con una berma intermedia de 3 m en la cota 2712 msnm.

~ Empradización y drenajes superficiales (cunetas). La parte superior requiere un sistema de cespedon para la empradización.

~ Para esta alternativa es necesario la compra de tres (3) viviendas localizadas en la parte superior del talud y de propiedad de: la señora Blanca Balboa Sanabria (Diagonal 43 No. 1A-20 Interior 7) y de la señora Rosa Amparo Pulido (Diagonal 43 No. 1A-20 Interior 3).

Los planos con la localización de las obras y detalles, se presentan en los Planos GE131-PL1-07 y GE131-PL1-08, respectivamente. Los resultados de los análisis de estabilidad se presentan en el Anexo V y se resumen a continuación.

Tabla 17. Sección 1 Con obras Alternativa 2 – Caso 1: Falla general por la base del muro.

Condición de drenaje	Condición Estática	Condición de sismo	
		a_h = 0,15 g	a_h = 0,30 g
N. F. Abatido	2,22	1,63	1,26
Talud saturado	1,52	1,12	0,87

Tabla 18. Sección 1 Con obras Alternativa 2 – Caso 2: Falla local por la corona del muro.

Condición de drenaje	Condición Estática	Condición de sismo	
		a_h = 0,15 g	a_h = 0,30 g
N. F. Abatido	2,33	1,71	1,32
Talud saturado	1,69	1,21	0,92

Tabla 19. Sección 1 Con obras Alternativa 2 – Caso 1: Falla local por la berma intermedia.

Condición de drenaje	Condición Estática	Condición de sismo	
		a_h = 0,15 g	a_h = 0,30 g
N. F. Abatido	2,46	1,87	1,46
Talud saturado	1,66	1,24	0,96

5.3. Diseños de obras propuestas

5.3.1. Diseño de muro mecánicamente estabilizado

El diseño consiste en el refuerzo del cuerpo del talud mediante relleno granular seleccionado compactado y reforzado con tiras de geomalla uniaxial de alta resistencia.

Otra gran ventaja de este sistema de geomallas consiste en su gran durabilidad química y mecánica, mayor resistencia a daños por instalación y protección contra degradación por rayos ultravioleta.

No sobra mencionar otras ventajas, tales como su costo razonable, el requerimiento de mano de obra NO especializada y su alto rendimiento de construcción teniendo en cuenta que los espesores de capas son altos comparados con estructuras de tierra reforzada con geotextiles convencionales.

5.3.1.1. Estabilidad interna

Para los análisis de estabilidad interna del sistema de relleno reforzado, se determinaron los esfuerzos laterales que se generan en cada una de las capas de refuerzo con geomallas, debidos a la presión lateral ejercida por el relleno y la influencia de cargas externas. A partir de estas cargas se estimaron las condiciones de estabilidad del sistema ante arrancamiento y por adherencia en la interfase relleno-geomalla.

Para el diseño por arrancamiento, la tensión de rotura fue afectada por un factor de seguridad que incluye la influencia por daños de instalación, degradación química, degradación biológica, creep y por problemas en las juntas.

Para el diseño por cargas de adherencia se tuvo en cuenta la fricción relativa que se genera en la interfase geomalla-relleno, incluyendo un factor de adherencia de 0.5.

El diseño final de refuerzo se optimizó dejando coberturas de geomallas del 100%, dependiendo de las cargas laterales transmitidas al sistema en condición de sismo, manteniendo siempre niveles de carga por debajo de la capacidad límite de seguridad por arrancamiento.

En el Anexo V, se presentan las memorias de cálculo con los análisis de estabilidad.

5.3.1.2. Análisis por volcamiento y deslizamiento

Siguiendo los principios básicos de los muros de gravedad se determinaron los factores de seguridad por deslizamiento y volcamiento en condición de sismo obteniendo los siguientes resultados:

FS deslizamiento > 4
FS volcamiento > 8

5.3.1.3. Análisis por capacidad portante

El muro quedará emplazado sobre cuerpos de gaviones lo cual aporta condiciones de estabilidad adecuados.

