Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C.

FOPAE

Fondo de Prevención y Atención de Emergencias

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE CONTROL, PROTECCIÓN Y ESTABILIZACIÓN EN EL BARRIO EL TRIUNFO SUR, LOCALIDAD DE RAFAEL URIBE URIBE, DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.

(CONTRATO CONS-098/02)

INFORME EJECUTIVO

(Original)

INGEMETRICA LTDA.
Ingenieros Consultores

Bogotá, D.C., Agosto de 2002

CONTENIDO

Pág.

1. INTRODUCCIÓN 2
2. GENERALIDADES 3
2.1. LOCALIZACIÓN 3
2.2. ANTECEDENTES 3
2.3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 6
2.4. PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DEL ESTUDIO 7
3. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA, GEOMORFOLÓGICA, HIDROGEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA 8
4. ANÁLISIS GEOTÉCNICO 9
5. EVALUACIÓN DE AMENAZA 11
6. EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD 12
7. EVALUACIÓN DE RIESGO 12
8. EVALUACIÓN DE MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN Y PROTECCIÓN 15
9. DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN 18
9.1 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO 19
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 22

1. INTRODUCCIÓN

En virtud de los problemas de inestabilidad que se presentan en un talud del Barrio El Triunfo Sur, la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias (DPAE) de la Alcaldía de Bogotá encomendó a INGEMETRICA LTDA, mediante contrato CONS-098/02, suscrito el 21 de marzo de 2002, la realización del estudio de riesgos por remoción en masa y diseños detallados de las obras de control, protección y estabilización del área inestable.

El objetivo general del presente estudio es definir las medidas y diseños de obras necesarias para disminuir al mínimo o eliminar el riesgo para la población por fenómenos de remoción en masa en el talud en mención. Para cumplir con el objetivo propuesto el consultor y la DPAE han concertado los siguientes alcances, que marcarán las etapas o fases del estudio:

1. Recopilación y análisis de la información disponible.
2. Caracterizar la zona desde el punto de vista geológico y geotécnico e identificar los diferentes procesos de inestabilidad y mecanismos de falla que se presenten en la zona, así como también sus agentes detonantes.
3. Evaluar el nivel de riesgo por fenómenos de remoción en masa para las viviendas del sector.
4. Determinar y evaluar las diferentes alternativas de mitigación, entre ellas la de reubicación de familias, aplicación de obras de protección y/o control y aprovechamiento de espacio para crear zonas verdes y de recreación.
5. Diseñar y establecer las cantidades de obra, presupuesto y especificaciones técnicas de la alternativa de mitigación más favorable para el sector desde el punto de vista técnico, económico y social.

Metodológicamente, el alcance se logró efectuando en primer término la recolección de la información secundaria existente en archivos de DPAE, IGAC, EAAB e INGEMETRICA LTDA, luego trabajos de campo que incluyeron levantamiento topográfico detallado, toma de datos geológicos y geotécnicos, inventario de procesos y elementos vulnerables de infraestructura, exploración del subsuelo por medio de sondeos y apiques, ensayos de campo y de laboratorio. Por último, se realizó el análisis teórico para evaluar estabilidad de taludes, amenaza, vulnerabilidad, riesgo y alternativas de mitigación.

El informe se concluye con el diseño de obras para la alternativa seleccionada, el cual consiste en estabilización del talud con pernos, lo mismo que protección con malla eslabonada y vegetación, además de obras de manejo de aguas de escorrentía y adecuación de una vía peatonal de acceso a la Diagonal 32G Sur. Para la implementación de obras es necesaria la reubicación de dos (2) viviendas, ubicadas al pie del talud tres (3) tugurios de la parte alta que invaden la Diagonal 32G Sur.

2. GENERALIDADES

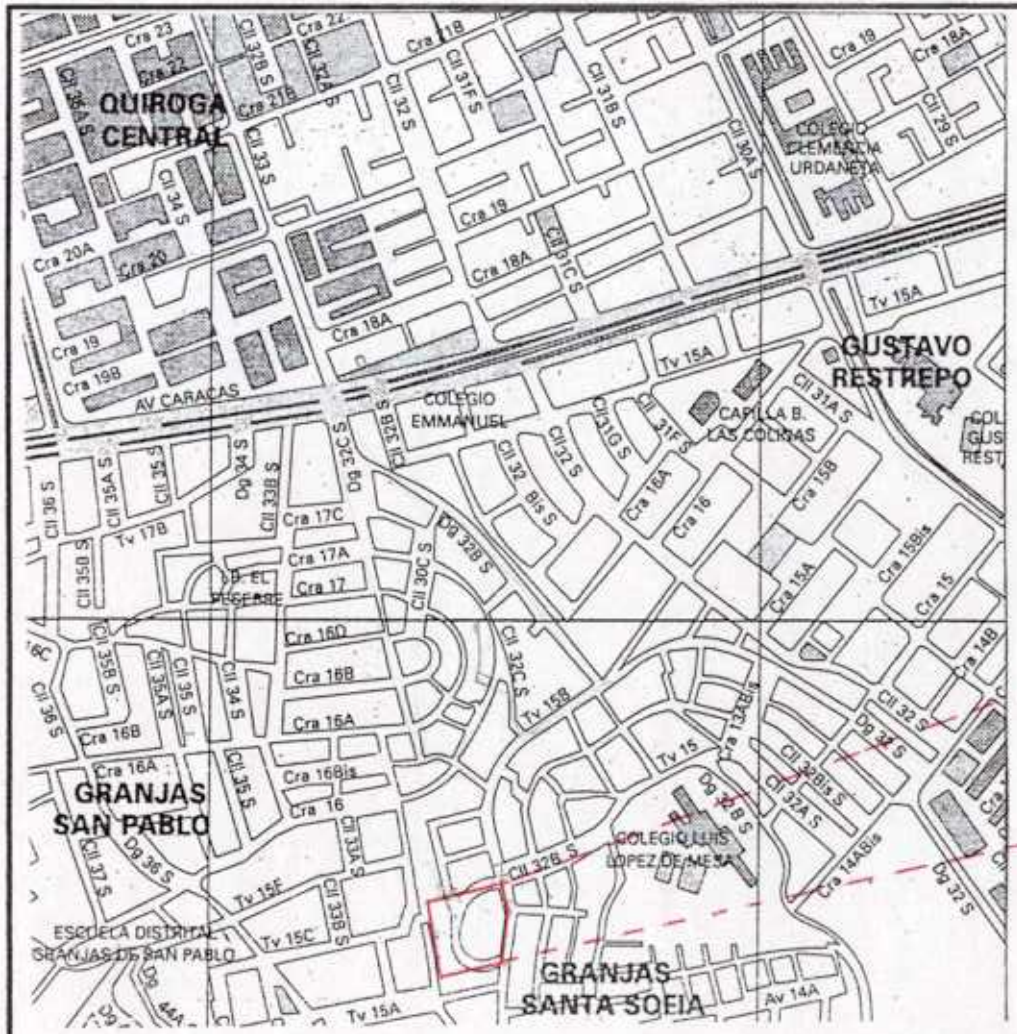
2.1. LOCALIZACIÓN

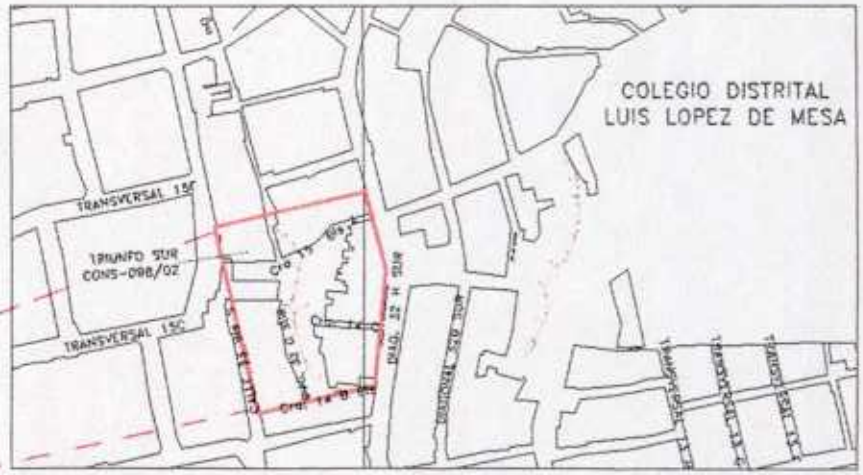
El área de estudio se ubica en inmediaciones del barrio El Triunfo Sur, en el espacio comprendido entre: carrera 14B Bis y carrera 15 Bis A; la Calle 33 Bis Sur, diagonal 32G Sur y diagonal 32H Sur. La ubicación de la zona con sus accesos se presenta en la Figura 2.1. y la Foto 2.1, donde se puede observar el escarpe problema y sus alrededores. El barrio se encuentra localizado a unos 500 metros al oriente de la Avenida Caracas, subiendo por la calle 32Sur y Diagonal 32H Sur, a partir de la cual se llega al lugar por los accesos peatonales, transitando por escaleras.

El asentamiento urbano en la parte baja ha sido levantado sobre una antigua plataforma de explotación de materiales de construcción y la parte superior sobre la media ladera de la colina, localizada hacia arriba del escarpe dejado por la cantera.

2.2. ANTECEDENTES

Anteriormente (años 1940 -1980) en el área de estudio existía una cantera, donde se extraía arena. La urbanización de la cantera y sus alrededores se inició en la década de las ochenta y hasta llegar a la actualidad cuando se ha culminado.





FUENTE: COMBISER. PLANCHETA No. 66

DIRECCION DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS	INGEMETRICA LTDA. Ingenieros Consultores	CONTIENE: LOCALIZACIÓN GENERAL AREA DE ESTUDIO	PROYECTO: ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE CONTROL PROTECCION Y ESTABILIZACION BARRIO EL TRIUNFO SUR
		FECHA: ABRIL DE 2002	FIGURA N°: 2.1.

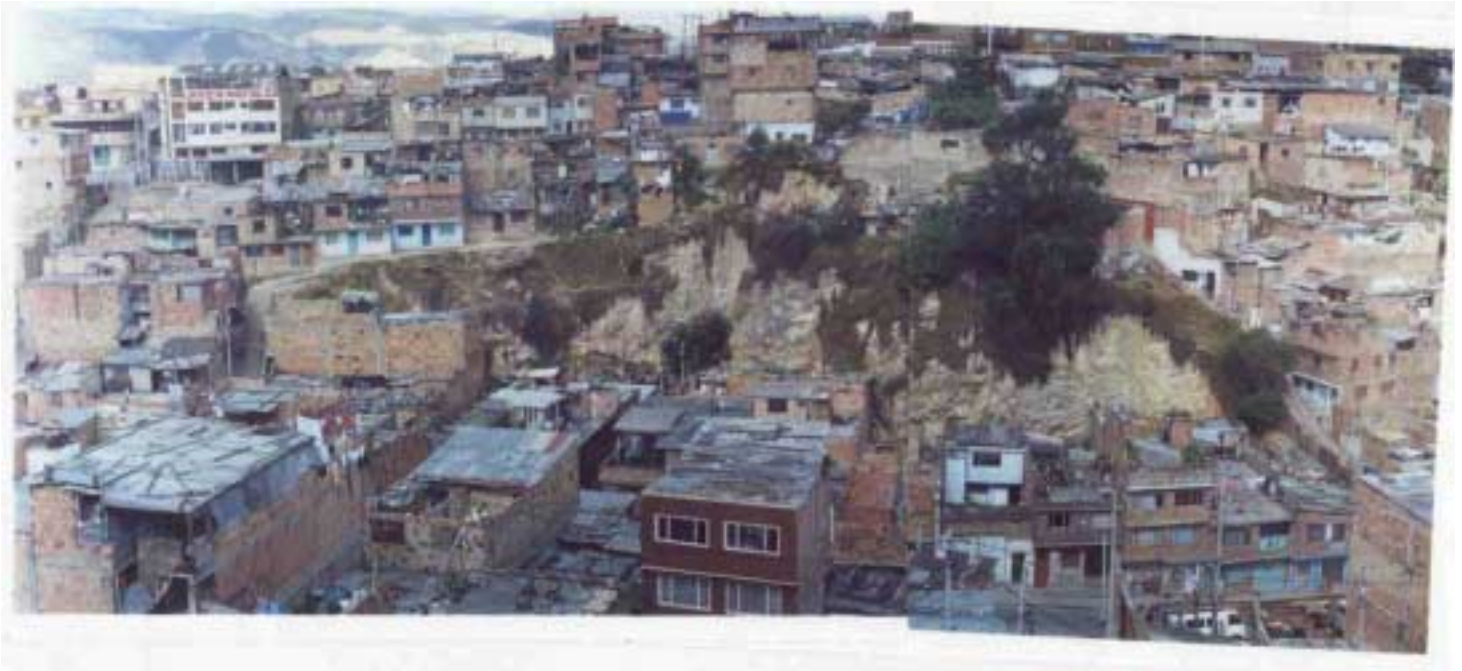


Foto 2.1. Vista frontal sobre el talud a estudiar, Barrio Triunfo Sur, entre Carreras 14B BIS y 14C, entre las Diagonales 32G Sur y 32H Sur. (19 de marzo 2002)

Los habitantes del barrio cuentan que hace unos 8 años en la parte norte del talud se había caído un bloque sobre el techo de la cocina de una vivienda ubicada cerca del escarpe y lastimosamente en estos hechos falleció una anciana. También se informa que se han presentado varios derrumbes de "tierra"con mayor intensidad en la parte central del talud frente a la carrera 14C y en la parte sur a la altura de la carrera 14B Bis.

2.3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Las problemas de inestabilidad del talud tienen los siguientes ingredientes:

- El problema de caída de bloques se origina en la presencia de fracturas que conforman cuñas inestables. Dicho fenómeno geodinámico que se produce en la superficie del talud, esta detonado por los agentes atmosféricos, principalmente la lluvia, la cual en forma de gotas y escorrentía ejercen poder de meteorización en la roca y deterioro de los taludes en suelo. Si a esto se le agrega el factor antrópico, que se manifiesta en vertimiento de aguas servidas sobre y dentro del talud, sumado a la indisciplina de la gente al botar basura indiscriminadamente, el panorama que se presenta es el apropiado para que ocurran inestabilidades del terreno. Las aguas infiltradas en las grietas naturales u ocasionadas por relajamiento del terreno actúan sobre las paredes y relleno de las diaclasas, disminuyendo su resistencia al corte, y generando presiones hidrostáticas.

- La inestabilidad de rellenos de basura en la parte superior del talud se debe principalmente a sus bajas propiedades mecánicas y a la alta inclinación de los taludes. Este problema es detonado por el mal manejo de aguas lluvias y una continua depositación de la basura sobre el talud.

- El problema de asentamiento de la vivienda prefabricada ha sido originado por causas netamente antrópicas, es decir: una fundación precaria, sobre un relleno mal compactado, con una placa de concreto de bajas características y espesor insuficiente. Como hemos mencionado anteriormente, este fenómeno se encuentra detonado también por el mal manejo de aguas lluvias y fugas del sistema de conducción de acueducto y alcantarillado.

- El cuarto problema, tiene su origen en la invasión de la Diagonal 32G y el borde del talud del sector norte de la antigua cantera. Este hecho contribuye

al problema de caídas de bloques, genera problema urbanístico y de manejo de emergencias al mismo tiempo, pues además de crear instabilidad interrumpe vías de acceso o evacuación.

- El quinto problema es eminentemente social y está constituido por una vivienda al pie del talud (Carrera 14C No 32F-36Sur). Además de ser afectada por fenómenos de caída de bloques y deslizamientos en rellenos de la parte alta, en esta vivienda se realiza actividad de reciclaje de basura, lo que produce malos olores en la vecindad y proliferación de roedores, etc.

2.4. PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DEL ESTUDIO

Mediante la recopilación y análisis de la información disponible en diferentes entidades, que comprende: cartografía, planchas geológicas, fotografías aéreas, registros pluviométricos, estudios geotécnicos anteriores hechos en la zona, normas de Planeación Distrital y EAAB se obtiene un historial sobre la evolución del área, el cual sirvió de base para programar la exploración requerida.

Los trabajos de exploración de campo comprendieron:

- Inventario de viviendas afectadas y que potencialmente podrían sufrir alguna afectación por la inestabilidad o por la ejecución de las obras, considerando las redes de servicios públicos. Para esto se procederá a visitar las casas y consignar la información en formatos especiales elaborados para tal fin, evaluando a la vez las redes de servicios públicos.

- Levantamiento topográfico del área problema y sus vecindades. Se levantan las casas más próximas y todo el terreno, tomando detalles suficientes para elaborar el plano con curvas de nivel cada metro. Se levantan también los pozos de alcantarillado más próximos y las redes de servicios visible, lo mismo que la cresta, la pata y demás detalles que permitan visualizar bien el área. Se ubicarán perforaciones y otros sitios de investigación geológica y geotécnica.

- Exploración geológica. Comprende este trabajo el reconocimiento del lugar, haciendo el levantamiento geológico que permita conocer la litología, fracturamiento, rasgos estructurales, grado de alteración de la roca, depósitos no consolidados y demás detalles de utilidad para crear el modelo geológico local.

- Exploración del subsuelo. Comprende este trabajo el reconocimiento subsuperficial del terreno, buscando conocer la estructura del lugar para diferenciar los depósitos no consolidados y su relación con la roca madre. Para tal efecto se usarán las técnicas más comunes y sencillas, las cuales comprenden:

- Apiques en suelo con profundidades variables, dependiendo de los niveles de roca que se capten.
- Perfiles y Sondeos geoeléctricos en forma de perfilados para conocer profundidades de suelos a lo largo de líneas subhorizontales de 20 a 30 m de longitud.
- Allí donde los sondeos geoeléctricos y los apiques no proporcionen la información suficiente sobre espesores de suelos, se procede a perforar sondeos manuales para aclarar la situación.

Con la información de campo y los ensayos realizados se procede a realizar los análisis para encontrar las causas de la inestabilidad y las consecuencias que se derivan de la situación actual. De acuerdo con esto se realizan las evaluaciones de amenaza., vulnerabilidad y riesgo.

Una vez calculados los factores de seguridad y las probabilidades de falla se realiza la comparación de las diferentes soluciones para seleccionar la alternativa óptima, es decir, aquella que sea solución apropiada para el problema y tenga los menores costos, considerando facilidades constructivas y plazos.

Seleccionada la solución mas apropiada discutida con DPAE y la Interventoría, se hace el diseño detallado con su presupuesto, cronograma de construcción y especificaciones técnicas.

3. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA, GEOMORFOLÓGICA, HIDROGEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA

El objetivo específico de la caracterización geológica, geomorfológica y geotécnica del área consiste en elaborar un modelo gráfico - analítico del subsuelo, entendido como un sistema de elementos interrelacionados, que permitirá evaluar la estabilidad del terreno.

Las unidades geológicas presentes en el área de estudio, geoformas y características geotécnicas de los sectores homogéneos definidos mediante zonificación del terreno se presentan el cuadro 3.1, donde se puede observar que el conjunto de características litológicas y estructurales del área de estudio han permitido consolidar su división en tres regiones. Las dos primeras regiones diferenciadas por su ambiente de sedimentación y disposición estructural, esculpen los costados sur (Bloque 1) y norte (Bloque 3) del escarpe de explotación. Los anteriores regiones están separadas por una franja altamente fracturada, acuñada entre dos trazas de falla, denominada zona de falla o Bloque 2.

4. ANÁLISIS GEOTÉCNICO

Los análisis geotécnicos tienen como objetivo evaluar el grado de inestabilidad de los terrenos estudiados y servir de base para la valoración de amenaza, vulnerabilidad y riesgo que existe en el área para justificar técnicamente las medidas a tomar.

Los análisis de estabilidad del terreno se realizaron sobre los perfiles geotécnicos establecidos para una de las zonas homogéneas. Dependiendo del tipo de material involucrado se definió el tipo de falla que se podría presentar, encontrándose dos posibilidades: caída de bloques en taludes en roca y deslizamientos en taludes de suelo.

En cada una de las zonas el cálculo de taludes en roca arrojó los siguientes resultados:

ZONA	Estabilidad Actual	
	Cargas Estáticas	Cargas Dinámicas
	FS	FS
Bloque I (Sur)		1.40
Bloque II (Central)	1.09	0.80
Bloque III (Norte) Principal	1.11	0.81
Bloque III- a –1 (Norte) Secundario	1.91	1.50

Cuadro 3.1 Caracterización de sectores homogéneos

BLOQUE	GEOFORMA	PENDIENTE	CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS		CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA	PROPIEDADES			RESPUESTA SÍSMICA	
			UNIDAD	DESCRIPCIÓN		FÍSICAS	HÍDRICAS	MECÁNICAS	GRUPO	Fa
I	A-1	5 - 10	Qra	Recebo granular apisonado	3				C	1,2-1,8
	A-2	20 - 40	Qra	Suelo orgánico con basura	5	γ = 2.1 T/m^3	w = 13.9 - 29.5%	ϕ = 33º c = 0.23 Kg/cm^2	E	2,6-3,0
	D-1	5 - 10	Tpr	Areniscas	1	γ = 2.3 T/m^3 n = 7.4%		ϕ = 36º c = 0.38 Kg/cm^2 Is = 1.07 Kg/cm^2	A	0,1-0,8
	D-2	70 - 80	Tpr	Areniscas	1				A	0,1-0,9
		80 - 90	Tpr-a	Arcilla de color rojo,consistencia dura	4				B	
II	A-1	5 - 10	Qra	Recebo granular apisonado	3				C	1,2-1,8
	A-2	15 - 50	Qra	Suelo orgánico con basura	5		w = 9.5%		E	2,6-3,0
	D-1	5 - 10	Tpr-a	Areniscas alteradas y fracturadas	2	γ = 2.4 T/m^3 n = 4.3%		ϕ = 38º c = 0.37 Kg/cm^2	B	0,7-1,1
	D-2	80 - 90	Tpr-a	Areniscas alteradas y fracturadas	2				B	0,7-1,2
III	A-1	5 - 10	Qra	Recebo granular apisonado	3				C	1,2-1,8
	A-2	25 - 35	Qra	Suelo orgánico con basura	5				E	2,6-3,0
	D-1	5 - 10	Tpr-a	Areniscas alteradas y fracturadas	2	γ = 2.3 T/m^3 n = 6.2%		ϕ = 37º c = 0.20 Kg/cm^2 Is = 5.91 Kg/cm^2	B	0,7-1,2
	D-2	70 - 80	Tpr-a	Areniscas alteradas y fracturadas, freables	2				B	0,7-1,2
		80 - 90	Tpr	Intercalaciones de Arcillolita y Arenisca, duras y sanas	1				A	0,1-0,8

5. EVALUACIÓN DE AMENAZA

La evaluación y la zonificación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa tienen como objetivo proporcionar una herramienta básica para la toma de decisiones sobre la necesidad de medidas de control, protección y estabilización, y las inversiones a realizarse en el área estudiada.

Utilizando la ecuación de correlación de Susceptibilidad con la Probabilidad de falla, se realizó el cálculo de amenaza a partir de los valores de susceptibilidad calculados para cada uno de los sectores homogéneos del área estudiada, obteniéndose los valores presentados en el Cuadro 5.1.

Cuadro 5.1 Caracterización de áreas homogéneas por Susceptibilidad y Amenaza al desarrollo de los FMR. Barrio Triunfo Sur.

PROCESO	DESLIZAMIENTOS				CAÍDA DE BLOQUES			
SECTOR	Rango Susceptibilidad		Amenaza		Rango Susceptibilidad		Amenaza	
I-A-1-ra_1	24	medio	0,05	bajo				
I-A-2-ra_1	30	medio	0,18	medio				
I-A-2-ra_2	27	medio	0,07	bajo				
I-D-2-pr					28	medio	0,10	bajo
I-D-2-pr-a	23	medio	0,06	bajo	29	medio	0,13	medio
II-A-1-ra_1	28	medio	0,10	bajo				
II-A-2-ra_1	33	medio	0,36	medio				
II-A-2-ra_2	30	medio	0,18	medio				
II-D-2-pr-a					37	alto	0,72	alto
III-A-1-ra_1	28	medio	0,10	bajo				
III-A-2-ra_2	28	medio	0,10	bajo				
III-D-2-pr					35	alto	0,52	alto
III-D-2-pr-a	24	medio	0,05	bajo	35	alto	0,52	alto

Para la valoración de amenaza se tuvo en cuenta los rangos definidos en la Resolución 364 de 2000 del la Secretaría de Gobierno y DPAE y se consideró que el factor de seguridad de 0 a 1.2 corresponde a amenaza alta; de >1.2 a 1.9 como media; y mayor que 1.9 como de amenaza baja.

La calificación de amenaza para cada uno de los elementos se presenta en el Cuadro 7.1.

6. EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD

La Vulnerabilidad se define como el grado de daño, perjuicio y/o perturbación que potencialmente pueda sufrir un elemento, sometido a los efectos negativos de un fenómeno natural o artificial con una determinada magnitud.

En el presente estudio la vulnerabilidad se determinó en función de los índices: de afectación de la población (IAP), de pérdida del elemento (IPE) y de susceptibilidad del elemento (ISP) en función de su resistencia y grado de exposición individual de cada uno de los elementos dentro de cada uno de los sectores con amenaza definida.

La valoración de la vulnerabilidad se realizó para cada uno de los sectores homogéneos e individualmente para cada uno de los elementos que se encuentran en las zonas de amenaza alta y media.

Como se puede apreciar en el Cuadro 7.1 en su mayoría los elementos analizados que se encuentran en las zonas de amenaza media a alta, tienen la vulnerabilidad media (9 elementos), siete (7) elementos tienen la vulnerabilidad alta.

7. EVALUACIÓN DE RIESGO

Teniendo en cuenta el interés de la DPAE de conocer el riesgo para cada una de las viviendas en el área de amenaza alta, con el fin de determinar la relación beneficio/costo de las posibles medidas de mitigación o, en casos extremos la reubicación de las viviendas y la modificación del uso actual del suelo para las áreas donde el riesgo no es mitigable.

Para el presente estudio el riesgo se evaluó tanto para las edificaciones como para las personas y dentro de cada uno de los sectores homogéneos analizados a través del Índice de Riesgo Nominal (IRN), el cual es el producto de la probabilidad de falla (Pf) por la vulnerabilidad de las edificaciones presentes.

Este Índice de Riesgo Nominal, que evalúa la magnitud (de 0 a 1) de las posibles pérdidas en forma independiente al nivel de áreas homogéneas y para cada una de las viviendas, garantiza que finalmente el riesgo represente el posible porcentaje de daño y no las pérdidas económicas, ya que esto último coloca en desventaja a los habitantes de menos recursos económicos.

Teniendo en cuenta la definición de riesgo, este se determinó como el producto de la amenaza por vulnerabilidad.

El análisis de riesgo se realizó en toda el área de estudio para cada uno de los sectores homogéneos. Igualmente, se hizo la evaluación para cada uno de los elementos estructurales ubicados en el sector de más alta amenaza y vulnerabilidad.

Para este trabajo se utilizó la clasificación para el Índice de Riesgo Global (IRG) esperado para 25 años, considerando su relación con la clasificación de amenaza y vulnerabilidad:

Riesgo		**Amenaza**	**Vulnerabilidad**
Alto	>0.28	alta	alta
Medio	0.28 - 0.05	media a alta	media
Bajo	< 0.05	baja	baja a alta

Los resultados de evaluación de riesgo para toda el área se presentan en el Cuadro 7.1, donde aparece también el costo total esperado para los elementos estructurales para el periodo de recurrencia de 25 años, que es de CIENTO CINCUENTA Y TRES MILLONES OCHOCIENTOS TREINTA Y CINCO MIL CIENTO TREINTA PESOS ($153.835.130) MCTE.

Cuadro 7.1 Evaluación de Riesgo

BLOQUE	SECTOR	PREDIO	DIRECCION	COSTO	TIPOLOGIA	VULNERA-BILIDAD		AMENAZA		RIESGO		COSTO ESPERADO
I	I-A-1-ra	1	Diagonal 32 F Sur No. 14 B - 03	$ 25,050,000	MS	0.20	bajo	0.05	bajo	0.01	bajo	$ 243,486
		2	Diagonal 32 F Sur No. 14 B - 11	$ 32,680,000	MSC	0.20	bajo	0.05	bajo	0.01	bajo	$ 317,650
		3	Diagonal 32 A Sur No. 14 B - 19	$ 43,500,000	MC	0.10	bajo	0.05	bajo	0.00	bajo	$ 211,410
		4	Diagonal 32 A Sur No. 14 B - 25	$ 9,450,000	MS	0.20	bajo	0.05	bajo	0.01	bajo	$ 91,854
II	I I-A-1-ra	5	Diagonal 32 A Sur No. 14 B - 31	$ 7,800,000	MS	0.20	bajo	0.10	bajo	0.02	bajo	$ 152,568
		6	Diagonal 32 A Sur No. 14 B - 35	$ 3,550,000	T	0.30	bajo	0.10	bajo	0.03	bajo	$ 104,157
		7	Diagonal 32 G Sur No. 14 B - 27	$ 5,910,000	MS	0.20	bajo	0.10	bajo	0.02	bajo	$ 115,600
		8	Diagonal 32 G Sur No. 14 B - 43	$ 9,825,000	MS	0.20	bajo	0.10	bajo	0.02	bajo	$ 192,177
III	A-1-ra	9	Diagonal 33 A Sur No. 14 B - 49	$ 15,000,000	MC	0.30	bajo	0.10	bajo	0.03	bajo	$ 440,100
	A-1-ra	10	Transversal 15 No. 32 G - 70 Sur	$ 34,080,000	MS	0.43	medio	0.52	alto	0.22	medio	$ 7,533,992
	D-1-pr-a	11-13	Diagonal 32G Sin Dirección	$ 11,000,000	T	0.74	alto	0.52	alto	0.39	alto	$ 4,236,116
	D-1-pr	14	Diagonal 32 H Sur No. 14C - 49	$ 34,380,000	MS	0.45	medio	0.52	alto	0.24	medio	$ 8,088,966
	D-1-pr	15	Diagonal 32 H Sur No. 14C - 41	$ 48,000,000	MC	0.41	medio	0.52	alto	0.21	medio	$ 10,262,539
	D-1-pr	16	Diagonal 32 H Sur No. 14C - 35	$ 82,980,000	MSC	0.60	medio	0.52	alto	0.31	alto	$ 25,827,224
	D-1-pr	17	Diagonal 32 H Sur No. 14C - 29	$ 52,560,000	MSC	0.44	medio	0.52	alto	0.23	medio	$ 12,001,962
	D-1-pr	18	Diagonal 32 H Sur No. 14C - 23	$ 46,980,000	MS	0.48	medio	0.52	alto	0.25	medio	$ 11,736,830
	D-1-pr	19	Diagonal 32 H Sur No. 14C - 17	$ 25,425,000	MS	0.40	medio	0.52	alto	0.21	medio	$ 5,334,386
	D-1-pr	20	LOTE VACIO	$ 4,250,000	LOTE	0.49	medio	0.52	alto	0.25	medio	$ 1,083,333
	D-1-pr	21	Carrera 14 C No. 32F - 13 Sur	$ 33,180,000	MS	0.79	alta	0.52	alto	0.41	alto	$ 13,686,400
	A-2-ra	40	Carrera 15 Bis A	$ 27,000,180	Escalera	0.77	alta	0.52	alto	0.40	alto	$ 10,816,072
II	D-1-pr	22	Carrera 14 C No. 32F - 36 Sur	$ 29,640,000	MS-T	0.65	alto	0.72	alto	0.47	alto	$ 13,907,896
	D-1-pr	23	Carrera 14 C No. 32F - 26 Sur	$ 37,800,000	MC	0.34	bajo	0.1	bajo	0.03	bajo	$ 1,277,147
I	A-2-ra	24	Carrera 14 B Bis No. 32F - 31 Sur	$ 10,000,000	P	0.61	medio	0.18	medio	0.11	medio	$ 1,061,357
	D-1-pr	25	Carrera 14 B Bis No. 32F - 25 Sur	$ 17,920,000	MC	0.30	bajo	0.1	bajo	0.03	bajo	$ 537,600
II y III	A-1-ra	vía peatonal	Diagonal 32G	$ 40,000,000	vía peatonal	0.83	alto	0.72	alto	0.60	alto	$ 24,000,000
											TOTAL	$ 153,260,820

8. EVALUACIÓN DE MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN Y PROTECCIÓN

La evaluación de las medidas de estabilización tiene como objetivo comparar las diferentes alternativas que se presentan y seleccionar la más atractiva, considerando los aspectos relacionados con economía, beneficio costo y riesgo asumido.

Las obras de estabilización consideradas como alternativas se han seleccionado de tal manera que la aplicación de cualquiera de ellas le proporcione al talud una estabilidad cuyo factor de seguridad (FS) sea superior o igual a 1.2 en condiciones dinámicas para cumplir con los requerimientos de la NSR – 98 y superior o igual a 1.5 en condiciones estáticas para cumplir con los niveles de estabilidad que se manejan en Ingeniería.

Las medidas de mitigación buscan disminuir el riego y contemplan dos alternativas para bajar la amenaza y una para bajar la vulnerabilidad sin reducir la amenaza.

En el cuadro 9.8 se presenta una comparación de alternativas:

Cuadro 8.1 Comparación de alternativas

Alternativas		Ventajas	Desventajas	Aspectos Constructivos	Costo miles $	Beneficio miles $	Beneficio/ Costo
No	Descripción						
1a	• Instalación red de pernos Ø 1 ¼", L=4m, No tensionados sectores centro y norte • Protección del talud con malla eslabonada • Restitución de capa vegetal con suelo en sacos y cespedones de grama, en los sectores que carecen de ésta.	• Aumenta el FS en las zonas central y norte ante el riesgo sísmico. • Proporciona una solución de carácter ambiental y revegetaliza el área	• En los trabajos se involucran las edificaciones de la zona norte. • Dificultades constructivas por trabajos en altura y el sistema de instalación de la malla. y la grama	• Perforadoras de roca con capacidad de perforar 6 m y menores • Empleo de andamios para perforación e instalación de malla y grama	240.413	153.260	0.64
1b	• Instalación red de pernos Ø 1 ¼", L=4 m, No tensionados para	• Controla el riesgo sísmico. en zonas	• En los trabajos se involucran los edificaciones de	• Perforadoras para roca • Andamios para	219.006	153.260	0.70

Alternativas		Ventajas	Desventajas	Aspectos Constructivos	Costo miles $	Beneficio miles $	Beneficio/ Costo
No	Descripción						
	sectores centro y norte • Protección del talud con malla eslabonada • Protección por siembra de plantas enredaderas a excepción del talud de la casa 24	central y norte • Proporciona una solución de carácter ambiental y protege la superficie del talud. • Menor dificultad constructiva que la Alternativa 1 a. y su costo.	la zona norte. • Dificultades constructivas por trabaj00os en altura	soportar las perforadoras e instalación de pernos y malla • Excavación en roca para las jardineras			
2 a	• Instalación de red de pernos de Ø ¾", L=5m, Tensionados en los sectores centro y norte • Protección del talud con malla eslabonada • Protección de áreas sin vegetación por siembra de plantas enredaderas a excepción del talud de la casa 24	• Aumenta el FS en las zonas central y norte ante el riesgo sísmico. • Proporciona una solución de carácter ambiental y protege la superficie del talud	• En los trabajos se involucran los edificaciones de la zona norte. • Dificultades constructivas por trabajos en altura .	• Perforadoras para roca con capacidad hasta de 6 m • Empleo de andamios para perforación e instalación de malla • Excavación en roca para las jardineras	267.276	153.260	0.57
2b	• Instalación red de pernos de Ø ¾", L=5m, Tensionados en zonas central y norte • Protección total del talud con malla eslabonada • Restitución de capa vegetal con suelo en sacos de fique y cespedones de grama, en todos los sectores que	• Aumenta el FS en las zonas central y norte ante el riesgo sísmico. • Proporciona una solución de carácter ambiental y protege la superficie del talud. • Aumen	• Dificultades constructivas por trabajos en altura y el sistema de instalación de la malla • Dificultades constructivas por trabajos en altura y el sistema de instalación de la malla y la grama	• Perforadoras para roca con capacidad hasta de 6 m • Empleo de andamios para perforación e instalación de malla	288.683	153.260	0.53

Alternativas		Ventajas	Desventajas	Aspectos Constructivos	Costo miles $	Beneficio miles $	Beneficio/ Costo
No	Descripción						
	carecen de ésta. •	ta dificultad constructiva respecto de la Alternativa 2a. y el costo.					
3	• No realizar obras de estabilización y protección en los taludes • Reubicación de las viviendas de la parte inferior No. 14 a 23	• Elimina la afectación sobre las viviendas de la zona inferior. • Elimina la realización de los trabajos propuestos.	• Aumenta los costos para el DPAE.. • Puede afectar los habitantes de la parte superior.	• Empleo de maquinaria para demolición y retiro de escombros	471.009	153.260	0.33

De acuerdo con las relaciones Beneficio / Costo, y considerando que la mayor inversión se presenta cuando dicha relación tiene sus máximos valores, se encuentra que la alternativa más beneficiosa es la 1b con una cifra de 0.70.

De otro lado, con el fin de evaluar el riesgo que implica la implementación de cada alternativa, en el Cuadro 8.2 se presentan las cifras relacionadas con riesgo asumido en cada caso.

Cuadro 8.2 Riesgo asumido por alternativas

Alternativa	Costo miles $	Riesgo esperado miles $	Probabilidad de falla medio	Riesgo asumido miles $
1a	240.413	153.260	0.23	90.545
1b	219.005	153.260	0.23	85.621
2a	267.276	153.260	0.26	109.339
2b	288.683	153.260	0.26	114.905
3	461.008	0	0.46	212.063

Teniendo en cuenta estas cifras, la alternativa más favorable es la 1b, la cual tiene el mínimo riesgo asumido.

Para la realización de las obras de estabilización y protección del talud, cuyo planteamiento y evaluación serán descritos más adelante, hemos considerado la

ejecución de unos trabajos comunes a todas las alternativas y de carácter primordial para minimizar el riesgo. Dichas obras comprenden:

- Reubicación viviendas No. 11, 12, 13 y 22
- Construcción de un sendero peatonal en concreto.
- Control y manejo de aguas

9. DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN

De acuerdo con lo anterior, se eligió la alternativa identificada con el número 1 b como la más favorable, considerando diversos puntos de vista, Básicamente, la alternativa elegida consta de las obras que se describen a continuación:

- Construcción del sendero peatonal del costado occidental

La longitud del sendero según las mediciones será de 77.15 m de longitud, su espesor de placa será de 0.15 m y el ancho mínimo de 1.20 m, con dilataciones de 2 cm cada 1.5 m de longitud de placa. En algunos sectores de pendientes mayores del 8 %, se construirán algunas gradas, con una altura de los escalones de máximo 0.20 m y de 0.40 m la longitud de la huella.

La cuneta colectora formará parte integral de la placa del andén del sendero y conservará paralelamente el mismo recorrido de éste, así como sus escalones, pendientes y dilataciones.

Para estas estructuras se empleará concreto de 21 Mpa (3.000 psi) y acero de refuerzo grado AH 42 (60.000 psi).

- Manejo de aguas de escorrentía

El sendero y la cuneta por su ubicación y disposición tiene las características de una zanja de coronación y tendrá como objetivo colectar todas las aguas de escorrentía provenientes de la parte occidental del talud, las cuales actualmente carecen de un manejo adecuado, causando la formación de cárcavas y caída de bloques por la concentración de chorros en diferentes puntos del talud, siendo este fenómeno el factor principal que incrementa el proceso erosivo a que está sometido el talud agravándose en temporadas de altas lluvias.

- Obras de estabilización y protección del talud

Estas comprenden dos trabajos: el primero consiste en la instalación de una red de pernos de roca, no tensionados, en varilla de acero corrugada de Ø 1 ¼", grado AH 42, cuya longitud de anclaje es de 4 m, inclinación de –30° con respecto a la horizontal y con separación de 2 m en tresbolillo, provistos de platinas de acero de 15 x15 cm y 95 mm de espesor, tuercas de trabajo pesado y cabezales en concreto para apoyo de la platina.

El segundo trabajo corresponde a la realización de las obras de protección de la superficie expuesta del talud del talud, mediante la colocación de malla eslabonada, confeccionada en alambre galvanizado calibre 12, anclada al talud mediante taches de varilla de Ø ½", colocados cada 0.50 m en tresbolillo y con longitudes de anclaje de 0.50 m en roca y de 0.80 m en suelo, los cuales donde el terreno lo permita serán hincados a golpes de martillo o de lo contrario será necesario perforar y utilizar mortero para su anclaje. Como refuerzo del anclaje de la malla se utilizarán los pernos de roca, pues las platinas deben pisar y presionar la malla.

Como complemento a este tratamiento de protección, el diseño contempla la vegetalización de los diferentes sectores de la superficie del talud.

9.1 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO

Las cantidades de obra se estimaron conforme a cada actividad principal del proyecto y dependiendo de los diseños estimados para cada una de ellas y relacionadas directamente con los ítems de obra compendiados dentro de las especificaciones técnicas, bajo las cuales se considera la medida y pago de cada uno de ellos.

El presupuesto de obra se elaboró considerando las cantidades de obra mencionadas y de acuerdo con la investigación de precios comerciales de materiales en el mercado, evaluación de rendimientos y costo de mano de obra y alquiler de equipo, incluyendo el capítulo correspondiente al AIU del contratista. Para la evaluación de los costos de reubicación de las viviendas.

Las cantidades de obra y presupuesto se presentan en el cuadro 9.1

Cuadro 9.1 Cuadro de Cantidades de Obra y Presupuesto.

CUADRO DE CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO					
ITEM No.	**DESCRIPCIÓN**	**UNIDAD**	**CANT.**	**VR. UNITARIO**	**VR. TOTAL**
1	Localización y Replanteo	SG	1,00	1.500.000,00	1.500.000,00
2	Excavaciones Misceláneas	M3	46,90	34.500,00	1.618.050,00
3	Pernos de Roca Ø 1 1/4"	ML	800,00	112.125,00	89.700.000,00
4	Malla Eslabonada	M2	1282,00	22.300,00	28.588.600,00
5	Protección con suelo - grama	M2	921,00	22.750,00	20.952.750,00
6	Concreto f'c = 21 Mpa	M3	35,12	511.875,00	17.977.050,00
7	Acero de Refuerzo grado AH 42	KG	926,00	1.945,00	1.801.070,00
8	Rejilla Metálica para Cárcamo	KG	35,00	9.600,00	336.000,00
9 a	Cajas de Inspección .60x.6m	UN	2,00	369.500,00	739.000,00
9 b	Cárcamo Colector L= 2.60 m	UN	1,00	696.819,00	696.819,00
				TOTAL PRESUPUESTO OBRA $	**163.909.339,00**

ADICIONALES					
ITEM No.	**DESCRIPCIÓN**	**UNIDAD**	**CANT.**	**VR. UNITARIO**	**VR. TOTAL**
A	Reubicación casa No. 24	SG	1,00	10.000.000,00	10.000.000,00
B	Reubicación casas No. 11, 12, 13	SG	1,00	11.000.000,00	11.000.000,00
C	Reubicación casa No. 22	SG	1,00	29.640.000,00	29.640.000,00
D	Arriendos temporales	SG	1,00	10.000.000,00	10.000.000,00
				TOTAL ADICIONALES $	**60.640.000,00**

TOTAL COSTO OBRA $	**224.549.339,00**

El cronograma de actividades se muestra en el cuadro 9.2

Cuadro 9.2 Cronograma de actividades

ACTIVIDAD		DURACION (Semanas)													
No.	Descripción	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Preliminares														
2	Localización y Replanteo														
3	Construcción Sendero Peatonal (incluye: Excavación, construcción de andén, cuneta y bordillo en concreto)														
4	Construcción Cárcamo Colector (incluye: demolición placa de andén existente, excavación, construcción placa de base, muros y pañete interior, relleno, instalacón tubería de gres, instalación rejilla y reposición placa andén)														
5	Instalación de pernos (incluye: perforación, instalación varilla, anclaje, construcción de cabezales, colocación platina y tuerca, ensayos)														
6	Instalación de malla eslabonada y protección del talud con grama (incluye: desabombe del talud, instalación de malla, colocaciòn de taches de anclaje, amarre con la red de pernos, colocación del suelo orgánico en sacos e instalación de cespedones en grama y riego.														
7	Construcción de cuneta de drenaje inferior en concreto (incluye: Excavación, fundida concreto, construcción de cajas de inspección, demolición placa pavimento y andén, excavación, instalación tubería de gres, relleno sobre tubería, reposición concreto de placa y andén)														

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Realizados los estudios y hechos los análisis correspondientes, sobre la zona inestable del Barrio El Triunfo Sur, es posible concluir y recomendar lo siguiente:

- La zona inestable corresponde a un escarpe en roca dejado por la explotación de una cantera, la cual suspendió sus actividades y dio paso a la expansión urbana desordenada. Tanto en la pata como en la cresta de la antigua cantera se instalaron pobladores, algunos en casas de ladrillo y otros en tugurios de lata y cartón.
- Teniendo en cuenta la altura variable del escarpe y la calidad del material aflorante, el área si dividió en 3 zonas: Una primera zona, ubicada al sur, de baja altura; una segunda influenciada por una falla y una tercera de roca más sana pero de máximas alturas. Aunque la estratificación de las rocas, compuestas por areniscas, es favorable, existen unos sistemas de discontinuidades desfavorables que conforman bloques potencialmente inestables.
- Los cálculos de estabilidad efectuados indican factores de seguridad bajos de los bloques, sobretodo en caso de sismo, cuando las probabilidades de falla se acrecientan.
- Existen procedimientos de estabilización, los cuales a costos razonables disminuyen satisfactoriamente el riesgo. Uno de estos, y que se diseñó para su construcción, consiste en anclar el escarpe mediante el empleo de pernos de roca, instalando a la vez una malla metálica y un recubrimiento para vegetalizar la superficie expuesta a las agentes atmosféricos.
- Con el fin de asegurar la efectividad de las medidas de contención, también se diseñaron medidas de prevención para manejar las aguas de escorrentía, evitando así su desbordamiento con los efectos erosivos que esto conlleva.
- Puesto que hay algunas viviendas que continúan en riesgo aún después de aplicar las obras; o ejercen efecto negativo sobre la estabilidad, por las aguas de desecho que producen u obstaculizan la operación de los drenajes, es necesario reubicar 5 viviendas.

Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C.

FOPAE

Fondo de Prevención y Atención de Emergencias

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE CONTROL, PROTECCIÓN Y ESTABILIZACIÓN EN EL BARRIO EL TRIUNFO SUR, LOCALIDAD DE RAFAEL URIBE URIBE, DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.

(CONTRATO CONS-098/02)

INFORME FINAL

(Original)

INGEMETRICA LTDA.
Ingenieros Consultores

Bogotá, D.C., Agosto de 2002

CONTENIDO

		Pág.
1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	GENERALIDADES	3
2.1.	LOCALIZACIÓN	3
2.2.	ANTECEDENTES	3
2.3.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	8
2.4.	PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DEL ESTUDIO	15
2.5	TERMINOLOGÍA EMPLEADA Y PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO	18
3	ESTUDIOS BÁSICOS	22
3.1.	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	22
3.2	EXPLORACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA	23
3.2.1	Toma de Datos Estructurales	23
3.2.2	Levantamiento de Columnas Estratigráficas	25
3.2.3	Exploración Geoeléctrica	26
3.2.4.	Ejecución de Barrenos Manuales	27
3.2.5	Ensayos de Campo	27
3.2.6.	Ensayos de Laboratorio	28
4.	CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA, GEOMORFOLÓGICA, HIDROGEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA	31
4.1.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS Y METODOLOGÍA	31
4.2	GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA Y GEOTECNIA REGIONAL	31
4.2.1	Aspectos Generales	31
4.2.2	Litoestratigrafía Regional	35
4.2.3	Geología Estructural Regional	36
4.2.4	Geomorfología Regional	37
4.2.5	Aspectos Geotécnicos Generales	38
4.3	GEOLOGÍA LOCAL	39
4.3.1	Unidades Litológicas del Área de Estudio	39

4.3.2 Geomorfología Local 45
4.3.3 Discontinuidades 48
4.4 CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS 49
4.5 ZONIFICACIÓN GEOMECÁNICA 52
4.5.1 Criterios Empleados Y Procedimiento 52
4.5.2 Caracterización De Los Sectores 54
4.6 ANÁLISIS DE FACTORES DETONANTES 58
4.6.4 Actividad Antrópica 58
4.6.5 Pluviosidad 59
4.6.6 Sismicidad 61

5 ANÁLISIS GEOTÉCNICO 63
5.1 OBJETIVOS 63
5.2 CRITERIOS Y METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN 63
5.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD 64
5.3.1 Caídas de Bloques 64
5.3.2 Deslizamientos 76
5.4 ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD DE ÁREAS HOMOGÉNEAS 77
5.4.1 Criterios y Metodología Aplicada 78
5.4.2 Análisis de Susceptibilidad a los Procesos 87

6 EVALUACIÓN DE AMENAZA 89
6.1 OBJETIVO ESPECÍFICO 89
6.2 METODOLOGÍA Y CRITERIOS APLICADOS 89
6.3 EVALUACIÓN DE AMENAZA 90
6.3.1 Caracterización de Amenaza 92

7 EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD 95
7.1 OBJETIVO ESPECÍFICO 95
7.2 CRITERIOS Y METODOLOGÍA APLICADA 95
7.3 IDENTIFICACION DE LOS ELEMENTOS 97
7.4 VALORACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD 103
7.4.1 Criterios Aplicados 103
7.4.2 Valoración y Clasificación de Vulnerabilidad 109

8 EVALUACIÓN DE RIESGO 111
8.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 111

8.2 CRITERIOS Y METODOLOGÍA APLICADA 111
8.3 ANÁLISIS DE CONDICIONES DE RIESGO POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA 112
8.4 EVALUACION DE COSTOS ESPERADOS 115

9. EVALUACIÓN DE MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN Y PROTECCIÓN 116
9.1. MEDIDAS DE MITIGACIÓN COMUNES PARA TODAS LAS ALTERNATIVAS 117
9.2. DESCRIPCIÓN Y COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS 119
9.2.1. Alternativa 1 119
9.2.2. Alternativa 2 122
9.2.3. Alternativa 3 127
9.3. COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS 128

10. DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN 136
10.1. CONSTRUCCIÓN DEL SENDERO PEATONAL DEL COSTADO OCCIDENTAL 136
10.2 MANEJO DE AGUAS DE ESCORRENTÍA 137
10.3 OBRAS DE ESTABILIZACIÓN Y PROTECCIÓN DEL TALUD 138
10.4 EXCAVACIONES 139
10.5 RELLENOS 139
10.6 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO 140
10.7 PROCESO CONSTRUCTIVO 142
10.8 CRONOGRAMA DE OBRA 144

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 146
BIBLIOGRAFÍA 147

ANEXOS

ANEXO 1 INFORMACIÓN SECUNDARIA
ANEXO 2 PLANOS
ANEXO 3 CARTERAS DE TOPOGRAFÍA
ANEXO 4 REGISTRO DE DISCONTINUIDADES
ANEXO 5 EXPLORACIÓN GEOELÉCTRICA
ANEXO 6 REGISTRO DE SONDEOS MANUALES Y ENSAYOS DE CAMPO
ANEXO 7 ENSAYOS DE LABORATORIO
ANEXO 8 INVENTARIO DE PROCESOS
ANEXO 9 MEMORIAS DE CÁLCULO DE ESTABILIDAD
ANEXO 10 INVENTARIO DE VIVIENDAS
ANEXO 11 MEMORIAS DE CÁLCULO DE DISEÑO

LISTA DE PLANOS

PLANO 1 Topografía del área
PLANO 2 Mapa Geológico Regional
PLANO 3 Mapa Geológico local
PLANO 4 Mapa Geomorfológico Local
PLANO 5 Mapa de zonificación Geomecánica - Áreas Homogéneas
PLANO 6 Mapa de Zonificación de Amenaza
PLANO 7 Mapa de Zonificación de Vulnerabilidad
PLANO 8 Mapa de Zonificación de Riesgo
PLANO 9 Obras de Protección y Estabilización del Talud (Planchas: 1 de 2 - Localización y 2 de 2 - Detalles y Dimensiones)

LISTA DE FOTOS

		Pág.
Foto 2.1.	Vista frontal sobre el talud a estudiar, Barrio Triunfo Sur, entre Carreras 14B BIS y 14C, entre las Diagonales 32G Sur y 32H Sur. (19 de marzo 2002)	10
Foto 2.2	Vista del escarpe y una de las viviendas ubicadas en la pata (19 de marzo 2002)	13
Foto 2.3	Grieta de separación entre el anden y la pared de una vivienda ubicada sobre la Diagonal 32G (19 de marzo 2002).	13
Foto 2.4	Vista sobre la Diagonal 32 G. Se observen coronas de deslizamientos en material de relleno y la ubicación de la vivienda prefabricada.	14
Foto 2.5	Deposito de material de escombros de excavación y coluvión en la base de la vivienda prefabricada	14
Foto 2.6.	Caídas de bloques y desmoronamiento del talud de arenisca friable en el talud de la Diagonal 32 G, invadida por las viviendas	15
Foto 4.1	Zona Norte	44
Foto 4.2	Zona de Falla	44
Foto 4.3	Zona Sur	44
Foto 4.4	Cuñas inestables en la Zona Norte	51

LISTA DE CUADROS

		Pág.
Cuadro 3.1	Resumen ensayos de laboratorio	30
Cuadro 4.1	Fotografías aéreas utilizadas.	35
Cuadro 4.2	Características de las unidades geomorfológicas.	47
Cuadro 4.3	Resumen de las familias de discontinuidades resultantes.	50
Cuadro 4.4	Caracterización de sectores homogéneos	57
Cuadro 5.1	Susceptibilidad por Respuesta Sísmica	81
Cuadro 5.2	Criterios de evaluación de susceptibilidad a los procesos	84
Cuadro 5.3	Evaluación de susceptibilidad de áreas por deslizamientos	84
Cuadro 5.4	Evaluación de susceptibilidad de áreas por caídas de bloques.	86
Cuadro 5.5	Comparación de Valores de Susceptibilidad y Factores de Seguridad.	88
Cuadro 6.1	Caracterización de áreas homogéneas por Susceptibilidad y Amenaza al desarrollo de los FMR. Barrio Triunfo Sur.	91
Cuadro 7.1	Resumen de Inventario de Elementos Estructurales.	98
Cuadro 7.2	Resumen del Inventario de Elementos de Infraestructura.	99
Cuadro 7.3	Densidad de habitantes	100
Cuadro 7.4	Tipificación de las viviendas	104
Cuadro 7.5	Parámetros de Evaluación de la Susceptibilidad de los Elementos por su Resistencia.	105
Cuadro 7.6	Criterios de evaluación de la Susceptibilidad de los Elementos por Exposición	106
Cuadro 7.7	Vulnerabilidad de Elementos Estructurales	108
Cuadro 8.1	Evaluación de Riesgo	114
Cuadro 9.1	Costos de las obras comunes	118
Cuadro 9.2	Mejoramiento de la Estabilidad con Alternativa 1	120
Cuadro 9.3	Análisis de la Alternativa 1	121
Cuadro 9.4	Mejoramiento de la Estabilidad con Alternativa 2	124
Cuadro 9.5	Análisis de la Alternativa 2	125
Cuadro 9.6	Análisis de la Alternativa 3	127
Cuadro 9.7	Valor total de los trabajos	128
Cuadro 9.8	Beneficio de alternativas	129
Cuadro 9.9	Riesgo asumido por alternativas	131
Cuadro 10.1	Cuadro de Cantidades de Obra y Presupuesto.	141
Cuadro 10.2	Cronograma de actividades	145

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Figura 2.1.	Localización del área de estudio	6
Figura 3.1.	Ubicación de sitios de exploración geológica y geotécnica	24
Figura 4.1.	Fotointerpretación. Fotografía aérea 840. Vuelo C-35 del año 1940	33
Figura 4.2.	Fotointerpretación. Fotografía aérea 1422. Vuelo R-1131 del año 1990	34
Figura 4.3	Columna estratigráfica No.1 – Zona Sur	40
Figura 4.4	Columna estratigráfica No.2 – Zona de Falla	41
Figura 4.5	Columna estratigráfica No.3 – Zona Norte	42
Figura 5.1	Diagrama de polos. Bloque I – Zona Sur	67
Figura 5.2	Diagrama de polos. Bloque II – Zona de Falla	68
Figura 5.3	Diagrama de polos. Bloque III – Zona Norte	69
Figura 5.4	Estereograma. Bloque I – Zona Sur	70
Figura 5.5	Estereograma. Bloque II – Zona de Falla	71
Figura 5.6	Estereograma. Bloque III – Zona Norte	72
Figura 5.7	Relación entre la Probabilidad de Falla y el Factor de Seguridad (según Paducov, 1981)	79
Figura 5.8.	Relación de Susceptibilidad con la Probabilidad de Falla	80
Figura 6.1	Relación de Susceptibilidad con la Probabilidad de Falla	90
Figura 7.1.	Esquema metodológico general.	96
Figura 7.2	Distribución de daños en edificaciones.	101
Figura 7.3	Relación de Susceptibilidad total de elementos estructurales con su Índice de Vulnerabilidad	107
Figura 9.1	Localización Obras Comunes	132
Figura 9.2	Detalle Sección Sendero Peatonal	133
Figura 9.3	Detalle Alternativa 1	134
Figura 9.4	Detalle Alternativa 2	135

1. INTRODUCCIÓN

En virtud de los problemas de inestabilidad que se presentan en un talud del Barrio El Triunfo Sur, la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias (DPAE) de la Alcaldía de Bogotá encomendó a INGEMETRICA LTDA, mediante contrato CONS-098/02, suscrito el 21 de marzo de 2002, la realización del estudio de riesgos por remoción en masa y diseños detallados de las obras de control, protección y estabilización del área inestable.

El objetivo general del presente estudio es definir las medidas y diseños de obras necesarias para disminuir al mínimo o eliminar el riesgo para la población por fenómenos de remoción en masa en el talud en mención. Para cumplir con el objetivo propuesto el consultor y la DPAE han concertado los siguientes alcances, que marcarán las etapas o fases del estudio:

1. Recopilación y análisis de la información disponible.
2. Caracterizar la zona desde el punto de vista geológico y geotécnico e identificar los diferentes procesos de inestabilidad y mecanismos de falla que se presenten en la zona, así como también sus agentes detonantes.
3. Evaluar el nivel de riesgo por fenómenos de remoción en masa para las viviendas del sector.
4. Determinar y evaluar las diferentes alternativas de mitigación, entre ellas la de reubicación de familias, aplicación de obras de protección y/o control y aprovechamiento de espacio para crear zonas verdes y de recreación.
5. Diseñar y establecer las cantidades de obra, presupuesto y especificaciones técnicas de la alternativa de mitigación más favorable para el sector desde el punto de vista técnico, económico y social.

Metodológicamente, el alcance se logró efectuando en primer término la recolección de la información secundaria existente en archivos de DPAE, IGAC, EAAB e INGEMETRICA LTDA, luego trabajos de campo que incluyeron levantamiento topográfico detallado, toma de datos geológicos y geotécnicos, inventario de procesos y elementos vulnerables de infraestructura, exploración del subsuelo por medio de sondeos y apiques, ensayos de campo y de laboratorio. Por último, se

realizó el análisis teórico para evaluar estabilidad de taludes, amenaza, vulnerabilidad, riesgo y alternativas de mitigación.

El informe se concluye con el diseño de obras para la alternativa seleccionada, el cual consiste en estabilización del talud con pernos, lo mismo que protección con malla eslabonada y vegetación, además de obras de manejo de aguas de escorrentía y adecuación de una vía peatonal de acceso a la Diagonal 32G Sur. Para la implementación de obras es necesaria la reubicación de dos (2) viviendas, ubicadas al pie del talud tres (3) tugurios de la parte alta que invaden la Diagonal 32G Sur.

2. GENERALIDADES

2.1. LOCALIZACIÓN

El área de estudio se ubica en inmediaciones del barrio El Triunfo Sur, en el espacio comprendido entre: carrera 14B Bis y carrera 15 Bis A; la Calle 33 Bis Sur, diagonal 32G Sur y diagonal 32H Sur. La ubicación de la zona con sus accesos se presenta en la Figura 2.1. y la Foto 2.1, donde se puede observar el escarpe problema y sus alrededores. El barrio se encuentra localizado a unos 500 metros al oriente de la Avenida Caracas, subiendo por la calle 32Sur y Diagonal 32H Sur, a partir de la cual se llega al lugar por los accesos peatonales, transitando por escaleras.

Las coordenadas del área son:

Norte: 97250 a 97400
Este: 95900 a 95600

Cotas: entre 2664 y 2694 m.s.n.m.

El asentamiento urbano en la parte baja ha sido levantado sobre una antigua plataforma de explotación de materiales de construcción y la parte superior sobre la media ladera de la colina, localizada hacia arriba del escarpe dejado por la cantera.

2.2. ANTECEDENTES

El estudio de antecedentes sobre la problemática del sector se basa principalmente en la información existente en archivos de la DPAE e informes verbales de los habitantes del barrio. La información obtenida realmente es muy escasa y no aporta mucho para conformar un concepto técnico.

Según lo expresan los vecinos, anteriormente (años 1940 -1980) en el área de estudio existía una cantera, donde se extraía arena. La urbanización de la cantera y sus alrededores se inició en la década de las ochenta y hasta llegar a la actualidad cuando se ha culminado.

Los habitantes del barrio cuentan que hace unos 8 años en la parte norte del talud se había caído un bloque sobre el techo de la cocina de una vivienda ubicada cerca del escarpe y lastimosamente en estos hechos falleció una anciana. Desde esa época no se cuenta con más datos sobre caída de bloques. También se informa que se han presentado varios derrumbes de "tierra"con mayor intensidad en la parte central del talud frente a la carrera 14C y en la parte sur a la altura de la carrera 14B Bis. En esta última ocasión fue construido el muro de contención en concreto en forma de escalera que actualmente sirve de acceso a la diagonal 32H.

En respuesta a las quejas de los vecinos, el FOPAE, por medio de la Oficina para la Prevención de Emergencias (OPES), realizó una visita al área y elaboró el concepto técnico No. 1791, datado el 25 de Junio de 1996. En dicho concepto se describe el área como "un talud vertical, sin ningún tratamiento, erosionado y con fisuras. Se encontraron las viviendas recostadas sobre el mismo, sin ningún protección y con el riesgo de recibir el desprendimiento de material." En este concepto el riesgo que tienen las viviendas ubicadas al pie del talud se evalúa como alto por deslizamiento y se recomienda realizar tratamiento del talud y aislar las viviendas que se encuentran muy cerca del mismo (ver Anexo 1). Hasta ahora, las recomendaciones emitidas en esta época no han sido atendidas.

Dada esta situación, el talud siguió degradándose, presentándose constantes derrumbes sobre la parte central y en el año 1999 la DPAE, por solicitud de los habitantes, encomendó una visita al área al geólogo Luís Carlos Vásquez, con base en la cual se elaboró el Diagnostico No. 632. En este diagnóstico se da la descripción del escarpe a la altura de la Transversal 15C, actualmente Carrera 14C, y se indica que del escarpe se desprenden bloques de diferente tamaño, amenazando las viviendas construidas al borde del talud. Dice, además, el diagnostico: "Estos bloques de arenisca se desprenden como consecuencia de factores tales como socavación antrópica y meteorización por agentes erosivos naturales". Debido a insuficiencia de espacio para la construcción de obras hace la recomendación de reubicar las familias que residen en dos casas.

Hace un año aproximadamente una de las viviendas (Carrera 14C No. 32-29) fue evacuada, pero los habitantes de la otra (Carrera 14C No.32F-36S) se negaron a abandonar el sitio, permaneciendo allí hasta la fecha con 10 personas (6 niños y 4 adultos) y un caballo, que habita en el patio. La vivienda es de tipo tugurio. Según lo

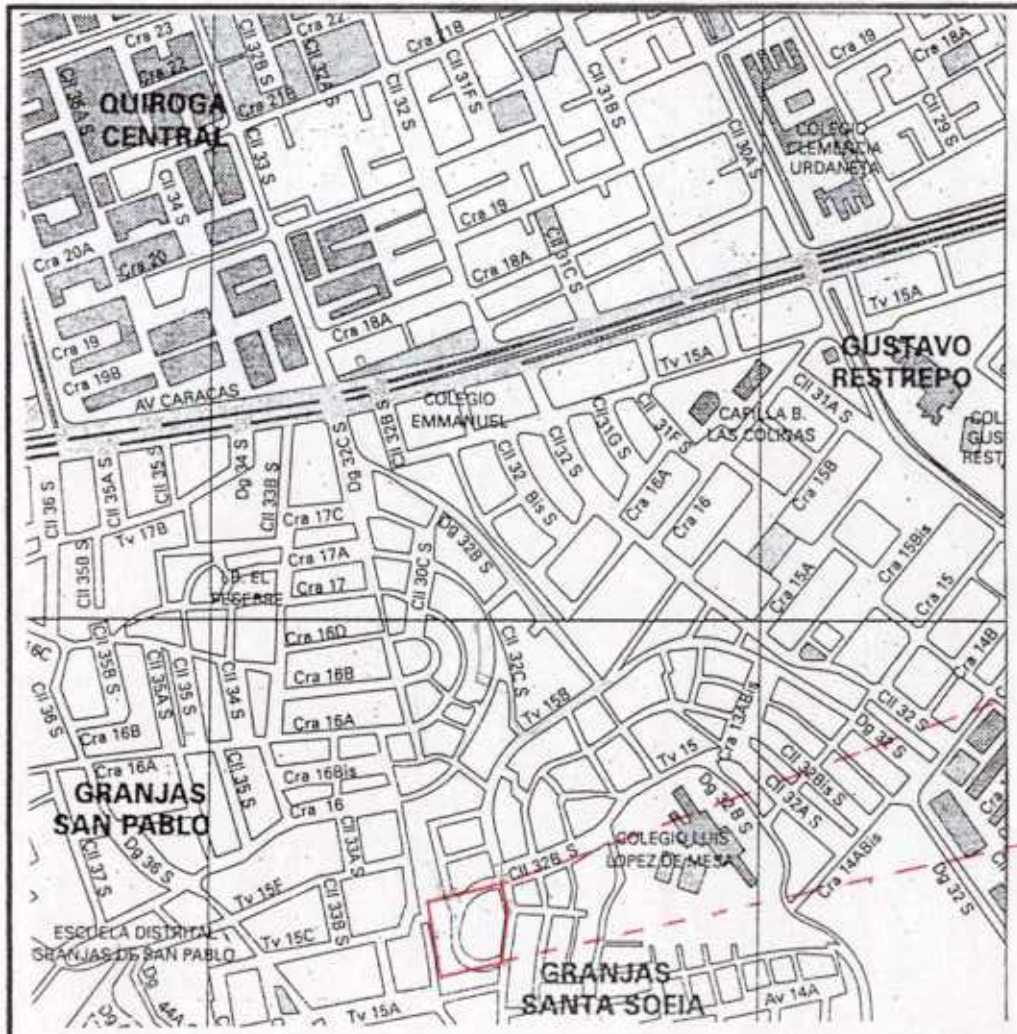
explican los habitantes del tugurio, la razón por la cual ellos no aceptan la reubicación tiene carácter económico, pues cuentan, que con el dinero que les den por el predio no les alcanza para comprar otro similar en condiciones sin riesgo.

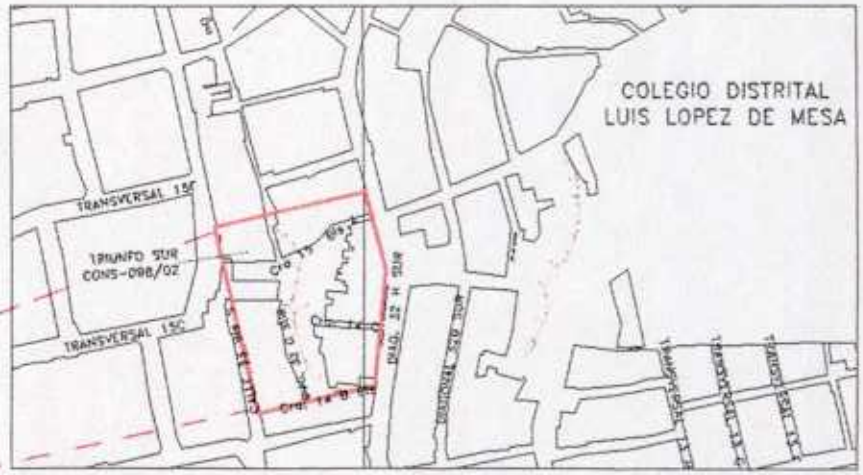
Los vecinos de la parte superior del talud, correspondiente a la Diagonal 32G Sur, reportan la aparición (desde hace un año aproximadamente) de las grietas sobre el borde de la vía, la cual además se hunde y disminuye su ancho. También reportan la aparición de algunas grietas sobre los andenes y dentro de una de las viviendas. La diagonal 32G es una vía peatonal en tierra, donde hace poco se instaló la tubería de acueducto y alcantarillado de aguas servidas por parte de las EAAB. Sin embargo, ésta no se coloco en toda la longitud, sino solo en el costado norte en un tramo no mayor a 20 metros, pues no había forma de llevarla mas adelante por la estrechez de la banca y posiblemente debido a los problemas de su inestabilidad.

Cuando se presenta lluvia, las aguas de escorrentía corren por esta vía destapada en dirección de la pendiente solo en unos 20 metros del costado norte, formando surco en el centro. En el resto de la vía peatonal el agua fluye sobre el escarpe y parcialmente se infiltra al subsuelo.

Los habitantes del barrio cuentan que los desprendimientos de piedras y deslizamientos de “tierra” se presentan en general en las épocas de lluvia.

Por otra parte, en los archivos de DPAE reposa un estudio de identificación y evaluación de riesgos por remoción en masa para el escarpe de explotación ubicado en el Barrio Luís López de Mesa, vecino al Barrio Triunfo Sur, que se encontraba en similares condiciones. Este estudio fue realizado por INDESA LTDA y es de gran utilidad para el presente trabajo, en cuanto a la geología y geotecnia del área. Especialmente útiles de este estudio son los ensayos en suelos y roca, porque las formaciones rocosas son las mismas y los suelos son similares.





FUENTE: COMBISER. PLANCHETA No. 66

DIRECCION DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS	INGEMETRICA LTDA. Ingenieros Consultores	CONTIENE: LOCALIZACIÓN GENERAL AREA DE ESTUDIO	PROYECTO: ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE CONTROL PROTECCION Y ESTABILIZACION BARRIO EL TRIUNFO SUR
		FECHA: ABRIL DE 2002	FIGURA N°: 2.1.