La capacidad portante del suelo de fundación se efectuó por el método de Hansen y Vesic, teniendo en cuenta efectos de excentricidad, inclinación de cargas e inclinación del terreno; con base en estas condiciones se obtuvo una capacidad portante última al nivel de fundación del muro 34 ton/m², y teniendo en cuenta que las presiones máximas son del orden de 20 ton/m², se obtiene un factor de seguridad FS=1,6.

5.3.1.4. Análisis de estabilidad externa

Con el fin de determinar las condiciones de estabilidad externa del sistema, se efectuaron los análisis de estabilidad de taludes, mediante el método de Janbú, simplificado y con la ayuda del programa PC Stable y Slide; los resultados de estos análisis fueron presentados en el numeral 5.2.3.

5.3.2. Obras de drenaje superficial

En el Anexo V se presentan las memorias de cálculo de las obras de drenaje superficial recomendadas.

6. CANTIDADES DE OBRA, PRESUPUESTO Y ESPECIFICACIONES

En el Anexo VI se presentan el cálculo de las cantidades de obra, los precios unitarios y el presupuesto estimado de las obras de estabilización propuestas (para cada una de las alternativas), que en resumen son:

Tabla 20. Presupuesto estimado de las alternativas planteadas

Alternativa	Valor
Alternativa 1	$ 169’054.529
Alternativa 2	$ 173’479.666

Adicional al presupuesto de la obra se requieren las siguientes intervenciones para cada una de las alternativas.

Tabla 21. Valores adicionales de las alternativas planteadas

Item	Alternativa	Valor
Interventoría de Obra	Alternativa 1	$ 25’500.000
Compra de predio (cantidad 1)	Alternativa 1	$ 35’000.000
Interventoría de Obra	Alternativa 2	$ 26’000.000
Compra de predio (cantidad 2)	Alternativa 2	$ 70’000.000

El valor total de la alternativa 1 es del orden de $ 229’554.529 y de la alternativa 2 es del orden de $269’479.666.

En el Anexo VII se presentan las especificaciones técnicas de construcción.

7. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA

Las medidas de mitigación del riesgo planteadas en este estudio, están concebidas para disminuir la probabilidad de ocurrencia del evento (disminución de la amenaza), aunque indirectamente se disminuye la vulnerabilidad debido a que, por razones constructivas, es necesaria la evacuación de una o dos casas, según la alternativa.

Para la valoración de la amenaza con obras, y siguiendo un planteamientos similar al descrito en el numeral 1.3, aunque con una incertidumbre menor en la evaluación de la amenaza, ya que se utilizan los valores de factores de seguridad obtenidos, cuantificando la amenaza según la Tabla 22.

Tabla 22. Categorización de la amenaza cuantitativa

CATEGORÍA DE LA AMENAZA	NIVEL
Muy alta	Factor de seguridad estático menor a 0.9, y/o FS con sismo menor a 0.9
Alta	Factor de seguridad estático mayor a 0.9 y menor a 1.3, y/o FS con sismo menor a 1.0
Media	Factor de seguridad estático mayor a 1.3 y menor a 1.6, y FS con sismo mayor a 1.0.
Baja	Factor de seguridad estático mayor a 1.6 y menor a 1.9, y FS con sismo mayor a 1.0.
Muy baja	Factor de seguridad estático mayor a 1.9, y FS con sismo mayor a 1.0.

Teniendo en cuenta la tabla anterior, se considera que con las obras implementadas la amenaza por deslizamiento es BAJO, y dado que la vulnerabilidad se puede calificar como MARGINAL (según categorización presentada en el numeral 0), ya que los elementos en riesgo de la parte alta (viviendas) fueron retirados, el riesgo para cada una de las alternativas planteadas se puede calificar como ACEPTABLE (según matriz de aceptabilidad del riesgo presentado en la Tabla 2).