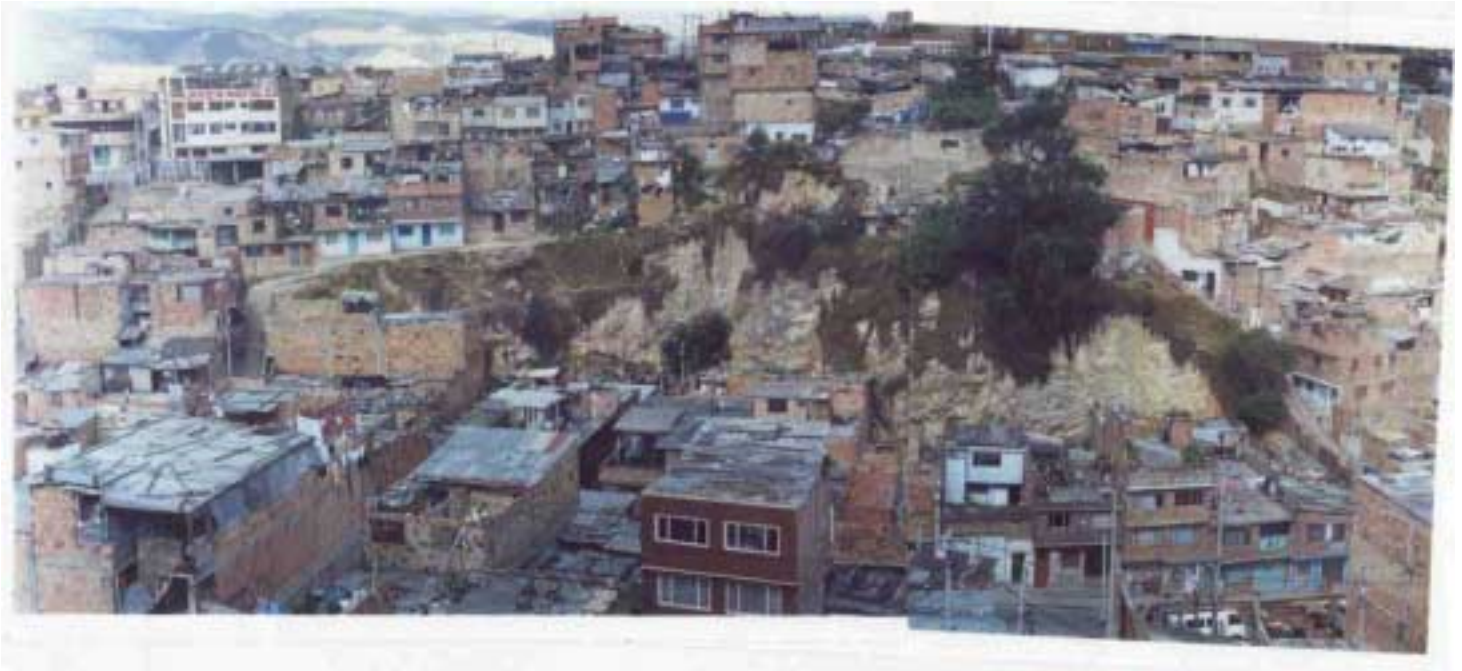


Foto 2.1. Vista frontal sobre el talud a estudiar, Barrio Triunfo Sur, entre Carreras 14B BIS y 14C, entre las Diagonales 32G Sur y 32H Sur. (19 de marzo 2002)

2.3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El área inestable está constituida esencialmente por un talud de origen antrópico, dejado como producto de una antigua explotación de materiales para construcción de calidad granular. La parte baja y la parte alta del barrio se ubica en una ladera cortada por las terrazas excavadas para la construcción de las viviendas.

El cuerpo del talud antrópico está conformado por roca fracturada y alterada en una longitud de aproximadamente 150 m de largo por 10 a 16 m de alto en su parte más alta (Ver Foto 2.1.) . El material rocoso es visible en una área amplia y sobre este, en la cresta del talud, se encuentra en general basura y es posible que también haya suelos residuales, pero estos no son visibles debido a que hay una cubierta vegetal que los cubre.

En principio, según se pudo ver en las superficies expuestas, el material está constituido por areniscas con algunas intercalaciones de arcillolitas. La arenisca está generalmente fracturada y localmente tiene alteraciones que la califican como friable.

La inclinación del talud es empinada con pendientes superiores a 60º llegando en algunos sectores a 90º e incluso negativos puntualmente. El buzamiento de los estratos es en general hacia el interior del talud, aunque en algunos sitios parece estar hacia fuera, probablemente por presencia de fallas o pliegues. Los fenómenos geodinámicos que más se presentan allí son: desprendimiento y cída de bloques, desmoronamiento de arena e inestabilidad de los depósitos de suelo y basuras acumuladas en la cresta del talud.

El escarpe reviste gravedad debido a que tanto en la cresta como en la pata han construido viviendas, algunas de las cuales pegadas al talud. Las viviendas en más riesgo son estas últimas, las cuales sufren el impacto directo de los fenómenos que deterioran el talud (ver Foto 2.2) . En las viviendas de la parte superior los vecinos reportan algunos agrietamientos dentro de una de las viviendas y separación del anden en la parte externa (ver Foto 2.3). Allí las casas están separadas de la cresta del talud por una vía peatonal de aproximadamente 2 a 3 m de ancho, donde se observan pequeñas coronas de deslizamiento dentro del material de relleno antrópico (ver Foto 2.4).

En la plataforma inferior existen depósitos de materiales provenientes de los cortes realizados para la construcción de viviendas en la parte alta y posiblemente de los derrumbes de basura depositada en la cresta del talud, (Ver Foto 2.4 y Foto 2.5). Sobre este depósito esta construida una vivienda prefabricada (Carrera 14B Bis No. 32F- 31 Sur) que actualmente presenta agrietamientos de pisos y separación en las juntas de las paredes de hasta 5 cm. El hecho se agrava por la existencia de un vertimiento constante de agua servida y potable sobre el talud. No se sabe si los agrietamientos se deben a asentamientos diferenciales debidos a la mala calidad del relleno conformado para la construcción de la placa de piso de la casa o a un deslizamiento activo de los materiales del relleno saturado.

En ninguna parte se informó sobre afloramientos de agua subterránea, por lo que puede deducirse preliminarmente que los niveles de agua subterránea están por debajo de la pata del talud.

Por otra parte, en el barrio se han generado invasiones de la vía de acceso, Diagonal 32 G, que une las carreras 14B Bis y 15A Bis no permitiendo acceso a esta última. Las viviendas allí construidas son de tipo tugurial y se acercan demasiado al borde del talud, presentando vertimiento de agua servida sobre el escarpe e infiltraciones en el interior del macizo rocoso, pudiendo detonar así procesos de desprendimientos y posibilidad de movimientos retrogresivos mayores (ver Foto 2.6).



Foto 2.2 Vista del escarpe y una de las viviendas ubicadas en la pata (19 de marzo 2002)



Foto 2.3 Grieta de separación entre el anden y la pared de una vivienda ubicada sobre la Diagonal 32G (19 de marzo 2002).



Foto 2.4 Vista sobre la Diagonal 32 G. Se observan coronas de deslizamientos en material de relleno y la ubicación de la vivienda prefabricada.



Foto 2.5 Depósito de material de escombros de excavación y coluvión en la base de la vivienda prefabricada.



Foto 2.6. Caídas de bloques y desmoronamiento del talud de arenisca friable en el talud de la Diagonal 32 G, invadida por las viviendas.

Naturaleza de los problemas

Las problemas de inestabilidad del talud, descritas anteriormente, tienen los siguientes ingredientes:

- El problema de caída de bloques se origina en la presencia de fracturas que conforman cuñas inestables. Dicho fenómeno geodinámico que se produce en la superficie del talud, esta detonado por los agentes atmosféricos, principalmente la lluvia, la cual en forma de gotas y escorrentía ejercen poder de meteorización en la roca y deterioro de los taludes en suelo. Si a esto se le agrega el factor antrópico, que se manifiesta en vertimiento de aguas servidas sobre y dentro del talud, sumado a la indisciplina de la gente al botar basura indiscriminadamente, el panorama que se presenta es el apropiado para que ocurran inestabilidades del terreno. Las aguas infiltradas en las grietas naturales u ocasionadas por relajamiento del terreno actúan sobre las paredes y relleno de las diaclasas, disminuyendo su resistencia al corte, y generando presiones hidrostáticas.

- La inestabilidad de rellenos de basura en la parte superior del talud se debe principalmente a sus bajas propiedades mecánicas y a la alta inclinación de los taludes. Este problema es detonado por el mal manejo de aguas lluvias y una continua depositación de la basura sobre el talud.

- El problema de asentamiento o posible deslizamiento de la vivienda prefabricada ha sido originado por causas netamente antrópicas, es decir: una fundación precaria, sobre un relleno mal compactado, con una placa de concreto de bajas características y espesor insuficiente. Como hemos mencionado anteriormente, este fenómeno se encuentra detonado también por el mal manejo de aguas lluvias y fugas del sistema de conducción de acueducto y alcantarillado.

- El cuarto problema, tiene su origen en la invasión de la Diagonal 32G y el borde del talud del sector norte de la antigua cantera. Este hecho contribuye al problema de caídas de bloques, genera problema urbanístico y de manejo de emergencias al mismo tiempo, pues además de crear instabilidad interrumpe vías de acceso o evacuación.

- El quinto problema es eminentemente social y está constituido por una vivienda al pie del talud (Carrera 14C No 32F-36Sur). Además de ser afectada por fenómenos de caída de bloques y deslizamientos en rellenos de la parte alta, en esta vivienda se realiza actividad de reciclaje de basura, lo que produce malos olores en la vecindad y proliferación de roedores, etc. Esta vivienda se encuentra en precarias condiciones (ver Foto 2.2) y en ella donde viven 4 adultos y 6 menores de edad uno de los cuales de pocos meses de nacido.

En principio, y teniendo en cuenta los problemas encontrados, el riesgo no parece ser inminente y no se esperan las superficies de deslizamiento extensas. Sin embargo, este es un punto a analizar en el curso de los trabajos de consultoría.

Posibles alternativas de solución

Teniendo en cuenta la radiografía preliminar de la zona inestable, las soluciones que llegan a la mente comprenden lo siguiente:

Manejo de aguas de escorrentía, llevándolas ordenadamente al alcantarillado para evitar desbordamientos perjudiciales. Esto comprende construcción de cunetas, tuberías y pozos para manejo de aguas.

Para evitar desprendimiento de materiales de la cresta es necesario darle a estos una inclinación y disposición adecuadas, con la protección suficiente para que no se formen carcavamientos y no haya desmoronamientos por el talud abajo.

Es necesario que la comunidad comprenda la gravedad de acumular basuras en la parte superior del talud y suspenda esta práctica perjudicial.

En el talud de roca es necesario tomar medidas para que no continúen los desprendimientos de bloques. Para tal efecto, la obra más sencilla y segura es la colocación de una malla anclada con pernos. Si se descubren bloques grandes potencialmente inestables, estos deben ser asegurados con pernos de longitud y diámetro apropiados para evitar su caída.

Como es necesario darle a la zona un paisaje agradable, por debajo de la malla es conveniente colocar un geomanto con tierra vegetal y semilla de pasto para que el talud muestre una superficie cubierta de vegetación.

Dada la ubicación desfavorable de algunas casas tanto en la parte superior y en la base del talud, es necesario considerar su reubicación.

De todas maneras, las medidas de protección óptimas serán las que resulten de los análisis que se realicen en el curso de los trabajos de consultoría. Para tal efecto será necesario plantear diferentes alternativas entre las que se cuenten: No ejecutar obras, reubicar las viviendas en riesgo para generar un área verde y construcción de otras obras diferentes a las enunciadas.

2.4. PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DEL ESTUDIO

En este numeral se pretende contar en forma condensada el procedimiento que se plantea para cumplir con los alcances propuestos en el estudio, enfocado en la evaluación de riesgos y su mitigación o eliminación. Inicialmente, es necesario realizar varias visitas al área de estudio y sus alrededores para obtener un concepto preliminar sobre los problemas que aquejan la zona.

Luego se procede con la recopilación y análisis de la información existente. Este trabajo comprende la búsqueda, ordenamiento y análisis de la información disponible en diferentes entidades. Para tal efecto fue necesario consultar información que comprende: cartografía, planchas geológicas, fotografías aéreas, registros pluviométricos, estudios geotécnicos anteriores hechos en la zona, normas de Planeación Distrital y EAAB.

Como producto del análisis de la información existente se obtiene un historial sobre la evolución del área y un diagnóstico ajustado, el cual sirve de base para programar en forma más real la exploración requerida.

Luego siguen los trabajos de campo, los cuales comprenden en esencia la exploración del terreno y su entorno con el fin de conocer las condiciones naturales y sociales que están involucradas en el fenómeno de inestabilidad. Estos trabajos comprenden:

Inventario de viviendas afectadas y que potencialmente podrían sufrir alguna afectación por la inestabilidad o por la ejecución de las obras, considerando las redes de servicios públicos. Para esto se procederá a visitar las casas y consignar la información en formatos especiales elaborados para tal fin, evaluando a la vez las redes de servicios públicos.

Levantamiento topográfico del área problema y sus vecindades. Se levantan las casas más próximas y todo el terreno, tomando detalles suficientes para elaborar el plano con curvas de nivel cada metro. Se levantan también los pozos de alcantarillado más próximos y las redes de servicios visible, lo mismo que la cresta, la pata y demás detalles que permitan visualizar bien el área. Se ubicarán perforaciones y otros sitios de investigación geológica y geotécnica.

Exploración geológica. Comprende este trabajo el reconocimiento del lugar, haciendo el levantamiento geológico que permita conocer la litología, fracturamiento, rasgos estructurales, grado de alteración de la roca, depósitos no consolidados y demás detalles de utilidad para crear el modelo geológico local.

Exploración del subsuelo. Comprende este trabajo el reconocimiento subsuperficial del terreno, buscando conocer la estructura del lugar para diferenciar los depósitos no consolidados y su relación con la roca madre. Para tal efecto se usarán las técnicas más comunes y sencillas, las cuales comprenden:

- Apiques en suelo con profundidades variables, dependiendo de los niveles de roca que se capten.
- Perfiles y Sondeos geoeléctricos en forma de perfilados para conocer profundidades de suelos a lo largo de líneas subhorizontales de 20 a 30 m de longitud.
- Allí donde los sondeos geoeléctricos y los apiques no proporcionen la información suficiente sobre espesores de suelos, se procede a perforar sondeos manuales para aclarar la situación.

Con los trabajos de campo se establece el modelo del área problema, conociendo los elementos que más influyen. La siguiente actividad desarrollada corresponde a los ensayos de rocas y suelos. Están constituidos por las pruebas de campo y laboratorio necesarias para conocer las propiedades del material que conforma el talud. Para tal efecto se procede a realizar los siguientes ensayos, empleando las Normas Técnicas Colombianas e Internacionales vigentes:

- Penetración estándar en las perforaciones que se requiera realizar en suelos.
- Pruebas de penetrómetro de bolsillo en áreas expuestas de arcilla en los apiques.
- Humedad natural de suelos
- Limites de Atterberg en materiales finos de suelo. Clasificación.

- Granulometría en suelos granulares
- Peso unitario en suelos y rocas. Porosidad en arcillas y peso unitario seco.
- Resistencia al corte por discontinuidades en roca, utilizando para esto contactos de fracturas desfavorables para la estabilidad del talud. Con este ensayo se busca conocer el ángulo de fricción interna y la cohesión de la discontinuidad.

Es importante anotar que, con el fin de enfocar bien los estudios, los ensayos se enfatizan más en roca que en suelo, pues los problemas que presenta la roca son más significativos que los que se presentan en suelo, sobretodo si los espesores de estos últimos son pequeños. Es por este motivo que en los suelos de poco espesor no se realizan ensayos porque no vale la pena, ya que las soluciones de estabilización son muy sencillas y no requieren cálculos para su implementación.

Con la información de campo y los ensayos realizados se procede a realizar los análisis para encontrar las causas de la inestabilidad y las consecuencias que se derivan de la situación actual. De acuerdo con esto se realizan las evaluaciones de amenaza., vulnerabilidad y riesgo. Para tal efecto, como se indica en la metodología establecida para estos en el respectivo capítulo, es necesario realizar los cálculos de estabilidad, los cuales requieren antes la determinación de los parámetros geotécnicos.

Los parámetros geotécnicos se definen a partir de los ensayos de laboratorio, utilizando la literatura técnica existente para definirlos. En algunos casos se recurre a asignación de parámetros y análisis de sensibilidad para ajustar sus valores.

Una vez definidos los parámetros de entrada se realizan los cálculos de estabilidad, definiendo antes los esquemas de cálculo con los elementos del modelo establecido. En los cálculos de estabilidad en roca se usarán preferencialmente los de superficie plana de falla., en concordancia con el análisis cinemático realizado. La evaluación de estabilidad se hará tanto para la condición estática, con el fin de corroborar los parámetros adoptados para el cálculo, como para dinámica para definir los factores de seguridad en caso de ocurrencia de un sismo.

No se descarta la superficie de falla circular para aquellos sitios donde la roca está triturada o el material es suelo con espesores superiores a 1.5 m.

Realizados los cálculos de estabilidad en la situación original, se procede luego a definir probables soluciones y a calcular su efectividad en términos de mejoramiento del factor de seguridad a valores aceptados en la práctica de ingeniería, con las mínimas probabilidades de falla, teniendo en cuenta las NSR-98.

Una vez calculados los factores de seguridad y las probabilidades de falla se realiza la comparación de las diferentes soluciones para seleccionar la alternativa óptima, es decir, aquella que sea solución apropiada para el problema y tenga los menores costos, considerando facilidades constructivas y plazos.

Seleccionada la solución mas apropiada discutida con DPAE y la Interventoría, se hace el diseño detallado con su presupuesto, cronograma de construcción y especificaciones técnicas. Los precios unitarios se evalúan, tomando como precios base las contratadas por DPAE para obras de la misma naturaleza, y de acuerdo al mercado de Bogotá.

2.5. TERMINOLOGÍA EMPLEADA Y PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO

Para mejor entendimiento de la evaluación de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa (FRM) se definieron los criterios de análisis y evaluación que se presentaran en el Cuadro 2.1 y se comentarán en el texto.

Cuadro 2.1. Definición de criterios para evaluación y zonificación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa

OBJETIVO	ALCANCE	CRITERIO
Unificación de criterios	Definición de la terminología	1. VII Congreso Colombiano de Geotecnia – Sección 8 – Amenazas y riesgos geotécnicos.
Parámetros geotécnicos para el análisis	Zonificación por áreas homogéneas por propiedades de rocas y depósitos no consolidados, y por procesos de remoción en masa.	Mapas - ASIG, Asociación Internacional de Ingeniería Geológica*, Engineering Geological Maps, A guide to Their Preparation*. Paris. UNESCO press, 1976, 128p. Susceptibilidad natural al desarrollo de los procesos.
Evaluación de Amenaza	Zonificación por amenaza	2. Análisis probabilístico de estabilidad, estático y dinámico

OBJETIVO	ALCANCE	CRITERIO
		3. Cuantitativo, Factor de seguridad Vs probabilidad de falla.
Evaluación de Vulnerabilidad	Zonificación por vulnerabilidad	4. Definición de elementos, estructurales y funcionales bajo las amenazas 5. Combinación de susceptibilidad por exposición y resistencia a las amenazas definidas por fenómenos de remoción en masa 6. Análisis probabilístico para cada una de las áreas homogéneas
Evaluación de Riesgo	Zonificación por riesgo	7. Riesgo es el producto de la amenaza por vulnerabilidad y por el costo total del elemento bajo riesgo, expresado en el costo esperado. 8. Análisis probabilístico para cada una de las áreas homogéneas

Según la Resolución 364 de 2000 de la Secretaria de Gobierno y DPAE se adoptaron los siguientes definiciones, los cuales se siguen en el presente estudio, a saber:

Amenaza – Es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno de origen natural o antrópico[1] con una cierta intensidad y potencialmente nocivo para personas, bienes, infraestructura y/o medio ambiente, dentro de un período específico de tiempo y en un área delimitada geográficamente.

Vulnerabilidad - Es el nivel de exposición y predisposición de un elemento o conjunto de elementos a sufrir consecuencias negativas como resultado de la ocurrencia de un fenómeno natural o de origen antrópico no intencional de una magnitud dada.

Riesgo- Es el resultado de relacionar la amenaza y la vulnerabilidad para determinar las consecuencias sociales, económicas y ambientales asociadas a uno o varios eventos en las áreas ocupadas.

[1] Complementación hecha por nosotros, debido a que en zonas urbanas la totalidad del área se encuentra intervenida por el hombre.

Además de estos definiciones dadas se considera necesario definir el término de:

Susceptibilidad – es la predisposición del medio al desarrollo de los fenómenos de remoción en masa.[2]

Para la evaluación de amenaza se seguirán los siguientes pasos:

Se realiza una zonificación geotécnica del área, con definición de sectores homogéneos por propiedades físico – mecánicas de las rocas.

Se define la susceptibilidad de cada uno de los sectores homogéneos al desarrollo de los FRM. Para este fin se conformara la matriz de evaluación con dos ejes, en una de las cuales se ubicará el sector y el proceso analizado y en la otra los factores intrínsecos del terreno tales como la sismicidad, grado de desintegración del subsuelo, propiedades geomecánicas, características hidrogeológicas, particularidades del relieve, grado del recubrimiento y tipo de la vegetación, considerando también su magnitud y antecedentes (ocurrencia del fenómeno). Los anteriores factores se obtendrán en los trabajos de exploración del terreno y en los ensayos de laboratorio.

Evaluar la estabilidad de cada uno de los sectores homogéneos típicos por propiedades físico - mecánicas, calculando el factor de seguridad. Sin embargo esta operación no siempre es posible para el terreno afectado por la caída de bloques y cascajo, pues no es viable hacer el cálculo de estabilidad para todos los bloques posibles, por tal razón es necesario simplificar el procedimiento con el empleo de correlaciones entre la susceptibilidad de área homogéneas y probabilidad de ocurrencia de desprendimientos en estas zonas.

Define la ecuación empírica de correlación entre el factor de seguridad y probabilidad de falla, y a partir de esta establecer la correlación entre la susceptibilidad y amenaza.

[2] Tchemodanova Valentina. Evaluación de Susceptibilidad y Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa, Barrio Soratama, Localidad de Usaquén, Memorias del Seminario de Riesgos por Fenómenos de Remoción en Masa, Agosto 31 de 2000, DPAE, Bogotá.

Emplea la correlación de susceptibilidad con la probabilidad de falla, definiendo de esta forma el valor de amenaza en términos probabilísticos para cada uno de los sectores homogéneos.

Definida la Amenaza y realizado el censo, pasará a la evaluación de vulnerabilidad, empleando matrices de doble entrada donde por un lado se asignará el valor para la susceptibilidad de los elementos (techo, paredes, zapatas, vigas, pórticos, etc.) de la estructura y, por otro lado, se definirá la susceptibilidad por el grado de exposición a diversos fenómenos que se presentan en el talud. La vulnerabilidad final, expresada en el grado de la perdida del conjunto de elementos bajo la amenaza se definirá mediante la correlación lineal con la susceptibilidad total. En esta correlación se considera que si el 50% de la construcción ha tenido o puede tener daño, se declara la perdida total. La valoración se hará para cada uno de los sectores homogéneos por amenaza (susceptibilidad). El resultado de evaluación será la predicción cualitativa y cuantitativa de vulnerabilidad.

Teniendo los valores de amenaza y vulnerabilidad, el riesgo se evalúa directamente para los elementos estructurales e indirectamente para la población de toda el área de estudio y cada uno de los sectores definidos en el mapa de susceptibilidad de áreas al desarrollo de los procesos, igualmente para cada uno de los elementos estructurales expuestos, siendo esta el resultado de multiplicación de vulnerabilidad por amenaza.

El riesgo definido sirve de base para justificación de las medidas de prevención, mitigación y corrección.

3 ESTUDIOS BÁSICOS

Los estudios básicos comprenden todas aquellas actividades de recolección de la información primaria sobre el estado actual de los elementos que intervienen en la estabilidad y vulnerabilidad del área de estudio. El objetivo de los estudios básicos es caracterizar cada uno de los elementos para crear un modelo del sistema geotécnico del área, entendido como un conjunto de elementos interrelacionados, tales como: relieve, estructuras geológicas, composición del macizo rocoso, sus propiedades, procesos geodinámicos, condiciones hidrológicas, construcciones y redes de servicios.

Metodológicamente, el objetivo propuesto se alcanzó con las labores de campo y análisis de la información en oficina, mediante su sistematización, correlación con la información secundaria y generalización.

Las labores de campo involucraron el levantamiento topográfico, la prospección geológica y la exploración del subsuelo, descritas en las siguientes numerales.

3.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

El objetivo del levantamiento topográfico consistió en la elaboración de la cartografía básica para ubicar el área de estudio geográficamente y localizar en ella todos los accidentes de relieve, infraestructura y predios, geología, geomorfología y exploración geotécnica. Esto permitió, elaborar el modelo gráfico para efectos del análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo para luego elaborar el diseño de las obras correctivas.

Para ubicar el área geográficamente, se realizó el amarre a las placas del IGAC, seleccionando para tal fin los dos puntos más cercanos al barrio, localizados sobre la Avenida Caracas con Calle 24 Sur y Calle 27 Sur.

El levantamiento topográfico detallado se realizó para elaborar el plano a escala 1:250 (Plano No. 1), con curvas de nivel cada 50 cm, mediante el barrido con nube de puntos, utilizando para tal efecto una estación geográfica total marca TOPCOM, modelo GTS-300 con cartera electrónica HP-48GX. Especial atención se destinó a la

definición de la cresta y pata del escarpe de explotación, lo mismo que elementos urbanísticos y ubicación de los perfiles geoeléctricos. El procesamiento de datos para obtener coordenadas y cotas se ejecutó con el empleo del Software especializado Surface Modeling Versión 12.

Los resultados del levantamiento topográfico se presentan en el Anexo 3 y en el Plano 1.

3.2 EXPLORACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA

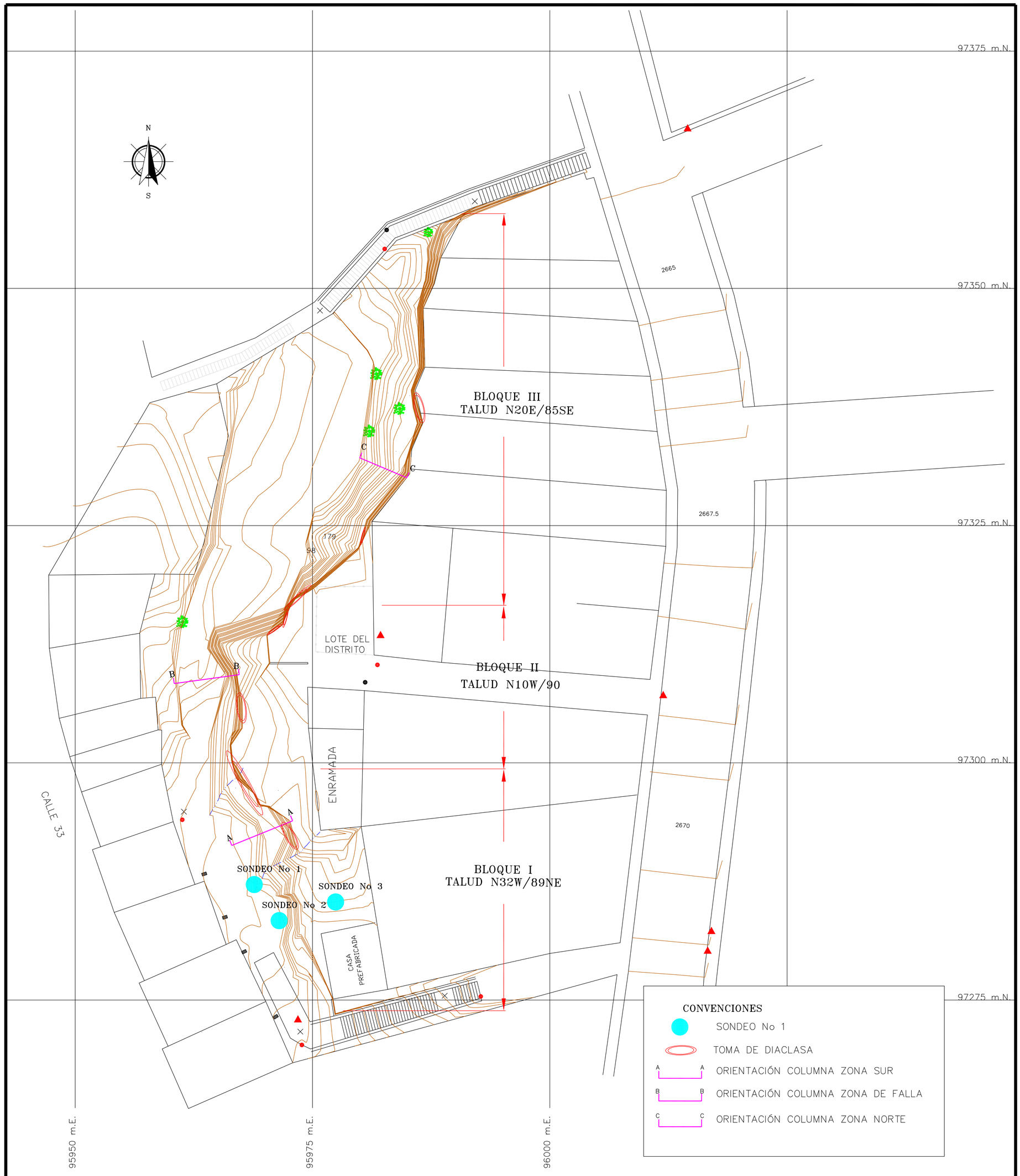
El objetivo de la exploración geológica y geotécnica radicó en recolectar la información primaria y ubicarla en la cartografía básica para caracterizar el subsuelo y elaborar su modelo gráfico. La exploración geológica y geotécnica se realizaron paralelamente y comprendieron el reconocimiento del lugar, haciendo el levantamiento de la litología, fracturamiento, rasgos estructurales, grado de alteración de la roca y de consolidación de los depósitos, junto con otros detalles de utilidad para crear el modelo geológico local.

El trabajo se realizó mediante uso de métodos comunes de inspección visual y mediciones con instrumental geológico (brújula y penetrómetro de bolsillo). Además de los anteriores, se utilizaron métodos geofísicos y perforaciones con barreno manual. La ubicación de los sitios de exploración geológica y geotécnica se presenta en la Figura 3.1.

A continuación se describen las actividades de exploración realizadas.

3.2.1 Toma de Datos Estructurales

Esta labor de campo consistió en el levantamiento de los rasgos estructurales tales como el rumbo y buzamiento de planos de estratificación, fallas, diaclasas y sus características de continuidad, espaciamiento, apertura, rugosidad, tipo y espesor de relleno (ver Anexo 4). El levantamiento se realizó sobre los taludes rocosos, producto de la explotación de la antigua cantera.



DIRECCION DE PREVENCION Y
ATENCION DE EMERGENCIAS

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.

INGEMETRICA LTDA.
Ingenieros Consultores

CONTIENE:

UBICACIÓN DE SITIOS DE
EXPLORACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA

PROYECTO:

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA
Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE CONTROL
PROTECCION Y ESTABILIZACION BARRIO
EL TRIUNFO SUR

FECHA:

AGOSTO DE 2002

FIGURA N°:

3.1.

El levantamiento de discontinuidades se llevó a cabo conjuntamente con las columnas estratigráficas. Los datos de las diaclasas se recolectaron en tres zonas, diferenciadas a simple vista por su estado, la ubicación y la orientación promedio del talud.

La primera zona está localizada en el costado sur del área de estudio, la segunda pertenece a la zona de falla la cual se delimita en el plano geológico (ver Anexo 2) con 16 metros de ancho aproximadamente. Como consecuencia del alto fracturamiento de la roca en este sector, la estratificación no es muy clara, sin embargo, en la parte inferior del talud se tomaron datos de una posible orientación de los estratos la cual se tendrá en cuenta para el análisis cinemático de estabilidad.

La tercera zona donde se realizó el levantamiento de discontinuidades se localiza en el costado norte del área. Los datos tomados en esta zona pertenecen a roca sana de la Formación Regadera Inferior, en el cuadro 4.4 del numeral 4.2.7 se presentan las familias de las discontinuidades resultantes asociadas con la dirección del talud.

3.2.2 Levantamiento de Columnas Estratigráficas

Dentro del levantamiento geológico detallado se realizó el levantamiento de tres columnas estratigráficas, ubicadas en los sitios localizados en la Figura 3.1. Esta actividad se llevó a cabo con el propósito de conocer los espesores reales de roca y depósitos no consolidados y con base en lo anterior plantear los posibles mecanismos de falla de los taludes.

La columna 1 se levantó en el costado sur, donde la roca está meteorizada y moderadamente fracturada. De acuerdo con la columna levantada, en esta zona existen bancos de arenisca hasta de 2 m de espesor intercalados con delgados niveles de arcillolitas meteorizadas. En este lugar la secuencia rocosa se encuentra cubierta de relleno antrópico de 1.80 m de espesor.

La columna 2 fue levantada en la zona de falla. La roca en este sector está representada por intercalaciones de areniscas fracturadas y arcillolitas

meteorizadas. Gran parte de la diaclasas están rellenas de material blando como limos y arcillas. El espesor de relleno antrópico, que cubre las rocas, es de 1 m aproximadamente.

La columna 3 se levantó en la zona norte, donde se presentan intercalaciones de areniscas y arcillolitas. Esta columna es la que permite un mejor seguimiento de la estratificación. El espesor de relleno antrópico es de 1.50 m aproximadamente (ver Figuras 4.3, 4.4 y 4.5).

3.2.3 Exploración Geoeléctrica

Los métodos de exploración geofísica se emplean con el fin de obtener información del subsuelo de una forma indirecta y aplicados a investigaciones geotécnicas permiten al especialista definir el perfil del subsuelo, reducir el número de pozos exploratorios y determinar el sitio más favorable o con mayor perspectiva de encontrar zonas geotécnicas anómalas.

Para tal efecto se emplearon dos métodos geoeléctricos: Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) y Perfiles Eléctricos (PE), conocidos también como Tomografía Eléctrica (TE) o Calicatas Eléctricas Continuas (CEC). Estas dos metodologías se diferencian en la forma de medición y el tipo de resultados. El primer método (SEV) presenta los cambios de resistividad de las rocas en profundidad bajo el centro de medición en un mismo punto, mientras el Perfilaje Eléctrico permite detectar los cambios de resistividad tanto en profundidad como lateralmente.

Teniendo en cuenta que el método de PE es cualitativo mientras que el de SEV es cuantitativo, es indispensable la combinación de estos dos métodos para el logro de resultados satisfactorios.

Enmarcado en lo anterior se contrataron los servicios de HIDROSUELOS E.U. para realizar la exploración geofísica del sitio, con metodología y resultados que se presentan en el Anexo 5.

Durante la exploración geoeléctrica se adquirió información del subsuelo, lográndose definir el perfil litológico del área de estudio, el cual está compuesto

por un nivel base de arenisca no alterada, una capa de roca alterada de 4 a 7 m de espesor y un relleno antrópico superior de 0.50 m de espesor. Además de lo anterior se definió una zona de falla que pone en contacto areniscas de la Formación Regadera con arcillolitas, probablemente de la misma formación.

3.2.4. Ejecución de Barrenos Manuales

Allí donde los sondeos geoeléctricos indicaron el mayor espesor de depósitos no consolidados se efectuaron sondeos manuales para definir el tipo de material y sus características, suministrando de esta forma datos para la correlación de resistividades con la litología encontrada.

Con el propósito de identificar los tipos de materiales y de conocer las propiedades físicas y mecánicas de los mismos, se llevaron a cabo tres sondeos manuales en los lugares donde el espesor de los rellenos son mayores. La ubicación de los sondeos se presenta en la Figura 3.1 y los registros de sondeos en el anexo 6

Los sondeos 1 y 2 se localizaron en la parte alta del talud y tuvieron una profundidad de 2.0 y 2.10 m respectivamente. A esta profundidad se encontró una arenisca muy fracturada y meteorizada a juzgar por las muestras obtenidas. El espesor promedio de relleno antrópico resultó ser en este sector de 1.80 m.

Un tercer sondeo fue realizado hacia la parte baja de la zona, cerca de la casa prefabricada, construida sobre un relleno antrópico. De acuerdo con este sondeo, el espesor de relleno antrópico es de 5,1 m. Durante la ejecución de los sondeos no se detectó nivel freático y tampoco se observó afloramiento de agua en la cara de los taludes.

3.2.5 Ensayos de Campo

Durante la exploración del subsuelo se llevaron a cabo ensayos de campo con el fin de conocer algunas propiedades físico-mecánicas de los materiales, los ensayos ejecutados se describen a continuación.

3.2.5.1 Ensayo de penetración estándar

El ensayo de penetración estándar (SPT) se ejecutó en los sondeos continuamente con el fin de conocer la resistencia que ofrecen los suelos a la penetración. Este ensayo se realizó para rellenos antrópicos que cubren las rocas de la Formación Regadera.

Como se puede observar en las memorias de los sondeos (ver anexo 6), donde se relaciona el número de golpes necesarios para penetrar seis pulgadas, para el relleno de la parte alta son características 4-7 golpes y para la parte baja (sondeo 3) son 8-9 golpes. El primer metro desde la superficie en ambos sitios resultó ser menos consolidado, dando como resultado el número de 2 a 4 golpes por 6".

3.2.5.2. Penetrómetro de bolsillo

Este ensayo se realizó sobre muestras inalteradas de suelo provenientes de los sondeos. Como se puede ver en la memoria de sondeos, presentadas en el Anexo 6, la resistencia a la penetración varía de 1,1 kg/cm^2 en la parte superior del relleno hasta 2,1 kg/cm^2 a la profundidad de 2,5m.

Esta prueba también se llevó a cabo en el relleno de diaclasas compuesto principalmente por limos y arcillas , cuya resistencia varía entre 2 kg/cm^2 y 2,5 kg/cm^2 .

3.2.6. Ensayos de Laboratorio

Para los ensayos de laboratorio se tomaron muestras del relleno antrópico: dos del sondeo 3 y una del sondeo 1. Del macizo rocoso se seleccionaron tres muestras de roca, dos de las cuales fueron extraídas de las paredes de diaclasas, conservando el material de relleno, con el fin de practicarles los ensayos de corte directo sobre las discontinuidades, y un bloque de roca alterada a arcilla en el costado sur del talud.

A las muestras de relleno antrópico se les practicó solo pruebas de clasificación para la matriz arcillosa (límites de Atterberg y humedad natural), resistencia a la

compresión y peso unitario, pues son materiales muy heterogéneos que presentan cantos de roca y basura en un 20-30%.

Los testigos de roca ensayados correspondieron a unidades de roca de los bancos de arenisca y arcillolita. Así, entonces, se ensayaron cuarzoarenitas (por discontinuidades) y arcillolitas alteradas.

A las muestras de roca se les practicaron los ensayos de corte directo: tres por discontinuidades y uno por la roca alterada; carga puntual, peso unitario, humedad natural y porosidad.

Los ensayos de laboratorio se realizaron de acuerdo a las Normas Técnicas Colombianas (NTC), indicadas en las hojas de los resultados de ensayos, reunidos en el Anexo 7. El resumen de los ensayos se presenta en el Cuadro 3.1 y la discusión de los resultados obtenidos se hace en el capitulo 4.

Cuadro 3.1 Resumen de ensayos de laboratorio

SECTOR O BLOQUE	Tipo de exploración	Muestra	Unidad litológica	Profundidad (m)	CLASIFICACIÓN						PARAMETROS GEOMECÁNICOS						OBSERVACIONES
					U.S.C.S.	Humedad natural (w)%	Límite líquido (LL) %	límite plástico (Lp) %	Índice plástico (IP) %	Índice de liquidez (IL) %	peso unitario (g) Ton/m3	Resistencia a la compresión (qu) Kg/cm2	Angulo de fricción (f') grados	Cohesión (C') Kg/cm2	Carga puntual (Kg/cm2)	Porosidad (n) %	
I	Muestreo sobre el talud	1A	Tpr-a	Parte media del escarpe							2,3		36*	0,38*	1,07	7,4	Arenisca amarilla clara, discontinuidad N77E/70NW
	Sondeo manual	P3 - M2	Qra	1,35 -1,80	CL	29,5	44,9	21,3	23,6	0,35							Arcilla rojiza, con vetas negras y raices pequeñas, trazas de arena fina
	Muestreo sobre el talud	1-Bloque	Tpr-a	En superficie		13,9					2,1		33	0,23			Limo arcilloso rojizo con algunas gravas medias y trazas de arena fina
	Sondeo manual	P3 - M4	Qra	2,00 - 2,50							2,05	2,0					Arcilla arenosa carmelita con vetas oscuras y negras
II	Muestreo sobre el talud	1B	Tpr-a	Pata del escarpe							2,4		38*	0,37*	24,54	4,3	Arenisca amarilla clara, con vetas blancas y oxidadas, discontinuidad N25E/85SE
	Sondeo manual	P1 - M2	Qra	1,5 - 1,80	CL	9,5	28,1	15,5	12,6	0,48							Relleno arcilloso con vetas carmelitas, grises, negras y blancas, algo de arena fina.
III	Muestreo sobre el talud	1C	Tpr	Pata del escarpe							2,3		37*	0,20*	5,91	6,2	Arenisca amarilla clara, discontinuidad N45W/65NE

* Ensayos de corte directo por discontinuidades

4 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA, GEOMORFOLÓGICA, HIDROGEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA

4.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS Y METODOLOGÍA

El objetivo específico de la caracterización geológica, geomorfológica y geotécnica del área consiste en elaborar un modelo gráfico - analítico del subsuelo, entendido como un sistema de elementos interrelacionados, que permitirá evaluar la estabilidad del terreno. Los elementos básicos que constituyen el sistema son: rocas y depósitos no consolidados, relieve y procesos, aguas subterráneas.

De acuerdo con el método científico, todo el objeto de estudio se encuentra relacionado con el medio en que subsiste, por lo tanto es necesario tener en cuenta los sistemas externos, los cuales, aunque son ajenos al objeto de investigación, de una u de otra forma entran en contacto, modificándolo o modificándose a si mismos. Estos elementos son: pluviosidad y actividad antrópica, cuyo estudio y caracterización son necesarios para el presente trabajo.

4.2 GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA Y GEOTECNIA REGIONAL

4.2.1 Aspectos Generales

La caracterización regional se hizo, en primer término, a través de análisis de la información secundaria, la cual comprende:

1) Mapa Geológico, Mapa de Zonificación Geotécnica y Mapa de Microzonificación Sísmica, a escala 1:50.000, elaborados dentro del Convenio Interadministrativo 01-93 del Proyecto de Microzonificación sísmica de Santafé de Bogotá

2) Estudios Geológico y Geotécnico de la "Zonificación por inestabilidad del terreno para diferentes localidades en la ciudad de Santafé de Bogotá D.C.", mapa geológico a escala 1:10.000, elaborado por INGEOCIM LTDA para UPES.
3) Informe Final "Identificación Y Evaluación de Riesgos por Fenómenos de Remoción en Masa y Diseños Detallados para estabilizar el Antiguo Escarpe de Explotación – Barrio Luís López de Mesa", presentado a UPES por INDESA LTDA.
4) Modelo Hidrogeológico para los acuíferos de Bogotá, elaborado para DAMA por Hidrogeocol Ltda.

De los estudios anteriores el más detallado es el tercero, donde se presenta la geología general a escala 1:5000, la cual fue elaborada a partir de fotointerpretación (fotos de IGAC R1131 y C-35) y reconocimiento de campo. El mapa citado fue confrontado con los dos primeros mencionados en cuanto a tipos de rocas y estructuras regionales, notándose diferencias en cuanto a tipos de depósitos no consolidados y estructuras. Es lógico, que el Mapa geológico de INDESA detalla más dichos depósitos y ubica nuevas fallas geológicas definidas por fotointerpretación y en campo, razón por la cual el mapa, elaborado por INDESA LTDA sirvió de base para el presente estudio.

Dicha información, más la interpretación de fotografías aéreas presentadas en las Figuras 4.1 y 4.2 y relacionadas en el Cuadro 4.1, fue analizada, confrontada y corroborada con la exploración geológica en campo dentro el área de interés, obteniéndose como resultado la necesidad de realizar algunas modificaciones al mapa base.

Dichas modificaciones consistieron en lo siguiente:

1. Se definieron y se ubicaron las unidades de depósitos no consolidados levantados en el área del Barrio Triunfo Sur.
2. Se ubicaron y se relacionaron las fallas geológicas levantadas en dos barrios y se modificó su trazado.



LEYENDA

Qc Depósito coluvial

Qta Depósito de terraza

Tpr Formación Regadera Inferior

CONVENCIONES

f Fractura geológica (Falla)

Drenaje

Contacto geológico

Escarpes

CONTIENE:
FOTOINTERPRETACION, FOTOGRAFIA No. 840, VUELO C-35 DEL AÑO 1940.

DIRECCION DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS
ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.

INGEMETRICA LTDA.
Ingenieros Consultores

REALIZO: INGEMETRICA LTDA

ESCALA FOTO: 1 : 22.000

FECHA: ABRIL DE 2002

PROYECTO:
ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCION EN MASA Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE CONTROL PROTECCION Y ESTABILIZACION BARRIO EL TRIUNFO SUR

FIGURA N°: 4.1.



LEYENDA

Oc Depósito coluvial

Tpr Formación Regadera Inferior

CONVENCIONES

Fractura geológica (Falla)

Drenaje

Contacto geológico

Escarpes

CONTIENE:
FOTOINTERPRETACIÓN, FOTOGRAFIA No. 1422 , VUELO R-1131 DEL AÑO 1990.

DIRECCION DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS
ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.

INGEMETRICA LTDA.
Ingenieros Consultores

REALIZO:
INGEMETRICA LTDA

ESCALA FOTO:
1 : 5000

FECHA:
ABRIL DE 2002

PROYECTO:
ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE CONTROL, PROTECCION Y ESTABILIZACION BARRIO EL TRIUNFO SUR

FIGURA N°:
4.2.

Cuadro **4.1** Fotografías aéreas utilizadas.

SOBRE	VUELO	Nº DE FOTOS	ESCALA	AÑO
S-844	C-35	839-840	1:22000	1940
S-8550A	R-1131	1421-1423	1:5000	1990

Con base en lo anteriormente comentado se hace la caracterización de las condiciones encontradas.

4.2.2 Litoestratigrafía Regional

El subsuelo La localidad de Rafael Uribe Uribe a la cual pertenece el barrio el Triunfo Sur, Las Colinas, Luís López de Mesa u otros, esta conformado en profundidades por rocas del Terciario, de edad Eoceno Medio, correspondientes a la Formación Regadera (Tr). La sección tipo ha sido medida en el flanco occidental del sinclinal de Usme, al sur de la población del mismo nombre. Su espesor total según Acosta y Beltrán (1987) es de 345 metros, pero según Julivert (1961) la Formación alcanza 400 metros.

La Formación Regadera fue nombrada por HUBACH (1957) como miembro litológico de guía, que se distingue muy fácilmente de las formaciones sub y sobre yacentes, tales como Bogotá y Usme, ambas de composición predominantemente arcillosa.

La Formación Regadera consta de dos niveles: Inferior y Superior.

El conjunto inferior de la Formación (Tpri) se presenta en bancos de arenisca cuarzofeldespática, poco consolidada, color gris claro a blanco, de grano frecuentemente grueso, con algunas capas lenticulares de conglomerados finos y matriz arcillosa, con estratificación cruzada y espesores entre 0,5 y 15 metros. Las areniscas alternan con arcillolitas o lodolitas rosadas y rojizas con espesores que no sobrepasan los 30 cm y que en ningún momento le quitan a este nivel el carácter

dominantemente arenoso. Este conjunto aflora ampliamente en el sector Uribe Uribe, donde forma la serranía de Guacamayas y en el flanco occidental del sinclinal de Usme (ver Plano 2).

El conjunto superior de la Formación Regadera (Tprs) es predominantemente arcilloso y en el área de la localidad de Rafael Uribe Uribe aflora a partir de la carrera décima hacia el occidente, la cual no se alcanza a apreciar en el Plano 2.

Dentro de las características especiales se anota, que el conjunto inferior es un nivel resistente que se destaca en la topografía, aunque las areniscas son muy friables por lo cual se explotan para obtener arena y recebo.

La Formación Regadera yace sobre la Formación Bogotá y este contacto es erosivo y en algunos sitios fallado. Con la Formación Usme el contacto es concordante.

Espacialmente, en algunos sitios sobre la Formación Regadera yacen en contacto discordante los depósitos no consolidados recientes, provenientes de sedimentos flúvio-lacustres (Formación Sabana, Qtb), rellenos de origen antrópico (Qra) y coluviones (Qc), producto de derrumbes y deslizamientos de depósitos de suelos residuales y rocas alteradas.

4.2.3 Geología Estructural Regional

La localidad de Rafael Uribe Uribe se encuentra ubicada en un bloque tectónico levantado, delimitado por fallas regionales, identificadas por INGEOMINAS: al sur-occidente Falla Guacamayas (margen derecha del río Tunjuelito) al nor – oriente la Fiscala (coincide en su trazado con el canal de la Calle 31 Sur) de dirección aproximada N30°W, y al sur una Falla sin nombre de dirección N60°E (a la altura de la Carrera 10ª). Al nor-occidente no se han detectado fallas cercanas al área de estudio.

En el centro del Bloque mencionado se encuentra una gran estructura - sinclinal de Usme, que sigue el mismo rumbo de las fallas Guacamaya y La Fiscala. El área de estudio se ubica en el flanco oriental del sinclinal de Usme, donde el ángulo de

buzamiento de la estratificación varía entre 10° y 30° al SW (ver Plano 2, Anexo 2).

En el Barrio Luís López de Mesa, ubicado a unos 200 m del Barrio Triunfo Sur, según el estudio de INDESA LTDA el bloque se encuentra perturbado por tres fallas locales de menor rango, con dirección E-W (Ver Plano 2 – Geología Regional). La intensa actividad tectónica genera alto fracturamiento del macizo rocoso y condiciona su comportamiento mecánico en taludes. Debido a la presencia de fallas y la intensidad del fracturamiento dividieron el talud estudiado en 3 regiones a saber:

- Región 1 - Costado Sur. Bancos de Arenisca
- Región 2 - Zona de falla.
- Región 3 – Costado Norte. Bancos de Arenisca

Dicha división puede ser válida para el Barrio Triunfo Sur.

4.2.4 Geomorfología Regional

La zona se ubica en el área de colinas redondeadas de tipo estructural, pues corresponden a un bloque tectónico levantado. En esta geoforma principal se desarrollan otras formas de origen denudativo, que corresponden a los valles originados por corrientes de agua superficial, relacionas con las zonas afectadas por fallas (ver Fotografía aérea año 1940 de la Figura 4.1).

Actualmente ambas formas naturales de relieve se encuentran modificadas por la actividad antrópica, más concretamente por las canteras y actividad urbanística (Ver Figura 4.2).

La tercera forma tiene origen acumulativo y corresponde a las terrazas antrópicas de depositación de materiales de excavación y basuras sobre las pendientes y dentro de los valles denudativos.

Las pendientes del terreno natural se pueden clasificar como moderadas y no sobrepasan los 45° y solo en las áreas de escarpes antrópicos llegan a ser mayores, incluso con taludes negativos.

Debido a la intervención urbanística del área, se ha producido su recubrimiento por pavimentación de vías, construcción de campos deportivos, colegios y viviendas, quedando muy pocos sitios al descubierto. En las vías que aún se encuentran sin pavimentar y en las antiguos escarpes de excavación el proceso morfodinámico principal es erosión, la cual en los sitios de mayor pendiente genera cárcavas y caídas de bloques desde los escarpes erosionados.

4.2.5 Aspectos Geotécnicos Generales

Los aspectos geotécnicos se refieren a los propiedades físicas y mecánicas de las unidades litoestratigráficas de la zona y clasificación del macizo rocoso. En los archivos de DPAE se encontraron dos estudios, que contienen una información geotécnica sobre las propiedades de roca de la Formación Regadera, que es muy útil para el presente estudio. Estos estudios corresponden a los Barrios Luís López de Mesa y Carolina - Mirador De Marrocos. Los resúmenes de resultados de ensayos realizados en estos Barrios se presentan en el Anexo 1.

El programa de ensayos de los estudios mencionados se dirigió a la caracterización general del material rocoso y a la estimación de la resistencia al corte en los planos de discontinuidad.

Los valores del índice de carga puntual está comprendido entre 1.1 kg/cm^2 y 10.8 kg/cm^2, relacionando con esto una banda amplia de resistencia a compresión simple desde 25 kg/cm^2 hasta 241 kg/cm^2 (Tablas Nos. 3.1 y 3.2 del Anexo 1). Esto clasifica a estas rocas de resistencia baja a muy baja.

Con el fin de estimar la resistencia al corte en los planos de discontinuidad, se tuvieron en cuenta los resultados de ensayos de bloque deslizante realizados en el barrio Carolina – Mirador de Marrocos para la Formación Regadera, realizados por la firma consultora Hidrogeología y Geotecnia Ambiental Ltda. Es de anotar, que dicho ensayo es simplificado y no se encuentra reglamentado en normas Colombianas. Los resultados obtenidos no son confiables, pues el ángulo se define por el deslizamiento del bloque por una superficie de concreto y no se tiene en cuenta ni el material de relleno ni la cohesión.

No se realizaron ensayos sobre relleno antrópico, restando así su importancia.

4.3 GEOLOGÍA LOCAL

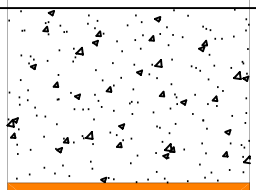
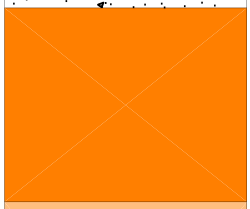
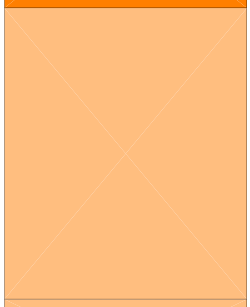
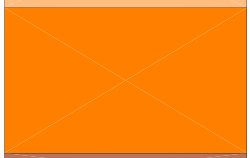
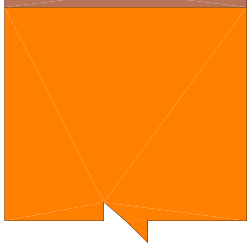
4.3.1 Unidades Litológicas del Área de Estudio

Para el cumplimiento del objetivo trazado se desarrollaron las actividades descritas en el capítulo 3. Con base en estas actividades y el levantamiento geológico detallado sobre cartografía a escala 1:250, se elaboró el Plano 3 de geología local (ver anexo 2), donde se presentan la planta y los perfiles litoestratigráficos.

Para la definición de unidades geológicas del área de estudio también se tuvo en cuenta la geología detallada del Barrio Luís López de Mesa, ubicado a unos 200 m al norte, donde se presenta el modelo estratigráfico en una longitud de 155 m.

En general, las actividades llevadas a cabo se encaminaron hacia la delimitación de contactos entre las diferentes unidades litoestratigráficas, definición de sus espesores y particularidades en cada sector, con el fin de conformar un modelo geológico del área.

El modelo presentado permite apreciar la conformación de la secuencia estratigráfica, integrada por bancos de areniscas y arcillolitas, y nítidas diferencias entre el costado norte y sur, pero con un claro dominio de bancos de arenisca friable, tal como se puede apreciar en las columnas estratigráficas presentadas en las figuras 4.3, 4.4 y 4.5.

ESPESOR	SÍMBOLO	LITOLOGÍA
		Relleno antrópico, compuesto por desechos de basura como plásticos, cauchos, vidrios, escombros de excavación dentro de una matriz arcillosa de alta plasticidad.
1.80		Arenisca de color amarillento a naranja, muy fracturada y meteorizada con pequeños niveles de arcillolitas.
3.80		Arenisca de color amarillo oscuro, de grano grueso a conglomerático, con pequeñas intercalaciones de arcillolitas de color rojizo, meteorizada, blanda.
6.80		Intercalación de arenisca de color amarillo claro, fracturada con trazas de óxido, deleznable y arcillolitas blancuzcas, caoliniticas.
8.00		Areniscas completamente meteorizadas, rojizas a amarillentas, de grano medio a grueso, con niveles pequeños de arcillolitas caoliníticas, blandas.
9.50		Arcillolita meteorizada de color claro a amarillento, con pequeñas vetas de óxido.
9.80		Arenisca friable, amarillenta, bastante diaclasada y meteorizada, de grano fino a medio, formando taludes negativos.
12.00		

DIRECCION DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS
ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.

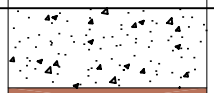
INGEMETRICA LTDA.
Ingenieros Consultores

CONTIENE:
COLUMNA ESTRATIGRAFICA No 1.
ZONA SUR

PROYECTO:
ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE CONTROL PROTECCION Y ESTABILIZACION BARRIO EL TRIUNFO SUR

FECHA:
ABRIL DE 2002

FIGURA Nº:
4.3.

ESPESOR	SÍMBOLO	LITOLOGÍA
1.00		Relleno antrópico, compuesto por desechos de basura como plásticos, cauchos, vidrios, escombros de excavación dentro de una matriz arcillosa de alta plasticidad.
1.30		Arcillolitas de color gris claro a blanco, consistencia blanda.
2.30		Intercalaciones de arenisca altamente meteorizada y diaclasada con arcillolita alterada.
3.60		Areniscas de color amarillo claro a naranja, de grano grueso a conglomerático, bastante meteorizada y diaclasada.
6.10		Intercalaciones de arenisca de color amarillo claro, fracturada,con trazas de óxido, deleznable y arcillolitas blancuzcas caoliníticas
7.10		Banco de areniscas diaclasadas, de color amarillo claro friable de grano fino a medio, con pequeñas intercalaciones de arcillolitas.
7.30		Arcillolitas de color gris claro a blanco, consistencia blanda.
7.80		Areniscas de color amarillo claro de grano medio a grueso, friables y diaclasadas.
8.10		Arcillolitas de color gris claro con vetas de óxido.
9.30		Banco de areniscas diaclasadas, de color amarillo claro, friable, de grano fino a medio, con pequeñas intercalaciones de arcillolitas.
11.30		Intercalaciones de arenisca de color amarillo claro, fracturada,con trazas de óxido, deleznable y arcillolitas blancuzcas caoliníticas
13.30		Banco de areniscas de color amarillento, de grano fino a medio, oxidadas, en matriz arcillosa con pequeñas vetas de óxido.

DIRECCION DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS
ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.

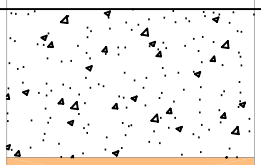
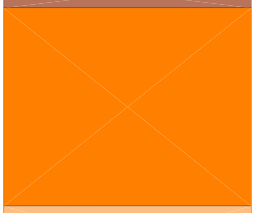
INGEMETRICA LTDA.
Ingenieros Consultores

CONTIENE:
COLUMNA ESTRATIGRAFICA No 2.
ZONA DE FALLA

PROYECTO:
ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE CONTROL PROTECCION Y ESTABILIZACION BARRIO EL TRIUNFO SUR

FECHA:
ABRIL DE 2002

FIGURA N°:
4.4.

ESPESOR	SÍMBOLO	LITOLOGÍA
		Relleno antrópico, compuesto por desechos de basura como plásticos, cauchos, vidrios, escombros de excavación dentro de una matriz arcillosa de alta plasticidad.
1.50		Arenisca de color amarillo claro, moderadamente meteorizada y diaclasada, de grano grueso a conglomerático.
2.00		Arcillolitas rojizas a grises, meteorizadas
2.30		Areniscas de color amarillo claro, ligeramente meteorizadas.
2.70		Arcillolitas rojizas a grises, meteorizadas
3.00		Banco de arenisca de color amarillo claro, de grano medio, diaclasada, con vetas rellenas de óxido de hierro.
5.00		Intercalaciones de areniscas y arcillolitas meteorizadas en capas delgadas.
5.70		Areniscas de color amarillo claro, ligeramente meteorizadas.
6.40		Arcillolitas rojizas a grises, poco meteorizadas
6.80		Areniscas de color amarillo claro, friables.
7.20		Arcillolitas rojizas a grises, poco meteorizadas
7.70		Areniscas de color amarillo claro, friables.
8.30		Arcillolitas rojizas a grises, poco meteorizadas
8.60		

DIRECCION DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS
ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.

INGEMETRICA LTDA.
Ingenieros Consultores

CONTIENE:
COLUMNA ESTRATIGRAFICA No 3.
ZONA NORTE

PROYECTO:
ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE CONTROL PROTECCION Y ESTABILIZACION BARRIO EL TRIUNFO SUR

FECHA: ABRIL DE 2002

FIGURA N°: 4.5.

A continuación se hace una descripción de las unidades geológicas presentes en el área de estudio, las cuales se enuncian desde las más antiguas hasta las más recientes.

Formación Regadera Inferior (Tpri)

Con base en la columna litológica No.3 levantada en el costado norte (ver figura 3.1), se determinó que hacia la base de la secuencia aflorante se presentan niveles de arenisca cuarzosa, de grano medio a grueso y a veces conglomerática, en estratificación cruzada, de color amarillo, con vetas de óxido, friable. Los espesores de éstas areniscas van desde 0.5 hasta 1.2 metros (ver Foto 4.1). Los estratos de arenisca están intercalados por niveles de arcillolita o limolita de 0.2 a 0.70 metros de espesor con tonalidades grises, violetas y en algunos casos blanca caolinítica.

En la parte media se presentan paquetes de arenisca, de grano medio a grueso, de color amarillo claro, oxidada friable, con un espesor de 0.50 m, con intercalaciones de arcillolitas, de color gris claro a blanco, blandas y húmedas.

Formación Regadera Inferior alterada (Tpri–a)

A esta parte de la Formación Regadera Inferior pertenecen rocas altamente fracturadas y alteradas a arcilla que conforman la Zona de Falla y la parte sur del escarpe (ver Foto 4.2) .

Este nivel es un poco mas arcilloso. Básicamente los materiales que conforman este nivel corresponden a intercalaciones de arenisca meteorizada y fracturada con arcillolitas de tonalidades grises a blancas meteorizadas.

Las areniscas son poco cementadas, friables, blandas, de colores rojo, amarillo y blanco, estratificación cruzada en artesa a gran y pequeña escala. Tienen gradación lateral y niveles que son granodecrecientes, la selección es moderada (se observan guijarros hasta en un 12%), y la composición varía de una subarcosa a una wacka arcósica.



Foto 4.1 Zona Norte
Los estratos de arenisca intercalados con niveles de arcillolita.



Foto 4.2 Zona de Falla
Roca altamente fracturada.



Foto 4.3 Zona Sur
Intercalaciones de arenisca meteorizada y fracturada con arcillolitas

Las arcillolitas son limosas de color amarillo y gris claro, infrayaciendo unidades de grano más grueso, contienen muscovita y minerales autigénicos de aluminio, poseen estratificación plano-paralela.

Relleno antrópico (Qra).

Se trata de un depósito de material mixto, conformado por: escombros de excavación con bloques de diversos tamaños, material de descapote y basuras (plásticos, cauchos, desechos orgánicos, pedazos de vidrio entre otros). El espesor de relleno en la parte superior varía en dirección Norte-Sur entre 1.0 metro y 1.80 metros. En la parte inferior de la zona sur, frente al escarpe este relleno alcanza un espesor de 5 m (ver Foto 4.3).

El conjunto de características litológicas y estructurales del área de estudio han permitido consolidar su división en tres regiones. Las dos primeras regiones diferenciadas por su ambiente de sedimentación y disposición estructural, esculpen los costados sur (región 1) y norte (región 3) del escarpe de explotación. Los anteriores regiones están separadas por una franja altamente fracturada, acuñada entre dos trazas de falla, denominada zona de falla o región 2.

4.3.2 Geomorfología Local

Las expresiones geomorfológicas del área, donde se desarrolla el presente estudio se han originado como resultado de la interacción de los procesos naturales exógenos (denudativos, acumulativos), que sumados a la composición litológica del subsuelo determinan formas del relieve preexistente. Este relieve actualmente se encuentra modificado casi en su totalidad.

Con ayuda de fotografías aéreas relacionadas en el Cuadro 4.1 suministradas por IGAC, se pudo realizar un seguimiento de la transformación geomorfológica.

En las fotografías de 1940, se observa la topografía natural de áreas aledañas. En general, la geomorfología existente pertenecía a colinas propias de la Formación Regadera, vegetación abundante y drenajes naturales largos. En las fotos se observa que las primeras explotaciones de arena se llevaron a cabo en inmediaciones de la Avenida Caracas sobre el sector del Barrio Quiroga.

Posteriormente, estas áreas planas fueron urbanizadas, modificando también la morfología existente.

En las fotografías del año 1990 se observa que un 95% del área cubierta por las fotografías de 1940 ya han sido intervenidas a consecuencia de la explotación de canteras y de expansión de la ciudad.

El criterio que se ha considerado para la definición de las unidades geomorfológicas es el proceso geodinámico dominante actual, que se ha evidenciado en el área de estudio. Inicialmente se diferenciaron dos áreas homogéneas: una donde predomina el proceso denudativo y otra con el proceso acumulativo. Cada una de las geoformas principales identificadas de origen denudativo o acumulativo, a su vez se dividieron en unidades geomorfológicas de acuerdo a la morfometría (pendientes) y desarrollo actual de procesos.

En el cuadro 4.2 y en el plano 4 del Anexo 2, se indican las geoformas presentes en el área objeto del estudio y los procesos geomorfológicos inventariados en el terreno o probables (Ver Anexo 8). Las unidades antes mencionadas son las siguientes:

Terrazas antrópicas en roca (D-1)

Son geoformas de pendiente suave a moderada, que oscila entre los 5 y 10º aproximadamente en las bermas, con taludes de pendientes altas. Estas áreas corresponden a zonas de invasión y partes planas, dejadas por la explotación de la antigua cantera. Sobre esta geoforma se desarrolla el proceso de erosión laminar en surcos y localmente caída de detritos desde los taludes.

Taludes antrópicos en roca (D-2)

Es una unidad geomorfológica fácilmente identificable en el área ya que a ésta pertenecen los escarpes de roca de explotaciones que existieron por mas de treinta años. Estos escarpes alcanzan pendientes que llegan incluso hasta los 90º y una altura de 15 metros. Debido a las características geomecánicas que ofrecen las areniscas de la Formación Regadera Inferior estas son susceptibles a una meteorización física avanzada, llevándose a cabo procesos morfodinámicos como erosión laminar y lavado del relleno de las fracturas, caída de bloques y detritos.

Cuadro **4.2** Características de las unidades geomorfológicas.

GEOFORMA PRINCIPAL (morfogénesis)	UNIDAD	CARACTERISTICAS DE LAS FORMAS		
		Inclinación en grados	Descripción	Procesos morfodinámicos actuales
DENUDATIVO (D) ANTRÓPICO	D-1 Terrazas antrópicas en roca	5 - 10º	Relieve suave a moderado resultantes de la explotación de antiguas canteras.	Erosión diferencial, principalmente. Acumulación de bloques.
	D-2 Taludes antrópicos en roca	80 - 90º	Pertenecen los escarpes de roca de explotaciones antiguas, son susceptibles a una meteorización física intensa.	Caída de bloques y detritos, erosión diferencial y laminar, acumulación de bloques.
ACUMULATIVO (A) ANTRÓPICO	A-1 Terrazas antrópicas en relleno	5 - 20º	Unidad geomorfológica con pendientes suaves cubierta por materiales antrópicos como recebo compactado.	Erosión laminar
	A-2 Taludes antrópicos en relleno	35-50º	La geoforma hace parte del área cubierta por rellenos antrópicos. La altura de los taludes no superan los 6 metros.	Erosión laminar y en surcos, caída de bloques y pequeños deslizamientos.

Terrazas antrópicas en relleno (A-1)

Unidad geomorfológica con pendientes suaves, conformada por materiales de excavación y recebo pobremente compactado. Hacen parte de esta unidad principalmente la vía de acceso a las viviendas localizadas en la parte superior de los taludes existentes y explanaciones pequeñas para patios de algunas casas. Sobre estas geoformas se desarrolla el proceso de erosión laminar.

Taludes antrópicos en relleno (A-2)

Se caracteriza por presentar pendientes que oscilan entre los 22º y 51º de inclinación. La geoforma hace parte del área cubierta por rellenos antrópicos, compuestos de materiales de excavación y basuras. La altura de los taludes no supera los 6 metros. Los procesos que se desarrollan en esta unidad son: erosión laminar y en surcos, caída de detritos y pequeños deslizamientos (menor de 2 m^3) en

la parte superior; y asentamientos en la parte baja del talud de la zona sur. Taludes antrópicos en relleno se localizan en la parte central del área de estudio (ver Plano 4).

4.3.3 Discontinuidades

Como se pudo observar en el terreno, los problemas de inestabilidad del área de estudio están asociados a discontinuidades en los taludes rocosos del sector. Aunque los estratos de roca buzan en sentido contrario de la pendiente del terreno, debido a fracturamiento se aprecian cuñas que desfavorecen la estabilidad.

Para conocer las características de fracturamiento del macizo rocoso se efectuó el levantamiento de discontinuidades en el terreno (140 datos), cuyo registro se presenta en el Anexo 4. En el cuadro 4.3 se indican las características más importantes de las familias de discontinuidades. Para el levantamiento de diaclasas se tuvo en cuenta la orientación del talud dentro de los bloques estructurales demarcados en el plano 3.

La discontinuidad principal es la estratificación. La orientación de los estratos es constante (N28°W), variando el buzamiento en cada una de las zonas identificadas de 11° a 37° al SW. En los perfiles estratigráficos presentados en el plano geológico se ve claramente que la estratificación buza en sentido contrario de la pendiente del terreno, lo cual es favorable para la estabilidad.

Otra estructura importante que se presenta en la parte central del talud es una Falla con dirección general N80E a EW/80°SE. Presenta una zona de bloques de arenisca en matriz limo arcillosa, sin evidencias de estratificación, con un ancho de 5 a 7 metros, la cual denominamos como brecha de falla. La longitud estimada de esta falla, según se puede observar en las fotografías aéreas, es de aproximadamente 1 km. Aparentemente, el flanco sur ha bajado con respecto al flanco norte, desconociéndose la magnitud del salto. La falla forma una gran cuña y ha afectado en mayor grado las rocas en el Bloque Sur, razón por la cual se amplió la zona de influencia de la falla hasta los 16 metros en esta dirección. Con esta zona están correlacionados los procesos de derrumbes y caídas de bloques. Es la zona que requiere de mayor atención.