Debido a que las dos alternativas son igualmente viables y a que el valor es similar para ambas, la selección de la alternativa se realizó mediante la presentación a los funcionarios del DPAE, y en forma conjunta con la Interventoría y el Consorcio, se seleccionó como alternativa de solución la denominada Alternativa No. 2.

8. PROCESO CONSTRUCTIVO

El proceso constructivo de la alternativa seleccionada (Alternativa No. 2), se presenta junto con el cronograma de ejecución y el cuadro de cantidades en el Anexo IX.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

Con base en los resultados de reconocimiento geológico y geotécnico de la zona se concluye que el barrio El Paraíso está emplazado en la parte alta de un cono de deyección (coluvión) de gran espesor con condiciones de estabilidad moderadas.

Con base en los antecedentes y la evolución del problema, se concluye que en el sector de estudio se han presentado fallas de talud de profundidad baja a moderada, las cuales están en riesgo de comprometer unas 3 casas localizadas en la parte alta del talud, ante una eventual regresión de las fallas actuales.

Como resultado de este estudio se ratifica que la causa de los problemas de estabilidad de estos taludes se deben a la filtración de aguas lluvias en el coluvión, los cuales generan pérdida gradual de resistencia de las capas superficiales de coluvión, que degeneran en fallas rotacionales de poca profundidad.

La zona donde están emplazadas las casas presentan un grado de amenaza media a alta por deslizamiento, debido a la naturaleza propia del depósito de ladera el cual está constituido predominantemente por arcillas arenosas de resistencia media a baja. Esta zona puede ser susceptible a fallas regionales que se pueden detonar ante la ocurrencia de sismos de moderada intensidad tal como se refleja en la zona de ladera baja al otro lado de la vía; dado que el problema en estudio es de carácter local, no es aplicable la ejecución de obras de contención de mayor especificación tales como pantallas entre otras, ya que existe la probabilidad de fallas profundas que no serían controladas de manera eficiente con este tipo de estructuras.

Con base en la exploración y el reconocimiento de campo, se encontró que el deslizamiento 1 es de poca profundidad del orden de 1 a 2 m de espesor y afecta capas de rellenos predominantemente orgánicos; el deslizamiento 2 de la zona central puede alcanzar los 4 m de espesor y abarca una parte del depósito de ladera arcilloarenoso. Las fallas se produjeron por saturación y perdida de resistencia de los materiales por deformación.

Como obras geotécnicas de mitigación se propusieron dos alternativas, que en forma general, están conformadas por lo siguiente:

- Conformación de un muro de gaviones de 2 a 4 m de altura en la base del talud, con la corona de muro a la cota 2.708 msnm; este muro se prolonga por el borde oriental de la vía, desde el costado sur hasta el nor-oriente.

- Retiro de los rellenos orgánicos y zonas de falla y reemplazo por una estructura de relleno reforzado con geomallas de alta resistencia tipo Tenax TT060. Esta estructura se proyecta entre las cotas 2.707 y 2.717 msnm. Se incluyen obras de drenaje subsuperficial en la base del relleno estabilizado.

- Retiro de rellenos de basuras del costado nor-oriental, y reemplazo por una estructura de relleno reforzado de 2 m de ancho y 4 m de altura.

- Empradización y drenajes superficiales.

Para la Alternativa 1, es necesario comprar un predio (Interior 7), mientras que para la Alternativa 2, es necesario comprar 2 predios (interior 7 e interior 2). Las fichas prediales de los posibles lotes a comprar se presentan en el Anexo VIII. De acuerdo con conversaciones sostenidas con funcionarios de DPAE la alternativa seleccionada es la No. 2 que tiene un costo de $269’479.666.