En el extremo norte del talud se presenta una cizalla, que es una falla de pequeña magnitud con un desplazamiento de bloques de 1m, subiendo la parte norte y bajando la parte sur. Esta discontinuidad se encuentra ligeramente abierta (5-10 cm) con relleno arcilloso. El rumbo de la cizalla es similar a la falla de la zona central.

Todo el escarpe de excavación muestra numerosas diaclasas. Por las diaclasas con buzamiento en dirección de la pendiente del talud y rumbo paralelo a la dirección del escarpe cabe la posibilidad de falla por volcamiento de bloques o toppling y falla en cuña. Se han observado en terreno varias cuñas entre las diaclasas, por ejemplo: N76E/65NW, N15W/85NE y la estratificación, como se puede observar en la Foto 4.4.

4.4 CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS

En el modelo hidrogeológico para los Acuíferos de Bogotá, la Formación Regadera es unida a la Formación Bogotá Superior en una sola unidad hidrogeológica, definida como una capa semiconfinante Bogotá-Regadera, la cual se caracteriza como un acuitardo discontinuo de extensión regional, asociado a rocas arcillosas con algunas intercalaciones de areniscas.

Se le asigna unos valores de conductividad hidráulica equivalente de 0,08 m/día y un coeficiente de almacenamiento equivalente de $1x10^{-6}$ m^{-1}. Estos valores son estimados, pues no hay pozos de agua en dicha capa.

Sin embargo, la unión de estas dos formaciones en una sola unidad hidrogeológica no parece ser correcta, pues como hemos mencionado en el numeral correspondiente a litoestratigrafía, el miembro inferior de la Formación Regadera se describe como predominantemente arenoso y conglomerático, de bajo nivel de consolidación y friable, lo que hace pensar que esta unidad es permeable. Además de lo anterior, se debe tener en cuenta el alto fracturamiento de las rocas que debe aumentar su permeabilidad significativamente.

Cuadro 4.3 Resumen de las familias de discontinuidades resultantes.

ZONA	ORIENTACIÓN DE LOS ESTRATOS	DIRECCIÓN DEL TALUD	FAMILIA DE DIACLASAS	OBSERVACIONES
I	N28W/37SW	N32W/89NE	N68E/66NW	Diaclasas continuas, con apertura < 0.5 cm, relleno arcilloso, y espaciamiento de 30 cm a 1 m.
			N78W/81NE	Continuidad de 2 – 5 m, con apertura de 0.5 – 5 cm y relleno de limos y arcillas.
II	N29W/11SW	N10W/90	N64W/72SW	Continuidad oscila 5 –10 m, abierta de 0.5 a 5 cm. Con relleno de arcilla, limo y arena.
			N75E/74NW	Continuidad > 10 m, espaciada 30 cm a 1 m, con apertura de 0.5 a 5 cm, sin relleno.
			N32W/60NE	Diaclasa continua, de 0.5 a 5 cm de apertura y relleno de arcilla, limo, arenas y óxidos.
			67E/48SE	Continuas > 10 m, bastante próximas, abierta de 0.5 a 5 cm y relleno arcilloso.
III	N27W/28SW	N20E/85SE	N55W/47SW	Continuidad media, próximas de 5 a 30 cm, apertura < 5 cm y rellenas de arcilla.
			N35E/55SE	Continuidad de 5 a 10 m, próximas , apertura < 5 cm y relleno de arcilla, arena.
			N60E/69NW	Diaclasa poco continua, ligeramente abierta y sin relleno.
			N15W/85NE	Continuidad de 5 a 10 m, apertura < 0.5 cm y relleno de arcilla y limo.
			N80E/80SE	Continuas, abiertas de 0.5 a 5 cm, relleno arcilla, limo y arena.



Foto 4.4 Cuñas inestables en la Zona Norte.

En el área de estudio no se observaron afloramientos de agua subterránea ni se detectaron niveles freáticos por los ensayos geoeléctricos ni en los sondeos manuales realizados, aún en los días de lluvia intensa. El macizo rocoso se encuentra bien drenado. Los depósitos no consolidados se encuentran bastante húmedos, pero sin presentar tabla de agua.

4.5 ZONIFICACIÓN GEOMECÁNICA

4.5.1 Criterios empleados y procedimiento

Los criterios empleados para la zonificación fueron desarrollados por Popov I. V. en el año 1947 (Tchemodanova, 1998) para la clasificación de rocas en estudios de ingeniería geológica regional, quien propuso diferenciar como unidades taxonómicas independientes: territorios, regiones, provincias, sectores y subsectores de diferente orden. El esquema de los principios básicos de la clasificación de Popov I. V. soportó la revisión del tiempo, fue reconocida por la Sociedad Internacional de Ingenieros Geólogos (IAEG) y utilizada en el Manual de Cartografía Geotécnica, elaborado por encargo de UNESCO para los países en desarrollo[1].

La base para la realización de la zonificación geomecánica la constituyen los estudios geológicos, geomorfológicos y geotécnicos del terreno.

El procedimiento adaptado para la zonificación geomecánica fue el siguiente:

a) Utilizando el primer criterio (tecto-estructural), el área se dividió en tres bloques (territorios), delimitadas por las fallas y linderos del área de estudio. El primero (I) de ellos, ubicado en el costado sur de la zona de estudio, el segundo (II) pertenece a la zona de falla y el tercer (III) bloque se ubica hacia el costado norte.

[1] ASIG, Asociación Internacional de Ingeniería Geológica*, Engineering Geological Maps, A guide to Their Preparation*. Paris. UNESCO press, 1976, 128p.

b) A partir del criterio de edad y génesis de los materiales que conforman cada uno de los bloques, cada uno de ellos se dividió en zonas, cuyos límites los constituyen los contactos litológicos.
c) Teniendo en cuenta el criterio geomorfológico (morfogénesis, morfometría y morfodinámica), que comprende el proceso de formación y desarrollo del relieve actual, cada uno de los bloques anteriores se dividió en dos (2) regiones geotécnicas generales, donde se observa una homogeneidad a nivel morfogenético:

   I, II y III – D, donde predomina el proceso denudativo
   I, II y III –A, donde predomina el proceso de acumulación de materiales.

   Dentro de regiones se delimitaron los contornos de geoformas definidas en el mapa geomorfológico: Los escarpes antrópicos en roca (D-1), las terrazas antrópicas en roca (D-2), los taludes antrópicos en relleno (A-1) y las terrazas antrópicas en relleno (A-2).

De esta forma se obtuvieron los sectores homogéneos a nivel estructural, litológico y morfológico, pues como dice Popov (1947), si dichas condiciones dentro de una cierta área son homogéneas, sus condiciones geotécnicas también deben ser similares. Igualmente, las condiciones geotécnicas de diferentes sectores homogéneos no son iguales.

Esto quiere decir que en sectores diferentes entre si, tanto las propiedades físico – mecánicas de los materiales que los conforman, como el tipo y la intensidad de los procesos geodinámicos que se desarrollan en ellas son diferentes.

Con base en los anteriores resultados se elaboró el plano 5 de las áreas geomecánicas homogéneas, que se presentan en el anexo 2.

Para cada uno de los sectores homogéneos, con importancia para los análisis de estabilidad se definieron las propiedades físico- mecánicas, con base en los resultados de laboratorio y de campo. En el Cuadro 4.3 se presenta la zonificación geomecánica resultante del área de estudio. En este cuadro también se presenta la clasificación geomecánica de las rocas según Lomtadze (Tchemodanova, 1998) y la categorización de la respuesta sísmica de cada uno de los sectores homogéneos de acuerdo con NSR-98.

4.5.2 Caracterización de los Sectores

De acuerdo con la zonificación realizada, el área de estudio se ha dividido en tres bloques, los cuales tienen un comportamiento diferente, aunque las propiedades fisico-mecánicas de los materiales tienen similitud.

Zona I – Sur.

Empieza en proximidades de las escaleras que dan acceso a la carrera 14 B Bis y termina allí donde en el escarpe se nota la zona de falla. En la parte superior está el peatonal de la Diagonal 32 G Sur, mientras en la parte inferior se ubica una casa prefabricada, construida sobre un relleno antrópico (Sector I-A-2) de aproximadamente 5 m de espesor. La parte media está dominada por el escarpe de roca (Sector I-D-2), el cual tiene pendientes próximas a 90°, con alturas que oscilan entre 2 m en las escaleras y 12 m hacia la parte más alta.

En la cúspide del talud aparece un relleno compuesto por afirmado y material de desecho (Sector I-A-1), con espesor de 1.0 a 1.8 m.

En la parte inferior, donde se ubica la casa prefabricada, el relleno antrópico descansa sobre la plataforma rocosa de la antigua explotación de la cantera y está constituido por materiales excavados en la parte superior para construir las casas. Por lo visto el relleno se compone de arcillas, bloques, suelos negros y basura.

La casa prefabricada se construyó sobre ese relleno sin compactación, el cual necesariamente a través de los años debe asentarse por el proceso natural de consolidación que debe ocurrir. Este fenómeno produjo en la casa los agrietamientos que se observan.

En cuanto a propiedades fisico-mecánicas de los materiales de esta zona, es necesario anotar que dado el bajo espesor del material no consolidado de la cúspide del talud, no se encontró necesidad de averiguar sus características, pues no será objeto de evaluaciones cuantitativas de estabilidad. Se sabe, si que en los ensayos de SPT la penetración fue de 16 a 18 golpes/pie.

La parte importante la constituye el escarpe (Sector I-D-2), y para los materiales allí expuestos se hallaron mediante ensayos los siguientes parámetros geomecánicos:

Peso unitario, γ:	2.3- 2.4t/m^3
Ángulo de fricción interna, φ:	36-38°
Cohesión, c:	0.2-0.38 kg/cm^2
Índice de carga puntual, Is:	1.07 kg/cm^2

En el relleno de la pata (Sector I-A-2) los parámetros geomecánicos hallados son:

Humedad natural, w:	13.9-29.5%
Límite Líquido, LL:	44.9%
Límite Plástico, LP:	21.3%
Índice de Plasticidad, IP:	23.6
Índice de Liquidez, IL:	0.35
Peso unitario, γ:	2.1 t/m^3
Ángulo de fricción interna, φ:	33°
Cohesión, c:	0.23 kg/cm^2
Penetración, SPT:	12-20 golpes/pie
Resistencia a la compresión (penetrómetro de bolsillo):	1.1-2.05kg/cm^2

Zona II – Central.

Está conformado por una falla y sus alrededores, abarcando unos 16 m a lo largo del escarpe.

Sobre la corona del escarpe se encuentra un relleno antrópico (Sector II-A-1) de aproximadamente 1.80 m de espesor, el cual conforma la vía peatonal de la Diagonal 32 G Sur. Dado su bajo espesor, allí no se requiere hacer análisis cuantitativos de estabilidad.

En el escarpe de roca (Sector II-D-2) se han presentado socavaciones, por acción de corriente de agua, que han generado desprendimientos y carcavamientos hacia lugar de la falla. En general, en este sector los parámetros geomecánicos, tomados de los ensayos de laboratorio son:

Peso unitario, γ:	2.3- 2.4t/m^3
Ángulo de fricción interna, φ:	36-38°
Cohesión, c:	0.2-0.38 kg/cm^2

Para el relleno de la parte superior (Sector II-A-1) los parámetros seleccionados, según los ensayos realizados son:

Humedad natural, w:	9.5%
Límite Líquido, LL:	28.1%
Límite Plástico, LP:	15.5%
Índice de Plasticidad, IP:	12.6
Índice de Liquidez, IL:	0.48

Zona III - Norte

Se caracteriza por estar conformado en su totalidad por roca (Sector III-D-2) con unos espesores de suelo en la parte superior, que no superan 1.5 m. Allí en la cresta se asentaron varias familias en tugurios, creando una situación de peligro para la estabilidad del talud, debida a la infiltración de aguas domésticas, las cuales pueden lubricar planos de diaclasas y producir deslizamientos.

La pata del talud también está invadida por viviendas, las cuales se encuentran pegadas al escarpe. El escarpe de roca es casi vertical y tiene una altura alrededor de 15 m.

Los parámetros geomecánicos, relacionados según los ensayos de laboratorio son:

Peso unitario, γ:	2.3- 2.4t/m^3
Ángulo de fricción interna, φ:	36-38°
Cohesión, c:	0.2-0.38 kg/cm^2
Índice de carga puntual, Is:	5.9 kg/cm^2

Es de anotar, que los parámetros de corte del material rocoso se hallaron con ensayos de corte directo por los planos de diaclasas desfavorables para la estabilidad del talud, encontrándose que para los tres sectores los valores de ángulo de fricción interna y cohesión son muy similares. Esto permite seleccionar el mismo

Cuadro 4.4 Caracterización de sectores homogéneos

BLOQUE	GEOFORMA	PENDIENTE	CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS		CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA	PROPIEDADES			RESPUESTA SÍSMICA	
			UNIDAD	DESCRIPCIÓN		FÍSICAS	HÍDRICAS	MECÁNICAS	GRUPO	Fa
I	A-1	5 - 10	Qra	Recebo granular apisonado	3				C	1,2-1,8
	A-2	20 - 40	Qra	Suelo orgánico con basura	5	γ = 2,1 T/m^3	w = 13,9 - 29,5%	ϕ = 33° c = 0,23 Kg/cm^2	E	2,6-3,0
	D-1	5 - 10	Tpr	Areniscas	1	γ = 2,3 T/m^3 n = 7,4%		ϕ = 36° c = 0,38 Kg/cm^2 Is = 1,07 Kg/cm^2	A	0,1-0,8
	D-2	70 - 80	Tpr	Areniscas	1				A	0,1-0,9
		80 - 90	Tpr-a	Arcilla de color rojo,consistencia dura	4				B	
II	A-1	5 - 10	Qra	Recebo granular apisonado	3				C	1,2-1,8
	A-2	15 - 50	Qra	Suelo orgánico con basura	5		w = 9,5%		E	2,6-3,0
	D-1	5 - 10	Tpr-a	Areniscas alteradas y fracturadas	2	γ = 2,4 T/m^3 n = 4,3%		ϕ = 38° c = 0,37 Kg/cm^2	B	0,7-1,1
	D-2	80 - 90	Tpr-a	Areniscas alteradas y fracturadas	2				B	0,7-1,2
III	A-1	5 - 10	Qra	Recebo granular apisonado	3				C	1,2-1,8
	A-2	25 - 35	Qra	Suelo orgánico con basura	5				E	2,6-3,0
	D-1	5 - 10	Tpr-a	Areniscas alteradas y fracturadas	2	γ = 2,3 T/m^3 n = 6,2%		ϕ = 37° c = 0,20 Kg/cm^2 Is = 5,91 Kg/cm^2	B	0,7-1,2
	D-2	70 - 80	Tpr-a	Areniscas alteradas y fracturadas, freables	2				B	0,7-1,2
		80 - 90	Tpr	Intercalaciones de Arcillolita y Arenisca, duras y sanas	1				A	0,1-0,8

rango de valores para cada uno de los sectores en roca. Lo mismo se puede decir del peso unitario, el cual presenta variaciones insignificantes.

4.6 ANÁLISIS DE FACTORES DETONANTES

Entre los factores detonantes de los fenómenos de remoción en masa se destacan la actividad antrópica, sismicidad y erosión hídrica producida por lluvias.

4.6.4 Actividad Antrópica

La causa principal de la inestabilidad del área de estudio es la actividad antrópica, relacionada con minería (factor antecedente) y actividad urbanística actual (factor latente).

La minería a cielo abierto para extracción de materiales en la antigua cantera ha modificado las condiciones naturales, generando disminución de la estabilidad del terreno, debido a:

- Transformación del relieve natural por la ejecución de cortes y generación de taludes verticales, y al mismo tiempo, acumulación de materiales sobrantes de la excavación.
- Relajación de esfuerzos en los taludes de corte y aumento de los mismos en sitios de rellenos antrópicos.
- Generación de grietas de relajación por desconfinamiento, paralelas al frente de explotación.
- Formación de fracturamiento de roca en todas las direcciones producidas por voladuras.
- Exposición de las formaciones geológicas a la intemperie y aceleración del proceso de meteorización física y química, catalizada por la contaminación de la atmósfera de la ciudad.
- Cambio del régimen hidrológico del subsuelo con el aumento de evaporación y sus condiciones hidrogeológicas.
- Cambio de los propiedades de rocas debido a la relajación, fracturamiento adicional y proceso de meteorización.

La urbanización de áreas afectadas por minería repercute todavía más en las propiedades del subsuelo y detona el desarrollo de los procesos de remoción en masa debido a:

- Transformación del relieve con cortes y rellenos para la construcción de viviendas y redes de servicio, lo mismo que depositación de sobrantes de materiales de excavación y basuras sobre las vertientes y partes bajas del terreno.
- Generación de cargas complementarias por construcciones sobre los rellenos.
- Aumento de la humedad del subsuelo producido por el recubrimiento del terreno, vertimiento de aguas servidas, fugas del sistema de acueducto y alcantarillado, incidiendo en las propiedades fisico-mecánicas de los materiales rocosos.
- Transformación de las condiciones químicas del subsuelo por adición de aguas contaminadas con materia orgánica, afectando las propiedades de rocas, materiales de relleno de fracturas y depósitos no consolidados.

La actividad antrópica es el factor principal en los problemas de inestabilidad del terreno.

4.6.5 Pluviosidad

El principal agente de la erosión hídrica y uno de los factores detonantes de los fenómenos de remoción en masa es la pluviosidad.

La zona de estudio está ubicada al sur oriente de Bogotá, entre la Quebrada Chiguaza y el Río Tunjuelito.

Con el fin de establecer el régimen pluviométrico en el barrio Triunfo Sur se utilizó el estudio elaborado para el Barrio Luís López de Mesa donde se emplearon los registros históricos de precipitaciones totales mensuales de la estación Santa Lucia (2120052) operada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá E.A.A.B; que es la más cercana a la zona de estudio y esta ubicada en la cuenca de la Quebrada Chiguaza.

La distribución temporal de la precipitación se presenta en forma bimodal o ecuatorial con dos períodos lluviosos entre los meses de octubre a noviembre y abril

a mayo y dos períodos secos entre los meses de enero a febrero y julio a agosto, los demás se consideran de transición. La precipitación media multianual es de 594.7 mm y la precipitación máxima mensual ocurrió en el mes de abril de 1982, con un valor de 188.6 mm.

Para el análisis de los aguaceros de corta duración, que son los que generan los caudales máximos, se utilizó el informe "Estudio para el Análisis y Caracterización de tormentas en la Sabana de Bogotá", realizado por la firma consultora IRH para la E.A.A.B. - E.S.P. En este estudio se dividió a Santafé de Bogotá en 7 zonas pluviográficas y, para cada zona se definió una curva IDF característica.

El sector de análisis está ubicado en la zona 3, cuya estación representativa de la ley de frecuencias es Fontibón (2120547), operada por la E.A.A.B.

Para determinar la relación precipitación critica - duración, se utilizó el "Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Inestabilidad del Terreno para Varias Localidades de Santafé de Bogotá" (INGEOCIM - UPES, 1998), realizado para la Unidad de Atención y Prevención de Desastres (UPES) de Santafé de Bogotá.

En este estudio se encontró que la ciudad de Santafé de Bogotá se puede dividir en dos zonas a partir de la lluvia critica y de la duración, con las siguientes ecuaciones:

Zona Suroccidental

LLcrit = 0.3609 * LLan

Cerros Orientales

LLcrit = 12.6326 + 0.3609 * LLan

Donde:

LLcrit = lluvia critica en mm

LLan = lluvia anual en mm

Zona Suroccidental

D = 3.2829 * LLcrit0.4157

Cerros Orientales

D = 0.04923 * LLcrit

Donde: D = Duración en días.

El sector de estudio corresponde a la zona sur occidental obteniéndose una precipitación critica de 263.4 mm y una duración de 30 días.

4.6.6 Sismicidad

De acuerdo con el mapa de Microzonificación sísmica de Bogotá, la Localidad de Rafael Uribe Uribe en zona de las colinas rocosas corresponde a Zona 1 – Cerros, con aceleración máxima (Am) igual a 0,24 y que se caracteriza por la presencia de formaciones rocosas con capacidad portante relativamente mayor. La información conocida sobre sismos históricos permite identificar varios eventos con intensidad superior a VII. La máxima intensidad fue registrada en la zona es IX; correspondiente a Chipaque en el sismo de 1644. En el período histórico han ocurrido doce (12) sismos de intensidad igual o mayor a VI, de los cuales siete están en rango de VII a VIII. Los eventos de intensidad VI son cinco (1616, 1644, 1928, 1967 y 1979). Se consta, que este número es demasiado bajo, pues muchos eventos de esta intensidad pueden ser olvidados en un período de varios siglos. Por tal razón para cálculo de amenaza sísmica se recomienda tomar sismos con intensidad igual a mayor a VII. Con estas características el catálogo quedo conformado por catorce (14) eventos[2].

Es de anotar, que el sismo de intensidad VI se caracteriza como Fuerte, con generación de daños en estructuras sin diseño sismo resistente. En superficie pueden aparecer grietas hasta de 1 cm. En regiones montañosas algunos deslizamientos, se observa cambio en caudal de manantiales y en el nivel freático

[2] UPES, INGEOMINAS, UNIANDES, Microzonificación sísmica de Santafé de Bogotá. Convenio Interadministrativo 01-93. INGEOMINAS, Bogotá, Agosto de 1997.

(Escala de MSK). Lo anterior quiere decir que este tipo de eventos debería tenerse en cuenta en análisis de estabilidad.

Utilizando los valores presentados en la Tabla 1.5 del texto de la Microzonificación Sísmica de Bogotá, obtenemos que la taza de ocurrencia esperada de un sismo de intensidad igual o superior a VI se estima en 1,12 en período completo de 25 a 95 años.

Es necesario también prever los efectos locales que pueden ser generados por efectos de pendientes, posición del nivel freático, existencia y el tipo de depósitos no consolidado. Para la definición del factor de amplificación (Fa) se consultó el NSR-97 y se definieron los rangos de valores de amplificación para los rellenos antrópicos de 2.6 – 3.0.

Todo lo anteriormente dicho se tendrá en cuenta en la evaluación de estabilidad de taludes.

5 ANÁLISIS GEOTÉCNICO

5.1 OBJETIVOS

Los análisis geotécnicos tienen como objetivo evaluar el grado de inestabilidad de los terrenos estudiados y la incidencia en los viviendas e infraestructura comunitaria en caso de un evento catastrófico. Los análisis geotécnicos servirán de base para la valoración de amenaza, vulnerabilidad y riesgo que existe en el área para justificar técnicamente las medidas a tomar.

5.2 CRITERIOS Y METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Es evidente que en el área estudiada existen problemas de estabilidad de los terrenos, pero no en toda el área dichos problemas tienen la misma naturaleza y magnitud. Esto depende de la calidad de los terrenos, su composición y posición relativa, lo mismo que de otros factores generados por las leyes naturales y la actividad antrópica.

Por tal motivo en el terreno se estableció una zonificación geotécnica en la que se delimitan áreas homogéneas con similar comportamiento. Cada una de estas zonas geotécnicas debe ser objeto de análisis sobre su grado de estabilidad y las consecuencias que se pueden generar cuando ocurra un evento inestabilizante.

Teniendo en cuenta las investigaciones realizadas en el terreno y las evaluaciones preliminares, se establecieron tres perfiles del terreno típicos, los cuales son representativos de los tres bloques en que se ha dividido el área.

Los análisis cuantitativos de estabilidad hechos en los perfiles establecidos proporcionan la información sobre el grado de estabilidad de cada zona en términos de Factor de Seguridad (FS). Estos cálculos indican el nivel de amenaza que representa cada zona, relacionándolos con las probabilidades de falla.

Para este fin se emplearon métodos de cálculo comunes en geotecnia, acordes con el tipo de fenómeno observado y el mecanismo de falla posible. Es así que para cálculo de estabilidad por caída de bloques se utilizó el análisis cinemático de estabilidad de bloques con superficie de falla plana.

Para los taludes en relleno antrópico con espesores superiores a 1.5 m y para aquellos sitios donde la roca está triturada o alterada a arcilla se realizó el análisis de estabilidad por el método de Bishop con superficie de falla circular. Para este caso se empleó el programa Pcstabl de la Universidad de Purdue de Canadá.

A continuación se presenta el análisis realizado.

5.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Como se dijo anteriormente, los análisis de estabilidad del terreno se realizaron sobre los perfiles geotécnicos establecidos. Dependiendo del tipo de material involucrado se definió el tipo de falla que se podría presentar, encontrándose dos posibilidades: caída de bloques en taludes en roca y deslizamientos en taludes de suelo.

5.3.1 Caídas de Bloques

La caída de bloques se puede presentar en los cortes de roca, representados en los perfiles 1, 3 y 4, los cuales muestran típicamente las características de los bloques I, II y III, respectivamente, en que se ha dividido el terreno (ver Figura 3.1 y Plano 3).

El análisis de estabilidad comenzó con el análisis cinemático de los bloques o cuñas inestables que se pueden presentar.

5.3.1.1 Análisis Cinemático

Para realizar el análisis cinemático hubo necesidad de procesar la información sobre orientación de diaclasas, tomada directamente en el terreno. Esta información se

agrupó en las tres zonas correspondientes a los tres bloques de la zonificación establecida. En cada zona se realizó el procesamiento manual de los datos, elaborando primero los diagramas de polos y sobre estos determinando luego los sistemas principales por agrupación de puntos (ver Figuras 5.1, 5.2 y 5.3). Los sistemas principales de discontinuidades se graficaron en forma de estereogramas, donde se representó también el talud, tal como se muestra en las Figuras 5.4, 5.5 y 5.6. Allí se obtuvieron las probabilidades de falla del talud. Entre los sistemas principales se consideró también la estratificación.

De acuerdo con los estereogramas se puede observar lo siguiente:

- Bloque I. Zona Sur

Como se puede observar en la figura 5.4, en la Zona Sur se presentan tres sistemas de discontinuidades, pero ninguno es desfavorable individualmente para la estabilidad del talud. Sin embargo, se presenta la formación de una cuña la cual tiene inclinación igual a la del talud (78°). Esta cuña es estable. Evidentemente, en el terreno se observó que la roca en este bloque se encuentra alterada a arcilla y el fenómeno que se aprecia es el descascaramiento y caída de detritos, producidos por meteorización.

- Bloque II. Zona Central.

Debido a su mayor fracturamiento respecto a las demás zonas, pues por allí pasa una falla, en este bloque se distinguen 5 sistemas de diaclasamiento, de los cuales el más importante es el de la estratificación, con posición favorable respecto a la estabilidad del talud.

Aunque no es muy frecuente, allí aparece un sistema de diaclasas desfavorable para la estabilidad del talud (N25W/60NE), en una dirección casi paralela a la dirección del mismo. Dada su situación desfavorable, este sistema forma varias cuñas con otros sistemas de diaclasamiento. Teniendo en cuenta esta situación, la estabilidad del talud está condicionada a la estabilidad del bloque que se puede deslizar por el plano más bajo del sistema que intercepta el talud.

- Bloque III, Zona Norte.

Según el análisis del estereograma, presentado en la Figura 5.6, en este bloque se distinguen tres (3) sistemas de diaclasamiento más la estratificación, siendo esta última favorable para la estabilidad del talud.

Uno de los sistemas (N35E/58SE) tiene una posición desfavorable para la estabilidad del talud, con una dirección paralela a la dirección del talud. Este plano forma cuñas inestables con la intercepción de otro sistema perpendicular (N44W/70NE).

Dada la orientación del sistema respecto al talud, la estabilidad de este se encuentra condicionada a la estabilidad del bloque que se puede deslizar por el plano más bajo del sistema que intercepta el talud.

5.3.1.2 Modelos de Falla y Parámetros de Cálculo

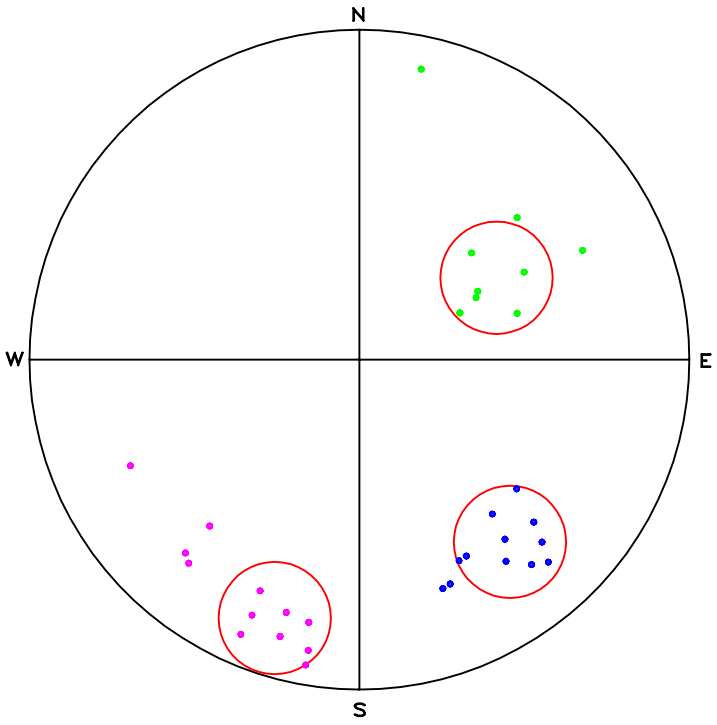
Para los cálculos de estabilidad en roca, en concordancia con el análisis cinemático realizado previamente, se usaron superficies de falla planas.

El modelo geotécnico adoptado para el análisis de estabilidad se presenta en el Anexo 9 referente a memorias de cálculo.

Los cálculos de falla planar se realizan mediante análisis cuantitativo de estabilidad del bloque máximo que generan los sistemas desfavorables, considerándolos paralelos al talud. Esto porque los sistemas desfavorables son paralelos y casi paralelos a la dirección del talud. De acuerdo con esto, los cálculos se realizan por metro lineal de talud, medido horizontalmente. En esta forma se considera la situación más desfavorable y se involucran todas las cuñas.

Si consideramos que el talud tiene una buena posibilidad de drenaje por los sistemas de discontinuidades que interceptan el corte de la cantera, es evidente que no hay posibilidad de acumulación de agua. Los estudios del terreno encontraron que allí no hay nivel freático y no existen manantiales ni nacederos de agua, confirmado esto por los habitantes del lugar, quienes manifestaron no haber visto salidas de agua del talud en ningún momento.

ANÁLISIS PRELIMINAR DE ESTABILIDAD
ZONA SUR
BLOQUE 1



CONVENCIONES DE DIAGRAMA DE POLOS			
CONVENCIÓN	RUMBO Y BUZAMIENTO	RANGO	CUADRANTE
●	NW/SW	16-78/30-81	I
●	NW/NE	25-80/61-85	III
●	NE/NW	40-70/55-76	IV

DIRECCION DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS
ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

INGEMETRICA LTDA.
Ingenieros Consultores

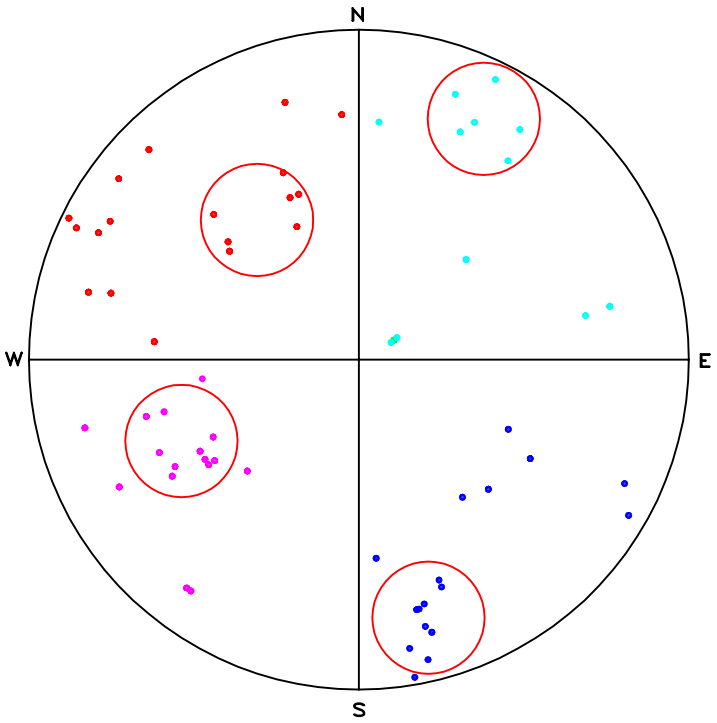
ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA Y DISEÑO DETALLADO DE LAS OBRAS DE CONTROL, PROTECCIÓN Y ESTABILIZACIÓN EN EL BARRIO TRIUNFO SUR

CONTIENE:
DIAGRAMA DE POLOS ZONA SUR, BLOQUE I

FECHA:
AGOSTO DE 2002

FIGURA 5.1

ANÁLISIS PRELIMINAR DE ESTABILIDAD
ZONA CENTRAL
BLOQUE II



CONVENCIONES DE DIAGRAMA DE POLOS			
CONVENCIÓN	RUMBO Y BUZAMIENTO	RANGO	CUADRANTE
	NW/SW	11–85/10–85 25–29/10–13	I
	NE/SE	5–86/40–88	II
	NW/NE	7–54/43–78	III
	NE/NW	25–85/45–88	IV

DIRECCION DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS
ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

INGEMETRICA LTDA.
Ingenieros Consultores

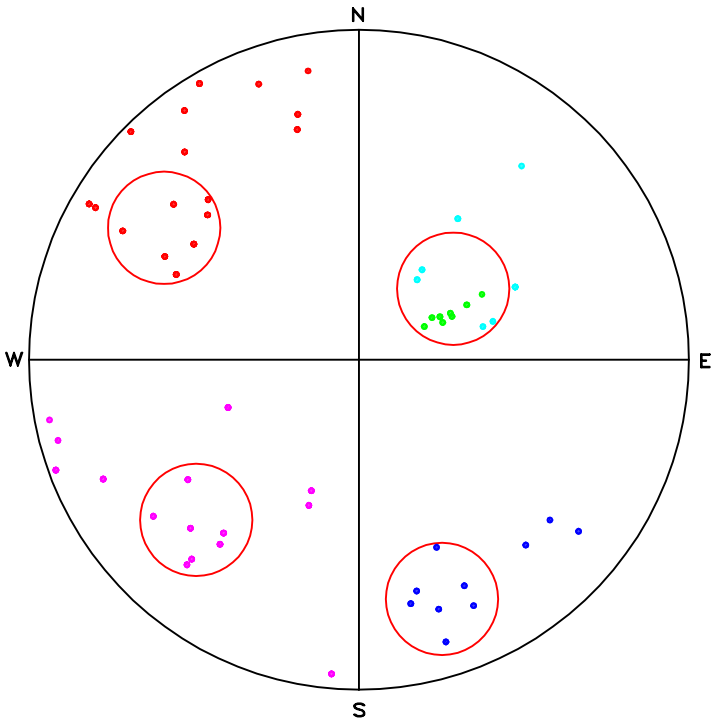
ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA Y DISEÑO DETALLADO DE LAS OBRAS DE CONTROL, PROTECCIÓN Y ESTABILIZACIÓN EN EL BARRIO TRIUNFO SUR

CONTIENE:
DIAGRAMA DE POLOS
ZONA CENTRAL, BLOQUE II

FECHA:
AGOSTO DE 2002

FIGURA 5.2

ANÁLISIS PRELIMINAR DE ESTABILIDAD
ZONA NORTE
BLOQUE III



CONVENCIONES DE DIAGRAMA DE POLOS			
CONVENCIÓN	RUMBO Y BUZAMIENTO	RANGO	CUADRANTE
	NW/SW	15–55/27–69 24–30/20–38	I
	NE/SE	25–80/55–87	II
	NW/NE	11–85/38–88	III
	NE/NW	38–78/55–81	IV

DIRECCION DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS
ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

INGEMETRICA LTDA.
Ingenieros Consultores

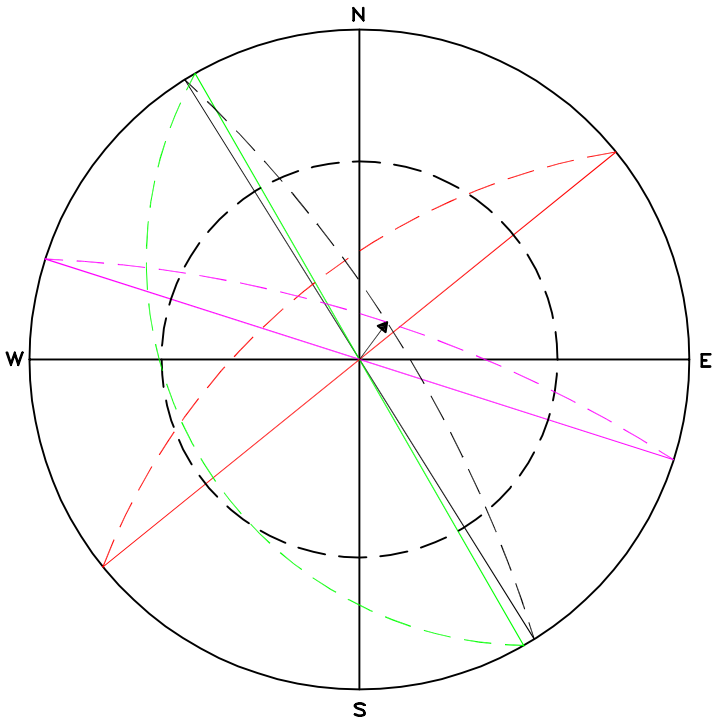
ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA Y DISEÑO DETALLADO DE LAS OBRAS DE CONTROL, PROTECCIÓN Y ESTABILIZACIÓN EN EL BARRIO TRIUNFO SUR

CONTIENE:
DIAGRAMA DE POLOS
ZONA NORTE, BLOQUE III

FECHA:
AGOSTO DE 2002

FIGURA 5.3

ANÁLISIS PRELIMINAR DE ESTABILIDAD
ZONA SUR
BLOQUE I



CONVENCIONES DE PLANOS ESTRUCTURALES		
CONVENCION	ORIENTACION	PLANO
	N51E/66NW	DIACLASAMIENTO
	N72W/78NE	DIACLASAMIENTO
	N30W/39SW	ESTRATIFICACIÓN
	N32W/78NE	TALUD

PROBABILIDAD DE FALLA			
CONVENCION	PLANOS DE INTERSECCIÓN	ORIENTACION DEL PLANO DE FALLA	TIPO DE FALLA
	N72W/78NE N32W/89NE		FALLA PLANA

NOTA: TALUD CINEMÁTICAMENTE ESTABLE
LA PROBABILIDAD DE FALLA PLANA
ES REMOTA

DIRECCION DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS
ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

INGEMETRICA LTDA.
Ingenieros Consultores

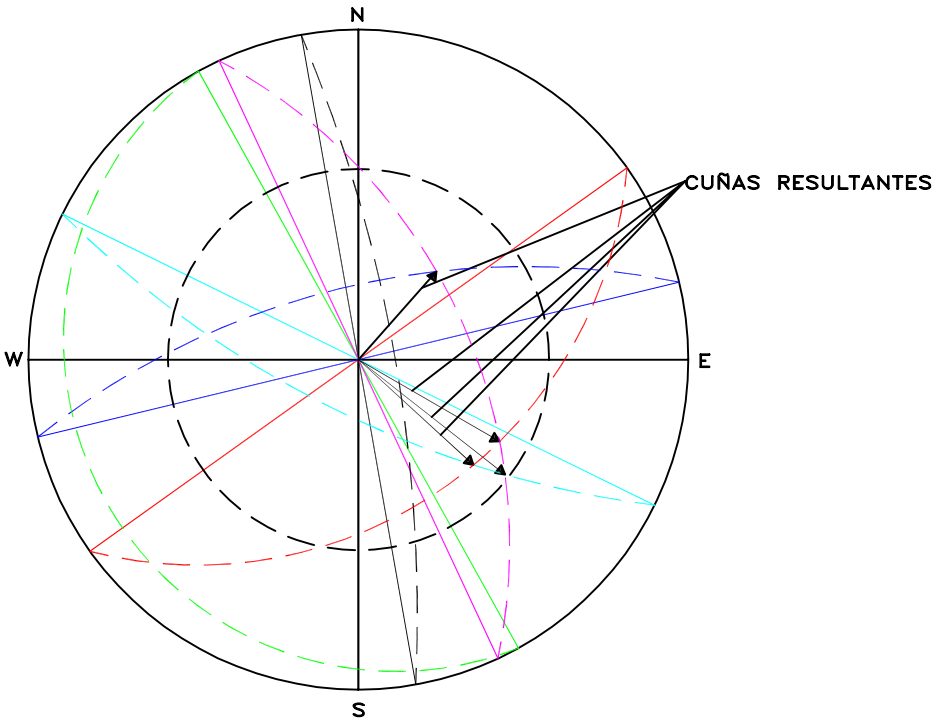
ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA Y DISEÑO DETALLADO DE LAS OBRAS DE CONTROL, PROTECCIÓN Y ESTABILIZACIÓN EN EL BARRIO TRIUNFO SUR

CONTIENE:
ESTEREOGRAMA
ZONA SUR, BLOQUE I

FECHA:
AGOSTO DE 2002

FIGURA 5.4

ANÁLISIS PRELIMINAR DE ESTABILIDAD
ZONA CENTRAL
BLOQUE II



CONVENCIONES DE PLANOS ESTRUCTURALES

CONVENCION	ORIENTACION	PLANO
	N76E/70NW	DIACLASAMIENTO
	N64W/75SW	DIACLASAMIENTO
	N55E/48SE	DIACLASAMIENTO
	N25W/60NE	DIACLASAMIENTO
	N29W/11SW	ESTRATIFICACIÓN
	N10W/80NE	TALUD

PROBABILIDAD DE FALLA

CONVENCION	PLANOS DE INTERSECCIÓN	ORIENTACION DEL PLANO DE FALLA	TIPO DE FALLA
	N25W/60NE N54W/75SW	N48W/58NE	FALLA EN CUÑA
	N25W/60NE N55E/48SE	N30E/45SE	FALLA EN CUÑA
	N25W/60NE N64W/75SW	N38E/40SE	FALLA PLANAR
	N55E/48SE N64W/75SW	N42E/47SE	FALLA EN CUÑA
	N25W/60NE N10W/89NE		FALLA PLANAR

DIRECCION DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS
ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

INGEMETRICA LTDA.
Ingenieros Consultores

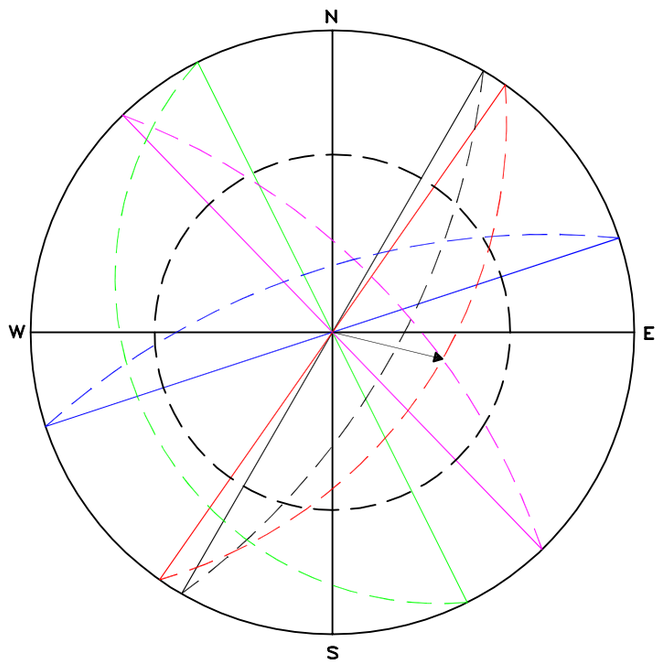
ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA Y DISEÑO DETALLADO DE LAS OBRAS DE CONTROL, PROTECCIÓN Y ESTABILIZACIÓN EN EL BARRIO TRIUNFO SUR

CONTIENE:
ESTEREOGRAMA
ZONA CENTRAL, BLOQUE II

FECHA:
AGOSTO DE 2002

FIGURA 5.5

ANÁLISIS PRELIMINAR DE ESTABILIDAD
ZONA NORTE
BLOQUE III



CONVENCIONES DE PLANOS ESTRUCTURALES		
CONVENCION	ORIENTACION	PLANO
	N55W/47SW	DIACLASAMIENTO
	N35E/58SE	DIACLASAMIENTO
	N44W/70NE	DIACLASAMIENTO
	N27W/29SW	ESTRATIFICACIÓN
	N30E/71SE	TALUD

PROBABILIDAD DE FALLA			
CONVENCION	PLANOS DE INTERSECCIÓN	ORIENTACION DEL PLANO DE FALLA	TIPO DE FALLA
	N35E/58SE N44W/70NE	N14E/56SE	FALLA EN CUÑA
	N35E/58SE N30E/71SE		PROBABILIDAD DE FALLA PLANA

DIRECCION DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS
ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

INGEMETRICA LTDA.
Ingenieros Consultores

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA Y DISEÑO DETALLADO DE LAS OBRAS DE CONTROL, PROTECCIÓN Y ESTABILIZACIÓN EN EL BARRIO TRIUNFO SUR

CONTIENE:
ESTEREOGRAMA
ZONA NORTE, BLOQUE III

FECHA:
AGOSTO DE 2002

FIGURA 5.6

Teniendo en cuenta esto, las únicas cargas que pueden causar inestabilidad del talud son las gravitacionales y las dinámicas generadas por los sismos. La lluvia y en general los agentes atmosféricos actúan en la meteorización superficial de la roca y los rellenos de las diaclasas, debilitando así los bloques expuestos, los cuales caen a medida que van perdiendo adherencia al macizo rocoso.

En este marco conceptual, para los cálculos de estabilidad no se considera nivel freático y por lo tanto tampoco presión de poros o intersticial.

De acuerdo con el estudio del terreno, los parámetros adoptados corresponden a los valores determinados mediante ensayos de laboratorio, presentados en el numeral 4.5.2 de este informe.

5.3.1.3 Cálculo del factor de seguridad y distancia de desplazamiento

Los cálculos de estabilidad se realizaron mediante el método clásico de deslizamiento de un bloque sobre un plano, determinando los Factores de Seguridad (FS), que se presentan a las diferentes solicitudes de carga y parámetros de resistencia.

De acuerdo con esto, en cada sección analizada se calculó el FS para los mínimos y máximos parámetros de corte que se determinaron, tomando a la vez un peso unitario único de 23.5 kN/m^3 que es el promedio de los valores encontrados.

En cada una de las zonas el cálculo de taludes en roca presentó los siguientes resultados (ver Anexo 9):

- Bloque I. Zona Sur.

La cuña que se forma no se desliza y las posibilidades de volcamiento son muy remotas, pues su buzamiento es paralelo al talud y tiene 78°.

En este bloque no se hicieron cálculos de estabilidad del talud en roca porque no se requieren.

Dado que el talud no es completamente plano allí se presentan bloques pequeños que se van desprendiendo a medida que por efectos de meteorización la adherencia al macizo rocoso se va perdiendo.

- Bloque II. Zona Central.

En condiciones estáticas, con los mínimos valores de los parámetros de corte el FS es de 0,87 y con los máximos valores es de 1,31. Esto indica que el talud no alcanza a tener los mínimos requisitos de estabilidad (FS=1,5) incluso para los valores máximos de resistencia al corte.

Sabemos que el talud en las actuales condiciones no ha fallado por la superficie de deslizamiento supuesta y que es la más desfavorable. Esto indica que en condiciones estáticas el FS no puede ser menor de 1, razón por la cual los parámetros de corte mínimos no son factibles de que se presenten. Por razones de Estadística tampoco es probable que se presenten los valores máximos.

Para determinar los parámetros de corte más probables es necesario buscar pares de valores de "c" y "φ" con los que se obtenga un FS ligeramente superior a 1. En este caso se adoptó un límite de FS ≅ 1,1, considerando que el talud se encuentra muy cerca de su límite de equilibrio estático.

Haciendo este ejercicio con diferentes cifras, se encontró que los valores más probables de los parámetros de corte corresponden al promedio. Así, se obtuvo lo siguiente:

C = 29 kPa; φ = 37°; FS = 1,09.

Con estos valores se evaluó la estabilidad del talud a las cargas dinámicas, tomando un coeficiente de aceleración de 0,24. Los resultados indican que el FS a cargas sísmicas es de 0,8.

Con esto se deduce que en caso de presentarse el sismo de diseño el talud se inestabiliza. Además, ese valor está por debajo del FS = 1,2, exigido por el NSR-98.

Para la definición de la zona con amenaza por caída de bloques se calculó la distancia horizontal máxima desde el borde superior del talud, hasta donde podrá llegar un bloque desprendido, analizada por la ecuación de Grechischev (Lomtadze, 1977):

$$Xh = \frac{\alpha + 45}{450} \times H$$

Donde: *Xh* = Distancia horizontal desde la pata del talud
H = Altura del talud
α = Inclinación del Talud

El recorrido del bloque desprendido a lo largo del talud y su destino final es independiente del evento que lo haya causado, razón por la cual tendrá el mismo recorrido en caso estático y dinámico.

Con base en cálculos realizados se obtuvo que para una altura del talud de 17 m e inclinación promedia de 80°, la distancia máxima será de 4,7 m. El valor obtenido se confirma con lo observado en el terreno en esta zona, donde la acumulación de bloques en la pata del talud alcanza mas o menos esta misma distancia.

- Bloque III. Zona Norte.

En esta zona se procedió en la misma forma como se hizo para la zona central.

Con los parámetros mínimos de corte el FS obtenido fue de 0,9, mientras que con los valores máximos el FS obtenido fue de 1,33.

Los parámetros de corte más probables y el FS para esos valores son:

C = 29 kPa; φ = 37°; FS = 1,11

Los parámetros de corte resultaron iguales a los de la zona central.

Con cargas sísmicas se obtuvo: FS = 0,81.

La distancia de desplazamiento desde el borde del escarpe en caso de inestabilidad se definió en la misma manera que en la zona central, obteniendo para 15 m de altura del talud e inclinación máxima de 90° un desplazamiento de 4,5 m, valores similares a la zona central.

En la misma zona se calculó el talud de 4 m de altura, localizado en la parte alta (escarpe secundario), encontrándose que con cargas estáticas el talud presenta FS = 1,91, si se considera falla plana.

Con cargas dinámicas el FS es de 1,5 con falla planar y 2,2 con falla circular.

Estos resultados indican que el escarpe secundario es estable, pero debido a que está descubierto, expuesto a la socavación y erosión, no se descarta que con el tiempo llegue a inestabilizarse si no se protege.

5.3.2 Deslizamientos

En los sitios donde aparece suelo y tienen espesor superior a 1,5 m se realizaron cálculos de estabilidad. Esos sitios se localizan en: 1) Corona del bloque I (Zona Sur); 2) Pata del Bloque 1 (Zona Sur). Los cálculos se presentan en el Anexo 9.

5.3.2.1 Modelos de Falla y Parámetros de Cálculo

Para estos taludes se tomó el perfil 1, utilizado también para el talud en roca y definido en el plano geológico.

Dadas las características no consolidadas del material, el modelo de falla adoptado es el circular, calculándola por el Método de Bishop, mediante el programa PCSTABL, Versión 6.

Los parámetros de corte utilizados para la corona fueron obtenidos de un ensayo de laboratorio y se indican en el numeral 4.5.2 de este informe, mientras para la pata del talud hubo necesidad de adoptar valores de zonas similares, porque debido a la heterogeneidad del material, no fue posible obtener muestras para ejecutar los ensayos. Estos valores se indican en el Anexo 9.

5.3.2.2 Cálculos del factor de seguridad y distancia de desplazamiento

De acuerdo con los cálculos realizados, los resultados para los taludes analizados son:

1) Corona del Bloque I (Zona Sur)

El mínimo FS calculado con carga dinámica es de 1,4, superior al límite de 1,2 exigido por NSR- 98. Si eso es así, el FS con carga estática debe ser superior a 1,5.

De acuerdo con esto, el talud es estable incluso si se presenta el sismo de diseño.

2) Pata del bloque 1 (Zona Sur)

La peor situación se presenta si llega a fallar todo el talud, desde la corona del Bloque I hasta el relleno de la pata. Para este caso el FS con carga dinámica es de 1,6. Esto supone que el FS con carga estática es superior de 1,5. Considerando solo el talud de la pata el FS=2,0 con carga dinámica.

De acuerdo con esto se concluye que el talud es estable incluso si se presenta la carga sísmica de diseño.

Con esto se demuestra que los agrietamientos que presenta la casa no se originan en movimientos horizontales del terreno sino que obedecen a problemas de asentamientos, porque el material allí colocado no está debidamente compactado.

5.4 ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD DE ÁREAS HOMOGÉNEAS

La evaluación de la susceptibilidad al desarrollo de los fenómenos, identificados en el área de estudio, se realizó con el fin de calificar la predisposición de los diversos sectores, definidos en la zonificación geomecánica, a los procesos de caída de bloques y deslizamientos.

Además de lo anterior, la calificación de susceptibilidad permite a través de la correlación empírica que existe entre la susceptibilidad y la probabilidad de falla de los taludes (INGEMETRICA LTDA, 1999; Tchemodanova, 2000):

- Extrapolar los resultados de cálculo de estabilidad de unos pocos sectores analizados sobre todo el área de estudio.
- Evaluar el grado de la amenaza del área

5.4.1 Criterios y Metodología Aplicada

Esta metodología fue creada con base en varios estudios realizados para el INVIAS, ECOPETROL y DPAE, lo que permitió acumular los datos y concebir una ecuación empírica para la evaluación de la amenaza.

La evaluación partió de la consideración de que el análisis debe ser sustentado por los conocimientos de Leyes naturales de comportamiento de los elementos del sistema geotécnico, estudiados por las ciencias geológicas y geotécnicas, especialmente por la geodinámica y la mecánica de rocas y suelos.

La revisión de la experiencia acumulada por la investigación científica, reflejada en los documentos escritos, permitió definir los factores intrínsecos del terreno que influyen sobre la estabilidad de las masas involucradas (Lomtadze, V. 1977; Reuter, F., et. al. 1980, entre otros). Estos factores son: características geomorfológicas, tectónicas, hidrogeológicas, climáticas, litológicas y tipo del recubrimiento del terreno donde se desarrollan los procesos. La modificación de cualquiera de estos factores, o todos al mismo tiempo, puede variar las condiciones de estabilidad del área.

Entonces, la predisposición del medio al desarrollo de los fenómenos de remoción en masa (FRM), denominada como susceptibilidad, puede ser definida a partir del análisis de la influencia de cada uno de dichos factores sobre cada uno de los FRM. De lo anterior se deduce que la susceptibilidad está estrechamente relacionada con el factor de seguridad.

También se tuvo en cuenta que el desarrollo de FRM se debe al transporte de masas forzado por la perdida de la resistencia del medio (τ), predeterminada por los parámetros de cohesión (c), fricción (φ) y esfuerzo normal (σ), sin importar si su

tamaño es pequeño o grande (Rico y Castillo, 1996[1]), que se determina por la ecuación:

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan\varphi$$

Lo anterior pone de manifiesto una unión etimológica entre los fenómenos de remoción en masa analizados, tales como deslizamientos y caída de bloques, permitiendo con esto emplear la misma metodología para cualquier FRM.

Es lógico pensar, que el factor de seguridad está estrechamente ligado a la amenaza, comprendida como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno no deseado, que afecta tanto al hombre como a las construcciones. Esta relación tiene una expresión empírica, la cual se puede ver en la Figura 5.7.

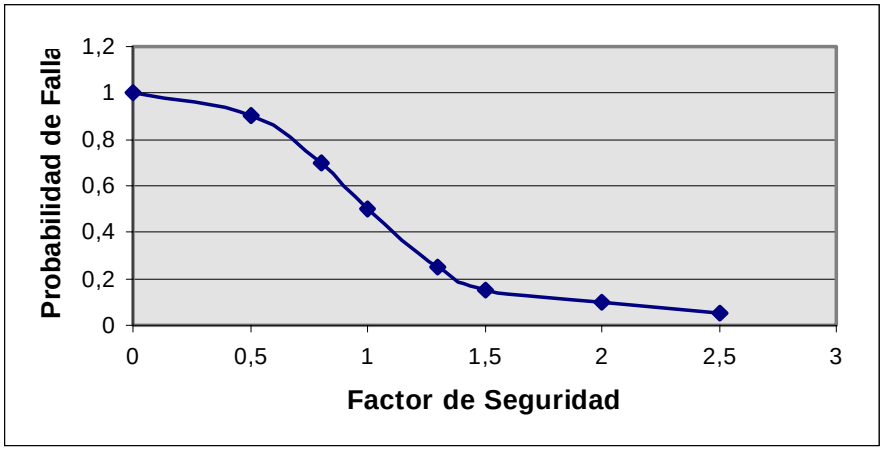


Figura 5.7 Relación entre la Probabilidad de Falla y el Factor de Seguridad (según Paducov, 1981[2])

[1] **RICO Y CASTILLO**, (1996) *Ingeniería de Suelos en Vías Terrestres, Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas*, Vol.2, pág. 280

[2] **PADUCOV H.** (1981) *Pronóstico de estabilidad de los taludes de canteras.* Instituto de Minas de Leningrado, 50 pág.

Si existe relación entre el FS y la amenaza, y entre el FS y la susceptibilidad, debe existir también la relación entre la amenaza y la susceptibilidad. Con base en lo anterior se planteó la hipótesis de relación de causalidad entre estas dos variables, partiendo del principio, demostrado por la lógica, de que todo efecto tiene su causa. No hallamos un solo fenómeno al cual no podamos encontrarle una explicación causal. Dicha hipótesis se verificó empíricamente obteniendo como resultado la ecuación, presentada en la Figura 5.8.

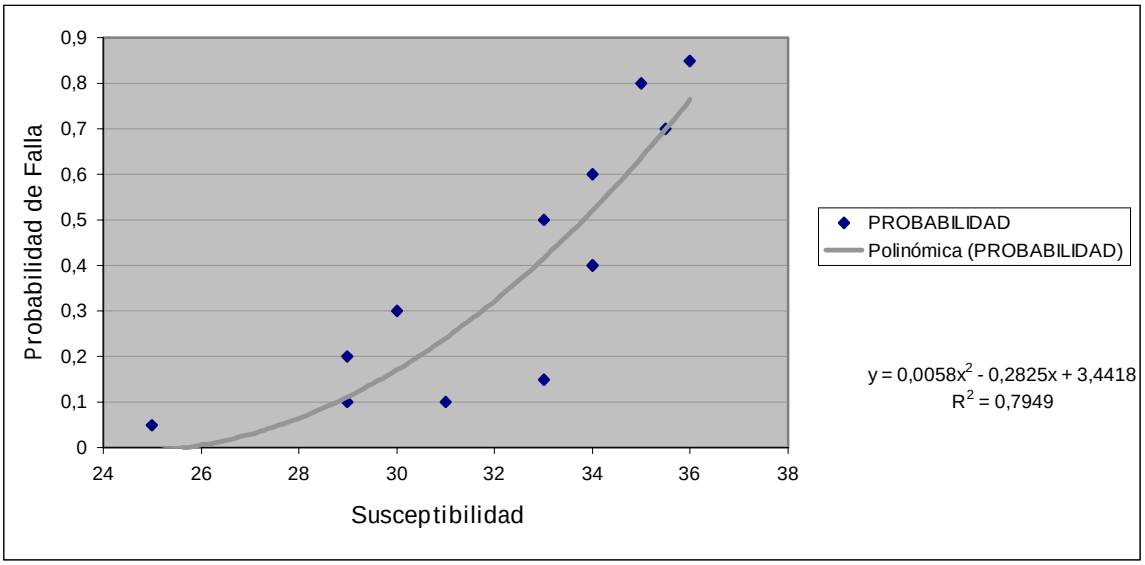


Figura 5.8. Relación de Susceptibilidad con la Probabilidad de Falla

La anterior ecuación fue corroborada con los resultados del cálculo de estabilidad, realizados para diferentes sectores homogéneos del Barrio Triunfo Sur, encontrándose los valores obtenidos dentro del rango de correlación.

La evaluación de la susceptibilidad a los FRM se efectuó para cada uno de los 13 sectores homogéneos, definidos en la Zonificación Geomecánica (ver Plano 5).

Para el análisis de susceptibilidad se conformó la matriz de evaluación presentada en el cuadro 5.2, donde se pueden apreciar los factores y parámetros de evaluación.

Entre los factores intrínsecos del terreno y los parámetros de evaluación se encuentran los siguientes:

- **Relieve (Sr) condiciones geomorfológicas.** Parámetros: pendiente y formas en perfil y en planta, tal como se indica en el cuadro 5.2. Es un factor primordial para definir qué tipo de fenómeno puede presentarse en cada uno de los 13 sectores. Por ejemplo: no es posible la presencia de caídas de bloques en taludes, cuya pendiente es inferior a 35°.

- **Respuesta sísmica de los suelos (Ss).** Parámetro: Factor de amplificación, según Medvedev (1964) y NSR-98. La susceptibilidad se asigna de acuerdo con el perfil del suelo, tal como se presenta en el Cuadro 5.1.

Cuadro 5.1 Susceptibilidad por Respuesta Sísmica

N°	GRUPO DE ROCAS (Medvedev, 1965)	SUELO TIPO NSR – 98	FACTOR DE AMPLIFICACION, F_a	SUSCEPTIBILIDAD
1	Rocas duras	A	0.1 – 0.8	1
2	Rocas Alteradas	B	0.7 – 1.1	2
3	Depósitos Granulares no cohesivos: bloques, gravas, arenas.	C	 0.9 – 1.5 1.2 – 1.8	3
4	Depósitos Blandos cohesivos: arcillas, limos	D	 1.2 – 1.6 1.3 – 1.8	
5	Antrópicos: escombreras, suelos orgánicos	E	 2.3 – 2.6 2.6 – 3.0	4
6	Depósitos Saturados: bloques, gravas, arenosos, arcillosos, antrópicos	F	 1.6 – 2.0 2.0 – 2.4 2.4 – 2.8 3.3 – 3.9	5

- **Grado de desintegración (Sd).** Parámetro: cohesión, definido en ensayos de laboratorio o tomado por analogía del estudio de riesgo en el Barrio Caracolí (Ver Anexo 1), según criterios presentados en el cuadro 5.2.

- **Propiedades geomecánicas (Sg).** Parámetro: Grupo según clasificación de Lomtadze (Tchemodanova, 2000), según la cual todas las materiales del subsuelo se diferencian en cinco (5) grupos por sus propiedades físico - mecánicas:

I. Rocas duras, macizas
II. Rocas duras alteradas, fracturadas
III. Granulares, no cohesivas
IV. Blandas cohesivas
V. Especiales

En esta clasificación geotécnica de rocas en grupos se observa la variación de sus propiedades constructivas y la susceptibilidad ambiental desde el primer grupo hasta el quinto. La valoración cuantitativa de cada grupo de rocas se da teniendo en cuenta sus particularidades petrográficas, grado de meteorización, fracturamiento y otras propiedades y se basa en gran cantidad de datos experimentales existentes, analizados estadísticamente que reflejan sus propiedades en condiciones naturales.

Grupo I - Rocas duras macizas, son las más perfectas desde el punto de vista ingenieril. Ellas tienen alta resistencia y estabilidad, muy baja permeabilidad y deformabilidad. Las áreas de distribución de dichas rocas son más favorables para construcción de cualquier proyecto sin restricciones substanciales y frecuentemente sin utilización de métodos complicados para garantizar su estabilidad.

Grupo II - Rocas alteradas, fracturadas, se diferencian de las anteriores por tener menor resistencia y estabilidad, mayor deformabilidad, considerable o alta permeabilidad. Ellas frecuentemente tienen alto fracturamiento, en rocas calcáreas - carsticidad, aunque pueden tener alta resistencia de cilindros en laboratorio. Las rocas alteradas generalmente se distinguen por su gran anisotropía y heterogeneidad. Los sitios de su ubicación en la mayoría de los casos son favorables para diversas construcciones, incluyendo las más importantes, pero frecuentemente con restricciones y empleo de métodos especiales para garantizar su estabilidad y condiciones normales de su funcionamiento.

Grupo III y IV - Los depósitos no consolidados granulares no cohesivos y blandos cohesivos, en relación con rocas del grupo I y II, se caracterizan por tener considerablemente inferior resistencia y estabilidad, y mayor deformabilidad.

Algunos de ellos muy permeables. Estos grupos abarcan diversos tipos genéticos de rocas sedimentarias, principalmente de edad cuaternaria. Ellos se caracterizan por la variación importante en su estado físico y propiedades. Las condiciones de construcción en ellos frecuentemente están correlacionadas con grandes limitaciones.

Grupo V - Rocas y depósitos no consolidados de composición, estado y propiedades especiales, como regla, son débiles en sentido ingenieril y por tal razón, debe evitarse al máximo construir obras en las áreas conformadas por ellas. A este grupo pertenecen la turba, el fango y la sal.

- **Condiciones hidrogeológicas e hidrológicas (Sh).** Parámetros: permeabilidad de la masa. La susceptibilidad se valora de acuerdo con los siguientes consideraciones:

Susceptibilidad	Permeabilidad de la masa, que recibe la presión hidrodinámica	
	Calificación	Valoración
1	Alta a muy alta,	>20 m/día
2	Media,	5 – 20 m/día
3	Baja,	0.5 - 5 m/día
4	Muy baja,	0.1 - 0.5 m/día
5	Prácticamente Impermeable	< 0.5 m/día

- **Condiciones de recubrimiento por vegetación (Sv).** Parámetro: porcentaje de recubrimiento, según se presenta en el Cuadro 5.2. A mayor recubrimiento por vegetación se le asigna el menor puntaje.

El análisis factorial se realiza en forma semicuantitativa y probabilística, indicando la mayor o menor probabilidad de ocurrencia del fenómeno analizado bajo la variación del factor influyente. La valoración se hace en una escala de 1 a 5, que fue seleccionada de acuerdo a la clasificación general de rocas y depósitos no consolidados de Lomtadze (1984), asignando los valores mayores a mayor susceptibilidad del proceso analizado frente al factor influyente.

La valoración de la susceptibilidad natural ($S_{natural}$) se hace independientemente para cada uno de los factores que influyen sobre la estabilidad. Luego, para obtener el

Cuadro 5.2. Criterios para la definición de susceptibilidad de áreas por fenómenos de remoción en masa (Tchemodanova Valentina, 1998)

FACTORES / PROCESO	RELIEVE				RESPUESTA SISMICA, según Medvedev (1964)		GRADO DE DESINTEGRACION	PROPIEDADES GEOMECÁNICAS	HIDROGEOLOGIA	VEGETACIÓN Y/O RECUBRIMIENTO	RANGOS DE SUSCEPTIBILIDAD**
	Pendiente, grados		FORMAS								
	Terreno	Lecho, en dirección de movimiento*1	Perfil	Planta	Tipo de rocas	Factor de amplificación	Cohesión, kPa	Grupo según Clasificación de Lomtadze (1977)	Permeabilidad, m/día	Porcentaje	
Deslizamiento	35-45	35-45	Convexa	Cóncava	Depósitos saturados	1,6-3,9	2-5 (muy suelto)	V	<0,1	0-20	5
	25-35	25-35			Escombreras Suelos orgánicos	2,3-3,0	5-20 (suelto)	IV	0,1-0,5	20-40	4
	15-25	15-25	Recta	Recta	Bloques, gravas, arenas, arcillas, limos	0,9-1,8	20-30 (medio)	III	0,5-5	40-60	3
	5-15	5-15			Rocas alteradas	0,7-1,1	30-40 (duro)	II	5-20	60-80	2
	<5	horizontal	Cóncava	Convexa	Rocas duras	0,1-0,8	>40 (muy duro)	I	>20	80-100	1
Desprendimiento	80-90	35-45	Disectado	Cóncava	Bloques saturados	1,6-2,0	2-5 (muy suelto)	III	<0,1	0-20	5
	70-80	25-35	Convexa				5-20 (suelto)	II	0,1-0,5	20-40	4
	60-70	15-25		Recta	Bloques, gravas,	0,9-1,5	20-30 (medio)	I	0,5-5	40-60	3
	50-60	5-15	Cóncava		Rocas alteradas	0,7-1,1	30-40 (duro)	IV	5-20	60-80	2
	<50	horizontal	Recto	Convexa	Rocas duras	0,1-0,8	>40 (muy duro)	V	>20	80-100	1

*1 - Lecho en dirección de la pendiente, corresponde a la inclinación del substrato rocoso subyacente al depósito no consolidado. En caso de rocas, corresponde al buzamiento de la estratificación. Si la estratificación buza a lado contrario de la pendiente el valor se toma igual a cero.

* *5= Mayor sensibilidad
1= Menor sensibilidad

Cuadro 5.3. Evaluación de susceptibilidad de áreas homogéneas por deslizamientos. Barrio Triunfo Sur

PROCESO	SECTOR	Respuesta Sísmica, según Medvedev (1964)		Grado de desintegración		Propiedades geomecánicas		HIDRO-GEOLOGIA		RELIEVE						RECUBRIMIENTO POR VEGETACIÓN Y/O CASA		RANGOS DE SUSCEPTIBILIDAD	
										Pendiente, grados				FORMAS					
		Factor de amplificación		Cohesión, kPa		Grupo		Permeabilidad, m/dia		Terreno		Lecho, en dirección de movimiento		Perfil		Planta		%	
			1*		2		3		4		5		6		7		8		9	Rango	Calificación
Deslizamiento	I-A-1-ra$_1$	2.6	4	25	3	5	5	5	3	10	1	5	1	CONCAVA	1	CONVEXA	1	0	5	24	medio
	I-A-2-ra$_1$	2.6	4	25	3	5	5	5	3	40	5	5	1	CONVEXA	5	CONVEXA	1	60	3	30	medio
	I-A-2-ra$_2$	2.6	4	25	3	5	5	5	3	30	4	5	1	CONVEXA	5	CONVEXA	1	100	1	27	medio
	I-D-2-pr-a	1	1	20	4	2	2	0.08	5	78	4	0	0	CONCAVA	1	CONVEXA	1	0	5	23	medio
	II-A-1-ra$_1$	2.6	4	25	3	5	5	5	3	5	1	5	1	CONVEXA	5	CONVEXA	1	0	5	28	medio
	II-A-2-ra$_1$	2.6	4	25	3	5	5	5	3	50	5	40	5	CONVEXA	5	CONVEXA	1	70	2	33	medio
	II-A-2-ra$_2$	2.6	4	25	3	5	5	5	3	20	3	5	1	CONVEXA	5	CONVEXA	1	0	5	30	medio
	III-A-1-ra$_1$	2.6	4	25	3	5	5	5	3	5	1	5	1	CONVEXA	5	CONVEXA	1	0	5	28	medio
	III-D-2-pr-a	1	1	20	4	2	2	5	3	85	5	0	0	CONCAVA	1	RECTA	3	0	5	24	medio
	III-A-2-ra$_2$	2.6	4	25	3	5	5	5	3	35	5	5	1	CONVEXA	5	CONVEXA	1	100	1	28	medio

Nota: 1*, 2,3,4,5,6,7,8,9 Columnas que corresponden a la valoración de susceptibilidad del sector por cada uno de los factores referenciados en el encabezado.