Con estas obras se pretende mejorar las condiciones de estabilidad local de los taludes y generar una protección de la masa de coluvión con un manejo adecuado de las aguas de superficie y profunda y por el confinamiento lateral que ejercen las estructuras proyectadas contra el suelo natural.

10.LIMITACIONES

Las conclusiones y recomendaciones realizadas en el presente informe se basan en los resultados de los trabajos de investigación del subsuelo realizados por el Consorcio durante la elaboración de los trabajos; si durante la construcción de las obras se llegaren a presentar condiciones diferentes del subsuelo diferentes a las típicas planteadas en el presente trabajo, se deberá dar aviso al Consorcio para llevar a cabo las aclaraciones o ampliaciones del caso.

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIA DE BOGOTÁ FOPAE

ELABORACIÓN DE DISEÑOS DE OBRAS, PRESUPUESTOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS EN SITIOS DE RIESGO INMINENTE POR REMOCIÓN EN MASA EN LAS LOCALIDADES DE CHAPINERO, SANTAFÉ, SAN CRISTÓBAL Y RAFAEL URIBE DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.

Contrato de Consultoría No. 453 de 2005

CONSORCIO PI - LAMBDA
Informe Sitio No. 1
Barrio El Paraíso
Trabajo No. 131-A

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 1

1.1. Generalidades 1
1.2. Descripción del problema 2
1.2.1. Diagnóstico técnico No. DI-553 2
1.2.2. Situación actual 2
1.3. Diagnóstico de amenaza y riesgo actual 5
1.3.1. Evaluación cualitativa de la amenaza 5
1.3.2. Evaluación de la vulnerabilidad 6
1.3.3. Determinación del riesgo 6

2. TOPOGRAFÍA 7

2.1. Generalidades 7
2.2. Descripción de actividades 7

3. INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO 8

3.1. Exploración del subsuelo 8
3.2. Ensayos de laboratorio 9

4. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA 9

4.1. Geología local 9
4.1.1. Material de relleno: Qr/Qcd 9
4.1.2. Material deslizado: Qmd 10
4.1.3. Cono de deyección: Qd 10
4.2. Geomorfología 11

4.2.1. Ladera norte-sur 11
4.2.2. Ladera oriente occidente 11

5. ANÁLISIS GEOTÉCNICOS 12

5.1. Características geotécnicas del subsuelo 12
5.2. Análisis de estabilidad general 13
5.2.1. Generalidades 13
5.2.2. Análisis de estabilidad actual 14
5.2.3. Condiciones de estabilidad general con obras de mitigación 16
5.3. Diseños de obras propuestas 19
5.3.1. Diseño de muro mecánicamente estabilizado 19
5.3.2. Obras de drenaje superficial 20

6. CANTIDADES DE OBRA, PRESUPUESTO Y ESPECIFICACIONES 20

7. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA 21

8. PROCESO CONSTRUCTIVO 22

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES 22

10. LIMITACIONES 23

ANEXOS

Anexo I. Topografía.
Anexo II. Exploración del subsuelo.
Anexo III. Ensayos de laboratorio.
Anexo IV. Análisis de estabilidad actual.
Anexo V. Diseño de obras de mitigación.
Anexo VI. Cantidades de obra y presupuestos.
Anexo VII. Especificaciones de construcción.
Anexo VIII. Fichas prediales (lotes afectados).
Anexo IX. Cronograma de ejecución y cuadro de cantidades de obra.

PLANOS

GE131-PL1-01 Levantamiento topográfico y exploración del subsuelo.
GE131-PL1-02 Geología regional.
GE131-PL1-03 Geología local.
GE131-PL1-04 Geomorfología.
GE131-PL1-05 Obras propuestas – Alternativa 1.
GE131-PL1-06 Cortes y detalles – Alternativa 1.
GE131-PL1-07 Obras propuestas – Alternativa 2.
GE131-PL1-08 Cortes y detalles – Alternativa 2.