Cuadro 5.4. Evaluación de susceptibilidad de áreas homogéneas por caída de bloques. Barrio Triunfo Sur.

PROCESO	SECTOR	RELIEVE								Respuesta Sísmica, según Medvedev (1964)		Grado de desintegración		Propiedades geomecánicas		HIDRO-GEOLOGIA		RECUBRIMIENTO POR VEGETACIÓN Y/O CASA		RANGOS DE SUSCEPTIBILIDAD	
		Pendiente, grados				FORMAS															
		Terreno		Lecho en dirección de movimiento		Perfil		Planta		Factor de amplificación		Cohesión, kPa		Grupo		Permeabilidad, m/día		%			
			1		2		3		4		5		6		7		8		9	Rango	Calificación
Caida de Bloques	I-D-2-pr	80	4	0	0	CONVEXA	4	CONVEXA	1	1	1	20	4	II	4	0.08	5	0	5	28	medio
	I-D-2-pr-a	78	4	0	0	CONVEXA	4	CONVEXA	1	1	1	20	4	II	5	0.08	5	0	5	29	medio
	II-D-2-pr-a	85	5	60	5	CONCAVA	2	CONCAVA	5	1	1	20	4	II	5	0.08	5	0	5	37	alto
	III-D-2-pr	85	5	58	5	DISECTADO	FALSO	CONVEXA	1	1	1	20	4	II	4	0.08	5	0	5	30	medio
	III-D-2-pr-	75	4	58	5	DISECTAD	FALSO	CONVEXA	1	1	1	20	4	II	5	0.08	5	0	5	30	medio

Rango de susceptibilidad		
De	A	Calificación
9	21	bajo
22	33	medio
34	45	alto

resultado final, se procede a la suma de las susceptibilidades parciales para el sector analizado, es decir:

$$S_{natural} = \Sigma(S_r + S_s + S_d + S_g + S_h + S_v)$$

Los resultados de la evaluación de susceptibilidad realizada para el Barrio Triunfo Sur se presentan en los cuadros 5.3 (deslizamientos) y 5.4 (caídas de bloques).

5.4.2 Análisis de Susceptibilidad a los Procesos

Como se puede deducir del Cuadro 5.2, la susceptibilidad de áreas a los procesos puede variar entre 9 y 45 dentro los siguientes rangos:

De	A	Calificación
9	21	bajo
22	33	medio
34	45	alto

Según lo anterior y como se desprende del Cuadro 5.3, las áreas donde es posible la ocurrencia de deslizamientos están conformados en su mayoría por rellenos antrópicos y en dos sectores por arenisca de la Formación Regadera, fuertemente meteorizada hasta ser convertida a arcilla en la Zona I y friable en la Zona III.

En todos los sectores analizados la susceptibilidad del terreno al proceso de deslizamiento es media, con variación de los valores entre 23 a 33. Los valores más altos corresponden a los rellenos antrópicos de la Zona II.

El fenómeno de derrumbe masivo o caída de bloques se evidencia en taludes conformados por areniscas y arcillolitas fracturadas expuestas en 5 sectores homogéneos. La susceptibilidad de terreno a dicho proceso varia de media en el Bloque I hasta alta en los Bloques II y III. El mayor valor de susceptibilidad (37) se presentan en el Bloque II, correspondiente a la Zona de Falla, donde se observa el mayor fracturamiento de roca.

En el Cuadro 5.5. se presentan los valores obtenidos en la evaluación de susceptibilidad y factores de seguridad dinámicos (con sismo) calculados para algunos sectores, obteniéndose que a la mayor susceptibilidad corresponden los mayores valores de la factor de seguridad y lo contrario.

Los valores de susceptibilidad obtenidos sirvieron de base para la evaluación de amenaza por FRM.

Cuadro 5.5 Comparación de Valores de Susceptibilidad y Factores de Seguridad.

PROCESO	DESLIZAMIENTOS			CAIDA DE BLOQUES		
SECTOR	Rango Susceptibilidad		Factor de Seguridad	Rango Susceptibilidad		Factor de Seguridad
I-A-1-ra1	24	medio	4.4			
I-A-2-ra1	30	medio				
I-A-2-ra2	27	medio	2.0			
I-D-2-pr				28	medio	
I-D-2-pr-a	23	medio	1.4	29	medio	
II-A-1-ra1	28	medio				
II-A-2-ra1	33	medio				
II-A-2-ra2	30	medio				
II-D-2-pr-a				37	alto	0.8
III-A-1-ra1	28	medio				
III-A-2-ra2	28	medio				
III-D-2-pr				35	alto	0.77
III-D-2-pr-a	24	medio	2.2	35	alto	

6 EVALUACIÓN DE AMENAZA

6.1 OBJETIVO ESPECÍFICO

La evaluación y la zonificación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa tienen como objetivo proporcionar una herramienta básica para la toma de decisiones sobre la necesidad de medidas de control, protección y estabilización, y las inversiones a realizarse en el área estudiada.

6.2 METODOLOGÍA Y CRITERIOS APLICADOS

De acuerdo con la metodología propuesta la evaluación de la amenaza se realizó con base en:

a) Zonificación Geotécnica donde se definieron los sectores homogéneos.
b) Definición de la susceptibilidad de cada uno de los sectores homogéneos a los fenómenos de deslizamientos y caídas de bloques.
c) Correlación de susceptibilidad con factor de seguridad, obtenido mediante cálculo de la estabilidad de algunos sectores homogéneos típicos.
d) Correlación de susceptibilidad con amenaza.
e) Utilización de la correlación de la susceptibilidad con el factor de seguridad y la probabilidad de falla, definiendo de esta forma el valor de la amenaza en términos probabilísticos.

Los puntos a), b) y c) se trataron en los numerales 4.5, 5.3 y 5.4 del presente informe, faltando la valoración de amenaza, que se tratará en el presente capítulo.

Para la valoración de amenaza se tuvo en cuenta los rangos definidos en la Resolución 364 de 2000 del la Secretaría de Gobierno y DPAE y se consideró que el factor de seguridad de 0 a 1.2 corresponde a amenaza alta; de >1.2 a 1.9 como media; y mayor que 1.9 como de amenaza baja.

6.3 EVALUACIÓN DE AMENAZA

Teniendo en cuenta que el Objetivo Principal del presente estudio es el diseño de obras de estabilización del talud, el cual debe hacerse de acuerdo con las NSR-98, el análisis de amenaza se hace para condiciones dinámicas, es decir con sismo de diseño, considerando su probabilidad de ocurrencia en 25 años como cierta.

Para la evaluación de la amenaza, como se menciono anteriormente, se utilizó la ecuación empírica definida por Tchemodanova (2000), la cual fue calibrada con los datos nuevos, aportados por el análisis geotécnico realizado para el presente trabajo y relacionados en el Cuadro 5.5. Después de la introducción de nuevos valores, la grafica de la Figura 5.8 adquirió la forma y ecuación que se presenta en la Figura 6.1.

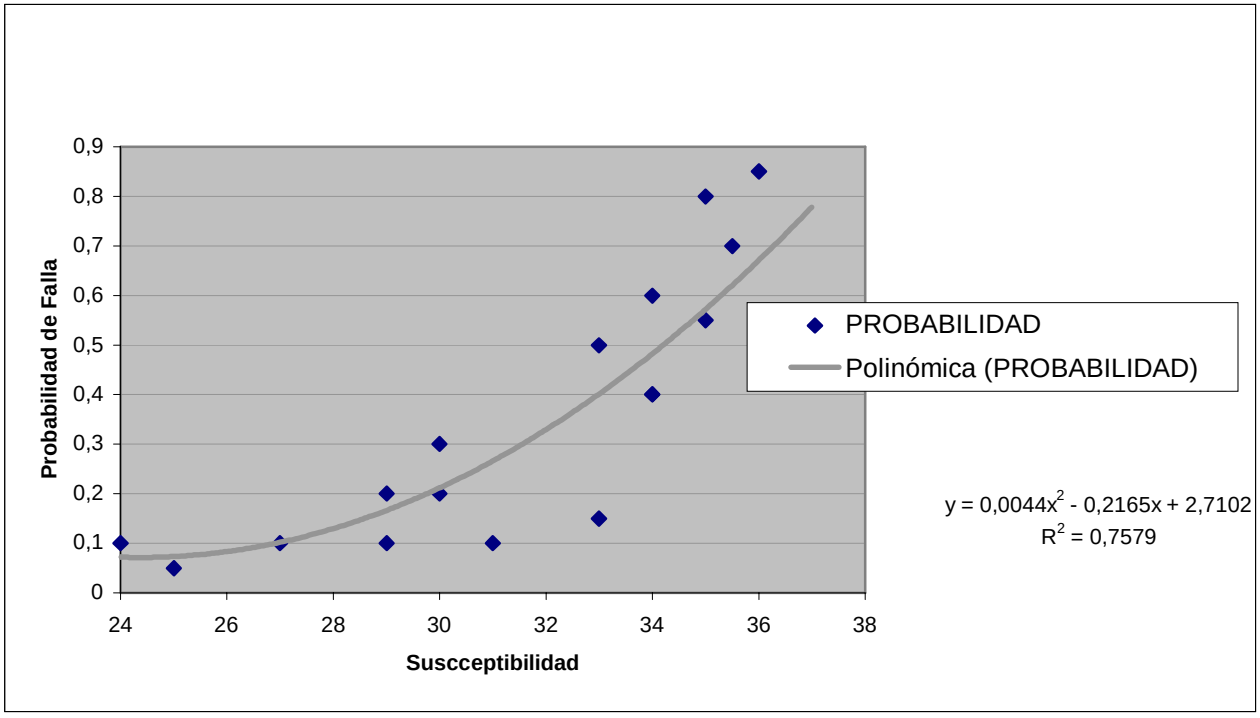


Figura 6.1 Relación de Susceptibilidad con la Probabilidad de Falla

Utilizando la ecuación de correlación de Susceptibilidad con la Probabilidad de falla, presentada en la Figura 6.1, se realizó el cálculo de amenaza a partir de los valores de susceptibilidad calculados para cada uno de los sectores homogéneos del área estudiada, obteniéndose los valores presentados en el Cuadro 6.1.

Cuadro 6.1 Caracterización de áreas homogéneas por Susceptibilidad y Amenaza al desarrollo de los FMR. Barrio Triunfo Sur.

PROCESO	DESLIZAMIENTOS				CAÍDA DE BLOQUES			
SECTOR	Rango Susceptibilidad		Amenaza		Rango Susceptibilidad		Amenaza	
I-A-1-ra_1	24	medio	0,05	bajo				
I-A-2-ra_1	30	medio	0,18	medio				
I-A-2-ra_2	27	medio	0,07	bajo				
I-D-2-pr					28	medio	0,10	bajo
I-D-2-pr-a	23	medio	0,06	bajo	29	medio	0,13	medio
II-A-1-ra_1	28	medio	0,10	bajo				
II-A-2-ra_1	33	medio	0,36	medio				
II-A-2-ra_2	30	medio	0,18	medio				
II-D-2-pr-a					37	alto	0,72	alto
III-A-1-ra_1	28	medio	0,10	bajo				
III-A-2-ra_2	28	medio	0,10	bajo				
III-D-2-pr					35	alto	0,52	alto
III-D-2-pr-a	24	medio	0,05	bajo	35	alto	0,52	alto

Rango de susceptibilidad			Nivel de amenaza		
De	A	Calificación	De	A	Calificación
9	21	bajo	0,01	0,12	Baja
22	33	medio	0,13	0,44	Media
34	45	alto	0,45	1	Alta

Los valores obtenidos se presentan gráficamente en el mapa de amenaza (Ver Plano 6), donde se tuvo en cuenta la distancia de desplazamiento de FRM, calculada en el capítulo 5.3.

6.3.1 Caracterización de Amenaza

Como se puede apreciar en el Cuadro 6.1 y en el Mapa 6 del Anexo 2, el área estudiada presenta amenazas clasificadas como alta, media y baja. Vale la pena enfatizar que la evaluación de amenaza se determinó para la situación extrema, es decir para condiciones de un sismo de magnitud de diseño. Dicho criterio de la evaluación se aplicó de acuerdo con las exigencias de las NSR-98.

A continuación se describen los diferentes sectores delimitados según su grado de amenaza.

- **Sectores de amenaza alta:** Se agrupan en 2 zonas (Norte y Central), constituidas principalmente por rocas de la Formación Regadera, y que corresponden a:

  1) Primer escarpe de excavación, con alturas hasta de 18 m, sectores II-D-2 y III-D-2. En el caso de la ocurrencia de un sismo pueden presentarse caídas de bloques individuales y derrumbe masivo del material rocoso por cuña, conformada por diaclasas presentes en talud. Presenta factores de seguridad inferiores a 1,2 y la probabilidad de una inestabilidad varía de 52% a 72%. Por la característica del macizo rocoso, se estima que los caídas evidenciarían una velocidad muy rápida (>0.3 m/min, según la escala de movimiento establecida por EKKEL, 1960). El volumen del material desplazado podría llegar hasta 33-42 m^3 por metro lineal del talud, con el peso de bloque deslizante de hasta 99 toneladas, el cual es suficiente para destruir cualquier vivienda presente en la parte baja del talud en el área amenazada. Los límites del área amenaza, definidos gráficamente (ver Anexo 9) y calculados (numeral 5.3.1.3) a partir del modelo adoptado para el cálculo de estabilidad son las siguientes: 4 metros al oeste y 7 metros al este desde la corona del escarpe principal, que se extiende paralelo al mismo hasta el límite con la Zona Sur. Por lo anterior el área de amenaza se extiende a los sectores II-A-2, III-D-1 Y III-A-2, presentados en el Mapa de Zonificación de Amenaza.

2) Escarpe secundario en la parte superior del talud de la zona norte. Incluye sector III-D-2- pr-a. Este sector está conformado por arenisca altamente meteorizada. Es un área con la probabilidad de inestabilidad de 52% debido al tipo de material, las altas pendientes del terreno y degradación permanente de material por agentes atmosféricos. Pueden presentarse caídas de bloques individuales y derrumbe masivo en caso de acción dinámica de un sismo de diseño. Se estima que la velocidad de movimiento sería muy rápida e involucraría masas cuyo volumen podría llegar a 4 m^3 por metro lineal con el peso del bloque hasta de 2 toneladas.

- **Sectores de amenaza media:** están conformados principalmente por rellenos antrópicos y roca alterada de la Formación Regadera, ubicados en la parte alta del talud de las Zonas Sur y Central. Sin embargo, en el mapa de Amenaza solo se aprecia el sector de amenaza media ubicado en la Zona Sur, pues en la Zona Central este sector está cubierto por el sector de amenaza alta por caída de bloques, cuya área de influencia se superpone sobre el sector de amenaza media por deslizamientos en relleno antrópico. La probabilidad de la ocurrencia de una inestabilidad por fenómenos de deslizamiento es del orden de 0.18 a 0.36 para el caso dinámico. La probabilidad de caída de bloques en la Zona Sur (Sector I-D-2-pr-a) es de 0,13. En las condiciones anteriores, todos estos sectores tienen factores de seguridad por encima de 1,4. En caso de producirse un sismo de magnitud de diseño, se estima que el desplazamiento sería rápido, debido a las propiedades físico – mecánicas de los materiales que conforman dichos sectores. El volumen del material es relativamente pequeño, que puede llegar hasta un máximo de 16 m^3 por metro lineal del talud, pero en su mayoría no sobrepasa 1-2 m^3. La distancia máxima de influencia de los sectores de amenaza media se determinó en forma similar que para los sectores de amenaza alta, utilizando los valores máximos de alcance, tomados gráficamente del esquema de cálculo de estabilidad, presentados en el Anexo 9. En la parte superior el retroceso se estimó gráficamente por el modelo de cálculo adoptado, en promedio en 3 metros desde el borde superior del talud. En la parte inferior la Zona Sur de alcance de bloques se trazó a 5 m de la cresta del escarpe rocoso, considerando su altura máxima de 12 m y la pendiente vertical, y calculando por la ecuación de Grechischev.

- **Sectores de amenaza baja:** corresponden al resto del área de estudio. Tienen valores máximos de probabilidades de falla por deslizamientos locales o caídas de bloques inferior a 0.10. Esta zona está conformada principalmente por rocas de las Formación Regadera y rellenos antrópicos de las vías de acceso. Para algunos de estos sectores se calcularon los factores de seguridad superiores a 2.0. Es muy poco probable que allí pueden presentarse inestabilidades, y si se presenten es principalmente debido a la intervención antrópica y mal manejo de las aguas lluvias en los sitios de cortes de taludes y de rellenos conformados para la construcción de viviendas. Los deslizamientos serían de carácter rápido y de pequeño volumen.

La calificación de amenaza para cada uno de los elementos se presenta en el Cuadro 8.1.

7 EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD

La Vulnerabilidad se define como el grado de daño, perjuicio y/o perturbación que potencialmente pueda sufrir un elemento, sometido a los efectos negativos de un fenómeno natural o artificial con una determinada magnitud.

En el presente estudio la vulnerabilidad se determinó en función de los índices: de afectación de la población (IAP), de pérdida del elemento (IPE) y de susceptibilidad del elemento (ISP) en función de su resistencia y grado de exposición individual de cada uno de los elementos dentro de cada uno de los sectores con amenaza definida .

7.1 OBJETIVO ESPECÍFICO

El objetivo específico de la evaluación de vulnerabilidad, acorde con el objeto general del estudio, es cuantificar el daño de los elementos estructurales y estimar la afectación de la población como consecuencia de la materialización del evento amenazante, necesarios para la evaluación de riesgo.

7.2 CRITERIOS Y METODOLOGÍA APLICADA

Para el análisis de vulnerabilidad, se adaptó el modelo metodológico de máximas pérdidas o de máximo daño.

Los pasos analíticos específicos para la evaluación de la vulnerabilidad formulados para el presente estudio, son los siguientes:

a) Identificación y localización de los elementos bajo amenaza.
b) Definición de la susceptibilidad de los elementos.
c) Definición del grado de exposición de elementos frente a la amenaza.
d) Valoración y calificación de la vulnerabilidad.

El análisis se basa en la hipótesis de que los eventos considerados (materialización de caída masiva de bloques o deslizamientos de rellenos) afectan los elementos que se encuentran dentro de la zona de exposición específica: a los de la parte superior, dejándolos sin soporte y a los de la parte inferior, por impacto y sobrecarga, ya que reciben el material desprendido. Igualmente, se tiene en cuanta en algunos casos el empuje lateral de deslizamientos y derrumbes.

En primer término, teniendo en cuenta el uso residencial del área de estudio, se identificaron las viviendas expuestas mediante el reconocimiento directo, consignando la información en fichas técnicas (Ver Anexo 10).

Con el reconocimiento del sector, y dada la escala del estudio, se optó por aplicar una metodología con base en matrices que permitían involucrar todos los factores tangibles de la vulnerabilidad.

El esquema metodológico general se presenta en la figura 7.1.

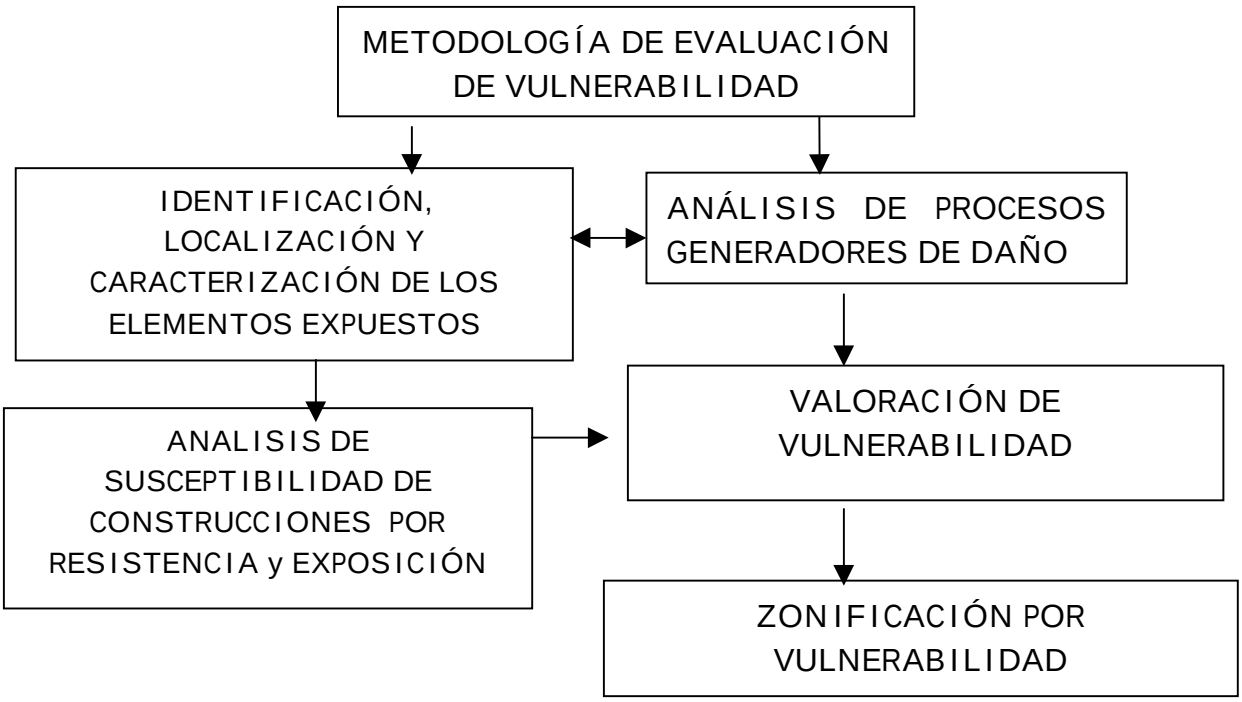


Figura 7.1. Esquema metodológico general.

7.3 IDENTIFICACION DE LOS ELEMENTOS

La investigación se realizó sobre las edificaciones, líneas vitales y habitantes del sector.

Para realizar este inventario se empleó un formulario de levantamiento de información especialmente diseñado para este trabajo y se utilizó la entrevista directa a cada uno de los jefes de hogar (cabezas de familia) en todas las viviendas; también se entrevistaron los miembros de la Junta de Acción Comunal (JAC). Este trabajo contó con una activa y valiosa colaboración del Presidente de la JAC, quien acompaño a los empadronadores en todas las visitas efectuadas.

El trabajo de campo se adelantó del 11 al 18 de abril de 2002. Los resultados consolidados se muestran en los Cuadros 7.1 y 7.2, correspondientes a viviendas e infraestructura respectivamente, y se resumen y comentan a continuación.

Se inventariaron 40 elementos físicos en total, que correspondieron a 24 edificaciones y 16 elementos de infraestructura. En las edificaciones se contabilizaron 196 habitantes y un bebé en gestación, pertenecientes a 49 familias. Del total de habitantes, 127 (65%) permanecen durante el día en su lugar de residencia.

Todas las edificaciones se usan como vivienda; 3 de ellas presentan también uso comercial y una industrial (reciclaje). El 54% de las viviendas (13) es de un piso de altura, 38% (9) de dos pisos y el 8% (2) es de tres pisos.

La antigüedad promedio de las construcciones inventariadas es de 22 años. En el rango de edades de 21 años o más se presenta el 62% de las edificaciones.

El barrio no cuenta con zonas verdes apropiadas para la recreación y el descanso y esto también se ve reflejado en las edificaciones, donde solamente dos de ellas cuenta con jardines. En cuanto a la existencia de patios el número de viviendas que posee este espacio asciende a 15 (62,5%).

1 IDENTIFICACIÓN ENCUESTA	**FECHA (A/M/D)**		13/04/02																							
	ENCUESTADOR		OR	OR	EP	EP	OR	EP	OR	OR	EP	OR	EP	EP	OR	EP	EP	EP	EP	OR	OR	OR	EP	EP	EP	OR
	NÚMERO		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**11**	**12**	**13**	**10**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**
	DIRECCIÓN		Diagonal 32 F Sur No. 14 B - 03	Diagonal 32 F Sur No. 14 B - 11	Diagonal 32 A Sur No. 14 B - 19	Diagonal 32 A Sur No. 14 B - 25	Diagonal 32 A Sur No. 14 B - 31	Diagonal 32 A Sur No. 14 B - 35	Diagonal 32 G Sur No. 14 B - 27	Diagonal 32 G Sur No. 14 B - 43	Diagonal 33 A Sur No. 14 B - 49	Sin Dirección	Sin Dirección	Sin Dirección	Transversal 15 No. 32 G - 70 Sur	Diagonal 32 H Sur No. 14C - 49	Diagonal 32 H Sur No. 14C - 41	Diagonal 32 H Sur No. 14C - 35	Diagonal 32 H Sur No. 14C - 29	Diagonal 32 H Sur No. 14C - 23	Diagonal 32 H Sur No. 14C - 17	Carrera 14 C No. 32F - 13 Sur	Carrera 14 C No. 32F - 36 Sur	Carrera 14 C No. 32F - 26 Sur	Carrera 14 B Bis No. 32F - 31 Sur	Carrera 14 B Bis No. 32F - 25 Sur
	NOMBRE PROPIETARIO		A. Romero	R. Rodríguez	A. Cardozo	M. Gómez	M. Quitian	M. Rodríguez	A. Pérez	I. Barinas	I. Ruiz	A. Ochoa	A. Ochoa	A. Ochoa	P. Arias	S. Rugelio	B. Granada	M. Hurtado	J. Hernández	H. Gamma	M. Rubiano	J. López	F. Pardo	B. Bernal	B. Medina	M. Puentes
	USO	Residencial	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Comercial													X			X	X							
		Otro (Especificar)																					X			
	No. PISOS		2	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	2	2	1	2	1	2	1	2	1
	JARDINES		NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	PATIO		NO	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	NO
	No. FAMILIAS		1	4	4	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	4	1	2	1	6	1	5	1	5
	ANTIGÜEDAD (AÑOS)		20	25	25	10	28	14	30	22	25	25	28	28	25	9	25	25	25	16	20	25	-	-	10	25
	SERVICIOS	Acueducto	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Alcantarillado	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Energía	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Gas		Propano	Propano			Propano	Propano		Propano				Propano	Propano	Natural	Propano	Propano	Propano		Propano	Gasolina		Propano	
		Teléfono	X	X	X				X	X	X				X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X
		Aseo		X						X					X	X	X	X	X				X	X	X	X
	TIPO CUBIERTA	Placa concreto	X	X	X												X	X	X	X	X			X		
		Asbesto-cem.							X			X			X	X		X	X						X	
		Lámina	X	X	X	X	X	X		X	X		X	X				X	X				X	X		
		Otra (Especificar)								Guadua/Tela			Madera	Madera												X
	TIPO ESTRUCTURA	Pórticos concreto		X																						X
		Mamp. Confinada			X												X							X		X
		Mamp. Reforzada									X							X	X							
		Mamp. Simple	X	X		X			X	X	X			X	X	X		X	X	X	X	X	X			
		Madera		X		X	X	X	X	X		X	X	X		X										
		Prefabricada																							X	
		Otra (Especificar)					Plástico						Lámina	Lámina												
	ENTREPISOS	Placa maciza	X	X	X											X	X	X	X	X		X		X		X
		Prefabricada																								
	FUNDACIÓN	Zapatas aisladas																								X
		Zapatas corridas															X							X		
		Cimiento ciclópeo	X	X	X	X			X	X	X			X	X					X	X	X				
		Losa																							X	
		No se pudo establecer					X	X				X	X			X		X	X				X			
	ANTECEDENTES EMERGENCIAS		NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	Incendio	Incendio	Evacuación temporal por humo ocasionado en una casa vecina	NO	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	NO	SI	NO
	No. habitantes día		3	2	14	7	1	5	4	6	4	4	1	2	4	5	1	12	1	7	3	15	4	9	3	9
	No. habitantes noche		5	9	20	7	3	5	5	11	5	6	3	3	5	5	1	16	5	9	3	23	8	18	5	17
3 ESTADO ACTUAL DEL ELEMENTO	**A INDICADORES DE DAÑO EN LA EDIFICACIÓN**	INCLINACIÓN			X	X		X			X		X	X		X							X		X	
		ASENTAMIENTOS Y HUNDIMIENTOS			En dirección longitudinal	X							X	X		X									El costado de atrás de la vivienda se encuentra severamente inclinado	
		AGRIETAMIENTOS EN PISOS	X	X		X			X	X			X	X					X					X	Los agrietamientos son severos	
		ABOMBAMIENTOS DE PISOS													X											
		AGRIETAMIENTO DE MUROS			Agrietamiento escalonado en muro del segundo piso, en los muros de los costados y también en los muros internos				X		Grieta vertical en muro, diagonales en la mayoría de dinteles y entre muros		X	X	X				X		X				Separación de las plaquetas prefabricadas	Grietas horizontales que atraviezan todo el frente y el costado de la casa, aparentemente debidos a deficiencia en el mortero de pega
		HUMEDADES		X	En muro del líndero					X	X		X	X	X					X	X	X	X			X
		EVIDENCIAS DE AMENAZA QUÍMICA O TECNOLÓGICA					X			X											X		X			
		OTROS			Asentamiento por deficiencia en la cimentación			Agrietamiento enla unión vivienda - escalera													Cocinan con gasolina					
	B ESTADO DE COMPONENTES INDIVIDUALES	FUNDACIÓN	R	No se pudo observar	M	M	No tiene	M	B	B	B	No tiene	No Tiene	No Tiene	B	B	B	B	B	No se pudo observar	No se pudo observar	B	M	B	M	B
		PISOS	R	Agrietados	B	M	M	R	B	Agrietamientos debidos a falta de soporte	M	En tierra	M	M	R	R	B	B	R	R	R	B	No Tiene	R	M	B
		MUROS	B	B	R	R	M	M	B	B	R	M	M	M	B	B	B	B	R	B	R	B	M	B	R	B
		PLACAS Y VIGAS	No Tiene	No Tiene	No Tiene	No Tiene	No Tiene	No Tiene	No Tiene	No Tiene	No Tiene	No Tiene	No Tiene	No Tiene	No Tiene	B	B	B	No Tiene	B	No Tiene	B	No Tiene	B	M	B
		COLUMNAS	No Tiene	En algunos sitios se observan las varilla sin recubrimiento	R	No Tiene	No Tiene	No Tiene	No Tiene	No Tiene	No Tiene	No Tiene	No Tiene	No Tiene	No Tiene	B	B	B	No Tiene	No Tiene	No Tiene	No Tiene	M	B	No Tiene	B
		TECHOS Y CUBIERTA	B	Muy mal estado, Combinación de materiales (Teja de asbesto cemeto y plásticos)	B	M	M	M	B	R	M	M	M	M	B	B	B	B	R	B	R	B	M	B	R	B
		INSTALACIONES	M	B	B	M	M	No Tiene	B	Cables a la vista	B	M	M	M	R	B	B	B	R	B	B	B	No Tiene	B	R	B
		OTROS	-	-	Columna pandeada y fisurada																					
	OTRAS OBSERVACIONES		Cables eléctricos a la vista			Consideran: valor de $ 6,000,000	Cocinan con gasolina			Cocinan con gasolina	*1	Infiltraciones en el talud, altamente meteorizado y saturado.			Obs.						Cables eléctricos a la vista			Se ha presentado caída de material	

Cuadro 7.2. Resumen Inventario de Elementos de Infraestructura

1	FECHA (A/M/D)		13/04/02															
IDENTIFICACIÓN	ENCUESTADOR		OR	OR	EP	EP	EP	EP	EP	EP	OR	OR	EP	OR	EP	EP	OR	EP
	NÚMERO		26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
2 IDENTIFICACIÓN ELEMENTO	UBICACIÓN		Cra. 14 B bis	Diag. 32 G sur	Costado norte	Diag. 32 G sur	Costado norte	Cra. 14 C	Diag. 32 G sur	Cra. 14 B bis	Cra. 14 C	Diag. 32 G sur	Costado norte	Cra. 14 C	Costado norte	Cra. 14 C	Carrera 15 BIS A	
	ACUEDUCTO	Presa o pozo																
		Tubería							X									X
		Domiciliaria							X					X				X
		Medidor							X									X
	ALCANTARILLADO	Pozo inspección		X	X													
		Red AN		X	X													
		Otro								X					X			
	ENERGÍA	Red aérea				X							X			X		
		Poste				X							X			X		
		Domiciliaria														X		
		Caja											X			X		
		Contador											X			X		
		Otro				X												
	TELECOMUNIC.	Red aérea					X	X										
		Poste					X	X										
	TRANSPORTE	Vía vehicular																
		Vía peatonal									X	X						
		Otro	X														X	
	DESCRIPCIÓN ELEMENTO		Escaleras			Alumb. Público			Medidores instalados, tubería subterránea	Cunetas aguas lluvias, en concreto, confinadas lateralmente, buen estado, alta pendiente, limpias	Vía peatonal, de ancho aprox. de 2 m. Pavimentada, en muy buen estado	Vía sin pavimentar de ancho 4 m aprox.		Cajas de acometida domiciliaria en buen estado	Cuneta en concreto para recoger escorrentía superficial en gres, alta pendiente	Postes verticales, alumbrado público	Escalera en ladrillo, buen estado. No presenta agrietamiento pese a no tener cimentación	
3 ESTADO ACTUAL	INDICADORES DE DAÑO	FÍSICOS	B	B	B	B	B	B	B	B	B		B	B	R	B	B	B
		DE FUNCIONAMIENTO	B	B	B	B	B	B	B	B	B		B	B		B	B	B
		OTROS																
		OTRAS OBSERVACIONES	Único acceso a la parte alta			2 postes de madera	Postes de madera	Postes de concreto	En el lote 14B - 25 tubería a la vista en PVC				Postes de concreto				Única vía de acceso a las viviendas de la parte alta	

Ninguno de los servicios públicos domiciliarios cubre la totalidad de viviendas inventariadas. El servicio que mayor cobertura presenta es el alcantarillado al cual acceden 23 de las 24 edificaciones. El de menor cobertura es el gas natural que tan solo tiene un suscriptor en esta zona.

En relación con las características físicas de las construcciones, cabe mencionar que la cubierta típica es la teja en lámina de zinc, seguida por la placa de concreto; hay 9 viviendas en que se combinan distintos tipos de cubierta.

En cuanto a la estructura, predominan las construcciones en mampostería simple de bloque de arcilla, seguida por la construcción con muros en madera; son pocas las viviendas que tienen pórticos en concreto, mampostería confinada o mampostería reforzada; similar a lo que ocurre con las cubiertas, hay 10 viviendas que combinan distintos sistemas estructurales. En la totalidad de las edificaciones donde se presentan entrepisos (11), éstos corresponden a placas macizas de concreto. La fundación de las viviendas, donde pudo establecerse, está constituida, en general, por cimientos corridos en concreto ciclópeo.

Ninguna de la viviendas inventariadas se emplea como sitio de concentración masiva de personas (iglesia, auditorio, salón comunal), aunque se presenta el fenómeno de hacinamiento en algunas viviendas, como lo reflejan los datos que se presentan en el Cuadro 7.1.

Cuadro 7.3 Densidad de habitantes

DENSIDAD	POR VIVIENDA	POR CADA 100 M2 DE CONSTRUCCIÓN (Aproximado)
Promedio de familias	2	1,4
Máxima de familias	6	4,8
Promedio de habitantes	8	5,6
Promedio de habitantes durante el día	5	3,6
Máxima de habitantes	23	17,5

En cuanto a antecedentes de emergencias reportados por los encuestados, estas situaciones se han vivido en 12 de las 24 viviendas y mencionan

fenómenos como caída de bloques, aludes e incendios, siendo el más representativo el primero.

En relación con el mantenimiento de las viviendas, la mayoría presta un deficiente mantenimiento a los acabados y estructura y es aceptable para las instalaciones hidráulicas y sanitarias y eléctricas.

Se realizó un inventario de las condiciones actuales de las viviendas, mediante el registro de indicadores de daño en las mismas y una evaluación de cada uno de los componentes principales. La evidencia de daño de mayor ocurrencia es la presencia de humedades, que se da en la mitad de las viviendas, seguida muy de cerca por los agrietamientos, principalmente como consecuencia de asentamientos, hundimientos y abombamientos de pisos (Ver Figura 7.2). En ningún caso se pudo asociar el mal estado o daño de las edificaciones con fenómenos de remoción en masa, sino más bien con deficiencias de diseño y construcción.

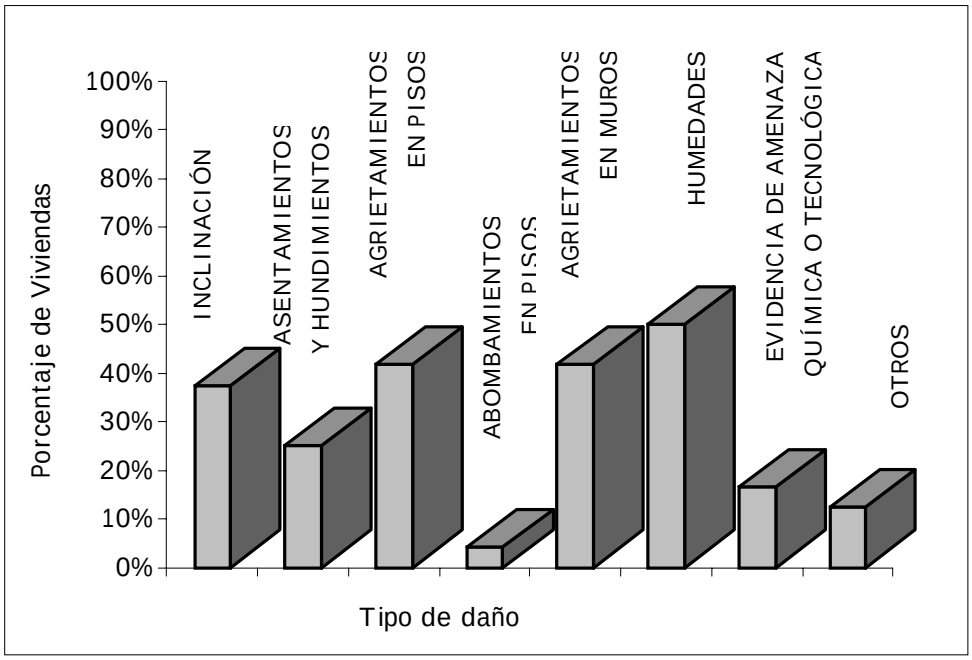


Figura 7.2 Distribución de daños en edificaciones.

Todas las viviendas han sido erigidas por autoconstrucción, no cumplen con las normas de urbanismo, tampoco son sismoresistentes.

La distribución de población por edades nos indica una mayoría de niños, con el 37% seguido por jóvenes y adolescentes 39% y finalmente los adultos que participan con 24% y los ancianos con 10%.

Se entrevistaron directamente 33 jefes de hogar o cabezas de familia, que dieron información sobre la totalidad de las 49 familias que habitan la zona de estudio. El 51% de los jefes de hogar son mujeres y el 49% son hombres, con un promedio de 45,1 años de edad.

De las cabezas de familia, que reportaron información, las mayoría se encuentran empleados, con un nivel educativo muy bajo, ninguno estudia actualmente y el acceso a los sistemas de salud se da principalmente al SISBEN y a la EPS del Instituto de Seguros Sociales. La mayoría de los jefes de hogar no participan ni han participado en actividades comunitarias.

La mayoría de las familias se encuentran habitando el barrio hace 19,8 años en promedio y hay tres familias que piensan cambiar de domicilio en los próximos 6 meses.

El acceso a los medios masivos de comunicación se da principalmente a la televisión y a la radio, mientras que la prensa escrita en su mayor parte es nunca o rara vez leída.

Como se mencionó, se inventariaron 16 elementos de infraestructura que corresponden a 4 sistemas de alcantarillados y drenajes, 4 escaleras y vías de acceso, 3 sistemas de distribución de energía eléctrica, 2 sistemas de redes de teléfonos y 3 sistemas de acueducto. Todos se encuentran en buen estado con excepción de una cuneta de aguas lluvias ubicada en el costado norte.

Para el análisis de los elementos estructurales se partió de un esquema de loteo levantado directamente en el campo y cuya distribución se presenta en el Plano 7 del Anexo 2.

7.4 VALORACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD

7.4.1 Criterios Aplicados

La evaluación de vulnerabilidad se realizó solamente para los sectores de amenaza alta y media, identificados en el Mapa de Zonificación de Amenaza (Ver Anexo 2, Plano 6), pues solamente en estos sectores los elementos están expuestos a sufrir alguna afectación por FRM. Para los demás elementos se consideró la Vulnerabilidad igual a "0".

Siguiendo la hipótesis planteada, se dividió la zona de alta exposición en dos:

1. La parte superior de los escarpes que se podría ver afectada por daño parcial en las cimentaciones de las viviendas por pérdida de volumen de suelo portante y en los elementos (redes hidráulicas, pozos de alcantarillado, postes de energía, vía peatonal) ubicados sobre la diagonal 32G Sur.

2. La parte inferior, donde los predios se verían afectadas por el impacto y la sobrecarga de los materiales caídos, y empujes por deslizamientos.

En cuanto a afectación sobre las personas se partió de la suposición que todas las personas que ocupan los predios expuestos directamente, son susceptibles de sufrir pérdida de la vida o daños corporales ante los eventos considerados, pues no existen sistemas de alerta alguna para avisar a la población expuesta a la inminencia del evento. Aún si existiera algún sistema de alerta, la comunidad no dispone de planes, señalización ni entrenamiento para una evacuación efectiva.

Los vecinos de las personas potencialmente afectadas, y la comunidad en general, no disponen de planes de emergencia y contingencia, ni recursos para atender por sus propios medios emergencias de este tipo, y no están suficientemente preparados. Esto se ve agravado por las dificultades de acceso rápido de los organismos operativos. No se dispone de accesos alternativos a la parte superior, sino únicamente por las escaleras.

Aunque hay antecedentes de emergencias, con el deceso de una persona, se observa que la población percibe el riesgo tan sólo por el fenómeno de caída

individual de bloques. Además, la población no dispone de suficientes recursos económicos para la reconstrucción ni para una autoreubicación.

Para la definición de índice de daño a las personas se utilizó la siguiente ecuación:

$$IAP = N/Nmáx$$

Donde: IAP: Índice Afectación a Población
N: Densidad de personas en el predio analizado;
Nmáx: Densidad máxima de personas por vivienda.

La tipificación de las viviendas se realizó de acuerdo a las características de los predios existentes en el Triunfo Sur en la forma como se presenta en el Cuadro 7.4.

Cuadro 7.4 Tipificación de las viviendas

Descripción	Tipo
Lote Vacío	LV
Tugurios (Ranchos)	T
Casas Prefabricadas	P
Casas en Mampostería Simple	MS
Casas en Mampostería Semi-confinada	MSC
Casas en Mampostería Confinada	MC

El Índice de Pérdida de Elemento (IPE) se determinó como resultado de división del área afectada (que se encuentra dentro de la zona de amenaza alta o media) sobre el área total del predio.

El Índice de la Susceptibilidad de los Predios (ISP) se calculó como la suma de evaluación de la susceptibilidad de elementos en función de su resistencia y de su exposición a las amenazas.

Para el análisis de la susceptibilidad por la resistencia de edificaciones se consideraron cinco componentes: cimentación, estructura, muros, suelo de fundación y techo, que determinan su estado (ver Cuadro 7.5). Para la estimación se le asignan valores a cada variable que interviene y se suman para obtener un valor de susceptibilidad por resistencia de los elementos y lo propio se hace para el grado de exposición de elemento. Por otro lado, para la vía y

otros elementos que no tiene todos los factores analizados del cuadro 7.5, su ausencia con fines de unificación de los criterios se castigó con el máximo puntaje, debido a su precaria calidad.

Cuadro 7.5 Parámetros de Evaluación de la Susceptibilidad de los Elementos por su Resistencia.

SUSCEPTIBILIDAD	CIMENTACION	ESTRUCTURA	MUROS	TIPO DE SUELO DE CIMENTACIÓN	TECHO
1	Zapatas, viga de amarre	Pórtico con Tabique	Bloque de cemento	Roca	Placa de concreto reforzado
2	Ciclópeo viga de amarre	Columnas confinadas	Bloque de cerámica	Eluvión	Placa de concreto
3	Viga de amarre	Mampostería artesanal	Bloque de escoria	Coluvión	Asbesto
4	Concreto ciclópeo	Prefabricados	Calicanto	Horizonte Neme	Zinc
5	No hay	Tugurio	Zinc	Relleno antrópico	Lona, plástico

CALIFICACIÓN: de 1 a 5 para cada una de las variables				
MAXIMA	25		ALTO	de 17 a 25
			MEDIO	de 11 a 16
MINIMA	5		BAJO	de 5 a 10

La susceptibilidad por exposición se evaluó de acuerdo a los criterios presentados en el cuadro 7.6 , teniendo en cuenta tres tipos de solicitaciones, tales como impactos por bloques, falla de fundación y empujes, de acuerdo con el Mapa de Zonificación de Amenaza (ver Plano 6).

De acuerdo a los criterios presentados, se evaluó la susceptibilidad por exposición de los elementos estructurales, la cual fue definida como la suma de valores por tres factores (para impactos de bloques: velocidad de movimiento, tamaño de bloques y altura del talud; para falla de fundación: velocidad de movimiento, pérdida de fundación y volumen deslizamiento; para presión lateral: velocidad de movimiento, presión lateral y volumen deslizamiento;) para cada uno de los eventos analizados.

Cuadro 7.6 Criterios de evaluación de la Susceptibilidad de los Elementos por Exposición

EVENTO	SUSCEPTIBILIDAD (para cada variable)	INTENSIDAD DE SOLICITACIÓN				
		Velocidad de movimiento	Presión lateral o pérdida de fundación	Volumen deslizamientos	Tamaño de bloques	Altura del talud, m
DESLIZAMIENTO Y/O CAÍDA DE BLOQUES	1	Lenta (<1,5m/mes)	SC<1/3SE	100 -200 m3	<1 dm^3	<5
	3	Moderada (1,5m/dia-1,5m/mes)	1/3SE<SC<2/3SE	200 -1000 m3	1 dm^3 – 0.5 m^3	5-15
	5	Rápida (>1,5m/día)	SC>2/3SE	>1000 m3	>0.5 m^3	>15
SC - Superficie de contacto (altura de acumulación de material)						
SE - Superficie expuesta (altura de la edificación)						
CALIFICACIÓN: de 1 a 5 para cada una de las variables						

SUSCEPTIBILIDAD TOTAL POR EXPOSICIÓN		
ALTA	de 12 a 15	MAX = 15
MEDIA	de 7 a 11	
BAJA	de 3 a 6	MIN = 3

La susceptibilidad total se obtuvo mediante la suma de la susceptibilidad por resistencia y exposición. Los valores obtenidos que se presentan en el cuadro 7.7, varían entre 0 (mínimo) y 40 (máximo posible). Para los fines de clasificación el anterior intervalo se dividió en 3, obteniéndose los rangos de susceptibilidad en la siguiente forma:

Valor Susceptibilidad	Calificación	Intensidad Daño
< a 18	baja	daño leve
De 19 a 29	media	daño mediano
De 30 a 40	alta	pérdida total

Para asignar los valores de vulnerabilidad, expresado en grado de pérdida del conjunto de un elemento o conjunto de elementos bajo amenaza, expresados en una escala de 0 (ningún daño) a 1 (pérdida total), se realizó una correlación lineal entre susceptibilidad total y vulnerabilidad (ver figura 7.3). En esta correlación se consideró que si el 50% de la construcción ha tenido daño, se declara la pérdida total. Este 50% corresponde a una susceptibilidad superior

a 30 (corresponde a la suma de valores límites inferiores de susceptibilidades altas por exposición y por resistencia) y a la vulnerabilidad de 1.

Como se puede apreciar en el cuadro 7.7 y en la figura 7.3, la vulnerabilidad se clasificó en la siguiente forma:

Vulnerabilidad	**Clasificación**
Baja	de 0 a 0.50
Media	de 0.50 a 0.99
Alta	igual o superior a 1.0

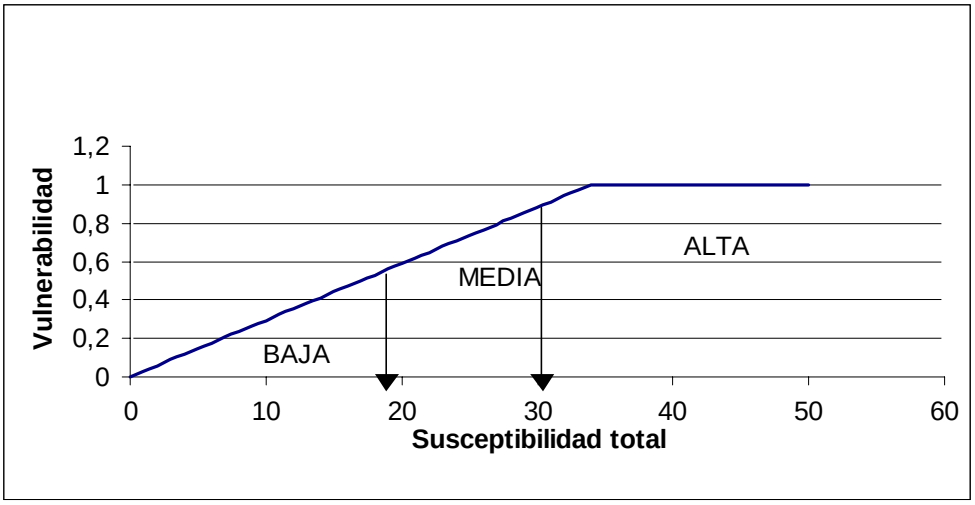


Figura 7.3 Relación de Susceptibilidad total de elementos estructurales con su Índice de Vulnerabilidad

Además de lo anterior, para evaluaciones se ha considerando lo siguiente:

- El número de habitantes por predio presente en el sector, bien sea ese una vivienda o un lote, donde sea posible la permanencia de las personas;
- El costo de los predios se asignó a partir de los costos de algunas viviendas, estimados por habitantes, calculando el precio estimado por metro cuadrado del área total, de acuerdo con el tipo del predio y calidad de la construcción.
- El área afectada fue tomándola directamente sobre el plano (Mapa de Zonificación de Amenaza), por medio del programa de ARCINFO.
-

Cuadro 7.7 . Vulnerabilidad de elementos estructurales a los FRM.

BLOQUE	SECTOR	PREDIO	DIRECCION	TIPOLOGIA	CÁLCULO DEL ÍNDICE DE AFECTACIÓN DE POBLACIÓN (IAP)			CÁLCULO DE ÍNDICE DE PÉRDIDA DEL ELEMENTO (IPE)						CÁLCULO DE SUSCEPTIBILIDAD POR RESISTENCIA DE ELEMENTOS						CÁLCULO DE SUSCEPTIBILIDAD POR EXPOSICIÓN DE ELEMENTOS*				CÁLCULO DE INDICE DE SUSCEPTIBILIDAD (ISP)		VULNERABILIDAD	
					NUMERO DE HABITANTES		INDICE DE AFECTACIÓN DE POBLACIÓN DE NOCHE	Nº PISOS	ÁREA PREDIO	PRECIO/M2	PRECIO TOTAL*	ÁREA AFECTADA, m2	ÍNDICE DE PÉRDIDA	FUNDACION	ESTRUCTURA	MUROS	TIPO DE SUELO DE CIMENTACIÓN	TECHO	TOTAL SUSCEPTIBILIDAD POR RESISTENCIA	SOLICITACION			TOTAL SUSCEPTIBILIDAD POR EXPOSICIÓN	SUMA DE SUSCEPTIBILIDADES	ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDAD		
					DÍA	NOCHE														IMPACTO DE BLOQUES,m3	FALLA DE FUNDACIÓN, por un evento retrogresivo,	PRESION LATERAL					
III	A-1-ra	10	Transversal 15 No. 32 G - 70 Sur	MS	4	5	0.22	1	227	$150,000	$34,080,000	45	0.20	4	3	2	5	3	17	0	9	0	9	26	0.86	0.43	media
	D-1-pr-a	11-13	Diagonal 32G Sin Dirección	T	7	12	0.52	1	282	$100,000	$28,200,000	197	0.70	5	5	5	2	3	20	7	8	0	15	35	1	0.74	alta
	D-1-pr	14	Diagonal 32 H Sur No. 14C - 49	MS	5	5	0.22	2	115	$150,000	$34,380,000	16	0.14	1	3	2	1	3	10	15	0	11	26	36	1	0.45	media
	D-1-pr	15	Diagonal 32 H Sur No. 14C - 41	MC	1	1	0.04	2	120	$200,000	$48,000,000	23	0.19	1	1	2	1	1	6	12	0	15	27	33	1	0.41	media
	D-1-pr	16	Diagonal 32 H Sur No. 14C - 35	MSC	12	16	0.70	3	138	$200,000	$82,980,000	14	0.10	1	2	2	1	4	10	15	0	15	30	40	1	0.60	media
	D-1-pr	17	Diagonal 32 H Sur No. 14C - 29	MSC	1	5	0.22	2	131	$200,000	$52,560,000	13	0.10	1	2	2	1	4	10	15	0	15	30	40	1	0.44	media
	D-1-pr	18	Diagonal 32 H Sur No. 14C - 23	MS	7	9	0.39	2	157	$150,000	$46,980,000	8	0.05	4	3	2	1	1	11	15	0	14	29	40	1	0.48	media
	D-1-pr	19	Diagonal 32 H Sur No. 14C - 17	MS	3	3	0.13	1	170	$150,000	$25,425,000	14	0.08	4	3	2	1	1	11	15	0	14	29	40	1	0.40	media
	D-1-pr	20	LOTE VACIO	LOTE	0	0	0.00	1	43	$100,000	$4,250,000	20	0.47	5	5	5	1	5	21	15	0	0	15	36	1	0.49	media
	D-1-pr	21	Carrera 14 C No. 32F - 13 Sur	MS	15	23	1.00	2	111	$150,000	$33,180,000	42	0.38	4	3	2	1	1	11	15	0	8	23	34	1	0.79	alta
	A-2-ra	40	Carrera 15 Bis A	Escalera	Vía de evacuación		1.00	1	180	$150,000	$27,000,000	56	0.31	5	5	5	5	5	25	0	15	0	15	40	1	0.77	alta
II	D-1-pr	22	Carrera 14 C No. 32F - 36 Sur	MS-T	4	8	0.35	1	198	$150,000	$29,640,000	120	0.61	5	3	5	1	4	18	14	0	8	22	40	1	0.65	alta
I	A-2-ra	24	Carrera 14 B Bis No. 32F - 31 Sur	P	3	5	0.22	1	42	$238	$10,000,000	25	0.60	5	4	5	5	3	22	7	0	8	15	37	1	0.61	media
I, II y III	A-1-ra	35	Diagonal 32G sur	Vía peatonal			1.00	1	400	$100,000	$40,000,000	200	0.50	5	5	5	5	5	25		15		15	40	1	0.83	alta

- La velocidad de ocurrencia de los fenómenos de remoción en masa se consideró como rápida, pues se trata de los eventos en condición dinámica.

- El volumen de la masa se calculó de acuerdo al área del sector y el espesor promedio de los materiales que podrían estar involucrados en la falla, de acuerdo con el modelo de cálculo empleado.

7.4.2 Valoración y Clasificación de Vulnerabilidad

Tal como se puede apreciar en el cuadro 7.7, la valoración de la vulnerabilidad se realizó para cada uno de los sectores homogéneos e individualmente para cada uno de los elementos que se encuentran en las zonas de amenaza alta y media. Los resultados de valoración fueron plasmados en el Mapa de Zonificación de Vulnerabilidad (Ver Plano 7, Anexo 2)

La caracterización de la vulnerabilidad se adoptó de González A. [3], tal como sigue:

Condición de Vulnerabilidad	Categoría
<0,375	Baja
0.376-0.625	Media
>0.625	Alta

Como se puede apreciar en el Cuadro 7.7 y en el Plano 7, en su mayoría los elementos analizados que se encuentran en las zonas de amenaza media a alta, tienen la vulnerabilidad media (9 elementos), siete (7) elementos tienen la vulnerabilidad alta.

Entendiendo bajo la vulnerabilidad un nivel de exposición y resistencia de los elementos expuestos en términos del tipo de daño, perjuicio o perturbación que pueden sufrir y de su localización respecto al evento amenazante, la vulnerabilidad alta se traduce en lo siguiente:

[3] Metodología para análisis de vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa en Santafe de Bogotá. Manuscrito.

Para la población:

1. Alta incidencia sobre integridad de la población. El rescate y la asistencia médica a los heridos son actividades que pueden ser obstruidas por las dificultades de acceso y falta de preparación.

2. Alta probabilidad a presentar cortes en los servicios públicos.

3. Perturbación importante de las actividades laborales, educativas, culturales, y demás para los habitantes.

4. Alta incidencia en disminución del valor de la propiedad en todo el barrio, aún para las viviendas no afectadas directamente.

5. Alta incidencia en la disminución en las condiciones de calidad de vida (baja en la actualidad) y deterioro ambiental aún mayor.

El índice estimado de afectación de población varía entre 35 y 100%

Para los elementos estructurales e infraestructura:

1. Daños graves con índice de pérdida de elemento en su mayoría superior a 30%.
2. Alta susceptibilidad de elemento por resistencia y exposición.

Para los elementos, cuya vulnerabilidad se caracterizó como media, los daños predecibles serán inferiores, es decir el índice de afectación de la población es medio (22%), el índice de pérdidas de elementos en promedio es inferior a 30%; el índice de susceptibilidad de elementos es alto, debido a mala calidad de las construcciones expuestas.

Los elementos cuya vulnerabilidad es baja tienen el índice de afectación igual a “0” y no están expuestos a los FRM.

8 EVALUACIÓN DE RIESGO

Teniendo en cuenta el interés de la DPAE de conocer el riesgo para cada una de las viviendas en el área de amenaza alta, con el fin de determinar la relación beneficio/costo de las posibles medidas de mitigación o, en casos extremos la reubicación de las viviendas y la modificación del uso actual del suelo para las áreas donde el riesgo no es mitigable.

Para el presente estudio el riesgo se evaluó tanto para las edificaciones como para las personas y dentro de cada uno de los sectores homogéneos analizados a través del Índice de Riesgo Nominal (IRN), el cual es el producto de la probabilidad de falla (Pf) por la vulnerabilidad de las edificaciones presentes.

Este Índice de Riesgo Nominal, que evalúa la magnitud (de 0 a 1) de las posibles pérdidas en forma independiente al nivel de áreas homogéneas y para cada una de las viviendas, garantiza que finalmente el riesgo represente el posible porcentaje de daño y no las pérdidas económicas, ya que esto último coloca en desventaja a los habitantes de menos recursos económicos.

8.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos de evaluación de riesgo consisten en:

- Analizar la condición para clasificar el grado de riesgo de cada elemento amenazado.
- Realizar zonificación del área por riesgo.
- Evaluar los costos esperados por daños a los elementos estructurales e infraestructura.

8.2 CRITERIOS Y METODOLOGÍA APLICADA

Teniendo en cuenta la definición de riesgo, este se determinó como el producto de la amenaza por vulnerabilidad.

Como base para el cálculo se tomaron los valores definidos en los cuadros 6.1, 7.7 y representados gráficamente en los mapas de amenazas y vulnerabilidad (ver planos 6, 7).

El análisis de riesgo se realizó en toda el área de estudio para cada uno de los sectores homogéneos. Igualmente, se hizo la evaluación para cada uno de los elementos estructurales ubicados en el sector de más alta amenaza y vulnerabilidad.

Para este trabajo se utilizó la clasificación para el Índice de Riesgo Global (IRG) esperado para 25 años, considerando su relación con la clasificación de amenaza y vulnerabilidad:

	Riesgo	**Amenaza**	**Vulnerabilidad**
Alto	>0.28	alta	alta
Medio	0.28 - 0.05	media a alta	media
Bajo	< 0.05	baja	baja a alta

8.3 ANÁLISIS DE CONDICIONES DE RIESGO POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

Los resultados de evaluación de riesgo para toda el área se presentan en el Cuadro 8.1. Con estos resultados se elaboró el mapa de zonificación por riesgo (plano 8), considerando el escenario nocturno, pues existe la mayor concentración de las personas en este tiempo y porque el principal objetivo de este tipo de estudios es la protección de la integridad física y la vida de la gente.

Como se puede apreciar en el cuadro 8.1, el riesgo alto se presenta en 5 casos, distribuidos dentro de las zonas así:

Zona Sur: No hay sectores de riesgo alto;

Zona Central: 1 predio No. 22 con 8 habitantes;

Zona Norte: 3 predios No. 11 a 13, 16 y 21, con 12, 16 y 23 personas respectivamente afectados directamente. También se prevé la afectación del camino peatonal en escalera (Carrera 15 Bis A), que sirve como el único acceso a las viviendas de la

parte superior del Barrio Triunfo Sur. Sobre este mismo camino se encuentra un poste de luz, uno de teléfono y dos pozos de aguas negras. De esta forma, en caso de ocurrencia de un derrumbe masivo de bloques (deslizamiento en cuña), además de afectación directa de los predios amenazados en esta zona los habitantes pueden quedarse sin servicios públicos.

Además de lo anterior en riesgo alto a medio se encuentra el acceso peatonal Diagonal 32G Sur, el cual atraviesa las tres Zonas, causando la afectación severa a los pobladores del Barrio, pues es el único acceso a las viviendas de la parte superior. La población afectada directamente es de 82 personas, que habitan los predios 1 a 13, excluyendo el No. 10.

En riesgo medio se encuentran los predios con sus habitantes en las zonas:

Sur: No. 24- Casa prefabricada.

Centro: No hay

Norte: Nos. 10, 14, 15, 17, 18, 19 y 20, con 28 personas afectadas directamente. La afectación de estos predios es moderada, restringida a la parte trasera de las casas y permite atención de riesgo más eficiente, pues permite fácil acceso a las viviendas por sus frentes, ubicadas sobre la vía vehicular, Diagonal 32H Sur.

El resto de los elementos estructurales e infraestructura se encuentran en riesgo bajo, pero indirectamente puede presentarse la perturbación de la población y su afectación indirecta, debida a: las dificultades de acceso; cortes en los servicios públicos; perturbación importante de las actividades laborales, educativas, culturales y demás; disminución del valor de la propiedad, las condiciones de calidad de vida y deterioro ambiental aún mayor.

Cuadro 8.1 Evaluación de Riesgo y Costos Esperados

BLOQUE	SECTOR	PREDIO	DIRECCION	COSTO	TIPOLOGIA	VULNERA-BILIDAD		AMENAZA		RIESGO		COSTO ESPERADO
I	I-A-1-ra	1	Diagonal 32 F Sur No. 14 B - 03	$ 25,050,000	MS	0.20	bajo	0.05	bajo	0.01	bajo	$ 243,486
		2	Diagonal 32 F Sur No. 14 B - 11	$ 32,680,000	MSC	0.20	bajo	0.05	bajo	0.01	bajo	$ 317,650
		3	Diagonal 32 A Sur No. 14 B - 19	$ 43,500,000	MC	0.10	bajo	0.05	bajo	0.00	bajo	$ 211,410
		4	Diagonal 32 A Sur No. 14 B - 25	$ 9,450,000	MS	0.20	bajo	0.05	bajo	0.01	bajo	$ 91,854
II	I-A-1-ra	5	Diagonal 32 A Sur No. 14 B - 31	$ 7,800,000	MS	0.20	bajo	0.10	bajo	0.02	bajo	$ 152,568
		6	Diagonal 32 A Sur No. 14 B - 35	$ 3,550,000	T	0.30	bajo	0.10	bajo	0.03	bajo	$ 104,157
		7	Diagonal 32 G Sur No. 14 B - 27	$ 5,910,000	MS	0.20	bajo	0.10	bajo	0.02	bajo	$ 115,600
		8	Diagonal 32 G Sur No. 14 B - 43	$ 9,825,000	MS	0.20	bajo	0.10	bajo	0.02	bajo	$ 192,177
III	A-1-ra	9	Diagonal 33 A Sur No. 14 B - 49	$ 15,000,000	MC	0.30	bajo	0.10	bajo	0.03	bajo	$ 440,100
	A-1-ra	10	Transversal 15 No. 32 G - 70 Sur	$ 34,080,000	MS	0.43	medio	0.52	alto	0.22	medio	$ 7,533,992
	D-1-pr-a	11-13	Diagonal 32G Sin Dirección	$ 11,000,000	T	0.74	alto	0.52	alto	0.39	alto	$ 4,236,116
	D-1-pr	14	Diagonal 32 H Sur No. 14C - 49	$ 34,380,000	MS	0.45	medio	0.52	alto	0.24	medio	$ 8,088,966
	D-1-pr	15	Diagonal 32 H Sur No. 14C - 41	$ 48,000,000	MC	0.41	medio	0.52	alto	0.21	medio	$ 10,262,539
	D-1-pr	16	Diagonal 32 H Sur No. 14C - 35	$ 82,980,000	MSC	0.60	medio	0.52	alto	0.31	alto	$ 25,827,224
	D-1-pr	17	Diagonal 32 H Sur No. 14C - 29	$ 52,560,000	MSC	0.44	medio	0.52	alto	0.23	medio	$ 12,001,962
	D-1-pr	18	Diagonal 32 H Sur No. 14C - 23	$ 46,980,000	MS	0.48	medio	0.52	alto	0.25	medio	$ 11,736,830
	D-1-pr	19	Diagonal 32 H Sur No. 14C - 17	$ 25,425,000	MS	0.40	medio	0.52	alto	0.21	medio	$ 5,334,386
	D-1-pr	20	LOTE VACIO	$ 4,250,000	LOTE	0.49	medio	0.52	alto	0.25	medio	$ 1,083,333
	D-1-pr	21	Carrera 14 C No. 32F - 13 Sur	$ 33,180,000	MS	0.79	alta	0.52	alto	0.41	alto	$ 13,686,400
	A-2-ra	40	Carrera 15 Bis A	$ 27,000,180	Escalera	0.77	alta	0.52	alto	0.40	alto	$ 10,816,072
II	D-1-pr	22	Carrera 14 C No. 32F - 36 Sur	$ 29,640,000	MS-T	0.65	alto	0.72	alto	0.47	alto	$ 13,907,896
	D-1-pr	23	Carrera 14 C No. 32F - 26 Sur	$ 37,800,000	MC	0.34	bajo	0.1	bajo	0.03	bajo	$ 1,277,147
I	A-2-ra	24	Carrera 14 B Bis No. 32F - 31 Sur	$ 10,000,000	P	0.61	medio	0.18	medio	0.11	medio	$ 1,061,357
	D-1-pr	25	Carrera 14 B Bis No. 32F - 25 Sur	$ 17,920,000	MC	0.30	bajo	0.1	bajo	0.03	bajo	$ 537,600
II y III	A-1-ra	vía peatonal	Diagonal 32G	$ 40,000,000	vía peatonal	0.83	alto	0.72	alto	0.60	alto	$ 24,000,000
											TOTAL	$ 153,260,820

RIESGO		
Bajo	<	0.05
Medio	0.05	0.28
Alto	>	0.28

8.4 EVALUACION DE COSTOS ESPERADOS

Los costos esperados por daños se calcularon como producto de riesgo total por costo del elemento (ver cuadro 8.1),

El costo total esperado para los elementos estructurales para el periodo de recurrencia de 25 años es de CIENTO CINCUENTA Y TRES MILLONES OCHOCIENTOS TREINTA Y CINCO MIL CIENTO TREINTA PESOS ($153.835.130) MCTE.

9. EVALUACIÓN DE MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN Y PROTECCIÓN

OBJETIVO

La evaluación de las medidas de estabilización tiene como objetivo comparar las diferentes alternativas que se presentan y seleccionar la más atractiva, considerando los aspectos relacionados con economía, beneficio costo y riesgo asumido.

Luego de determinados los niveles de amenaza, vulnerabilidad y riesgo lo mismo que las inspecciones al sector, se han seleccionado algunas alternativas para controlar y contrarrestar los fenómenos de inestabilidad y deterioro que presenta el talud en estudio. Éstas involucran la realización de una serie de obras, cuya proyección ha sido basada en experiencias sobre taludes con condiciones similares a las presentadas en el área de estudio, apoyada en cálculos de estabilidad. Adicionalmente, esta selección se dirigió hacia la adopción de soluciones de tipo ambiental y estético, de manera que los resultados finales de su aplicación dejen la superficie del talud con una apariencia verde, es decir revegetalizado en su totalidad.

Las obras de estabilización consideradas como alternativas se han seleccionado de tal manera que la aplicación de cualquiera de ellas le proporcione al talud una estabilidad cuyo factor de seguridad (FS) sea superior o igual a 1.2 en condiciones dinámicas para cumplir con los requerimientos de la NSR – 98 y superior o igual a 1.5 en condiciones estáticas para cumplir con los niveles de estabilidad que se manejan en Ingeniería.

Es necesario tener en cuenta que para que una solución de estabilización pueda considerarse como alternativa es requisito fundamental que disminuya el riesgo hasta un nivel medio y cumpla con los FS mínimos mencionados si se realizan obras. De acuerdo con la Figura 5.7 presentada en el Capítulo 5 ANÁLISIS GEOTÉCNICO, en condiciones dinámicas la probabilidad de falla máxima, correspondiente a un FS de 1.2 es de 0.3 y en condiciones estáticas para un FS de 1.5 la probabilidad de falla máxima es de 0.18.

Las medidas de mitigación buscan disminuir el riego y contemplan dos alternativas para bajar la amenaza y una para bajar la vulnerabilidad sin reducir la amenaza.

9.1. MEDIDAS DE MITIGACIÓN COMUNES PARA TODAS LAS ALTERNATIVAS

Independientemente de la alternativa que se seleccione para la realización de las obras de estabilización y protección del talud, cuyo planteamiento y evaluación serán descritos más adelante, hemos considerado la ejecución de unos trabajos comunes a todas las alternativas y de carácter primordial para minimizar el riesgo. Dichas obras comprenden:

- Reubicación vivienda No. 22 (Ver Figura 9.1)

- Reubicación viviendas de la plataforma superior Nos. 11, 12 y 13 (Ver Figura 9.1) para recuperación de la diagonal 32 G Sur como vía de acceso peatonal.

- Construcción de un sendero peatonal en concreto bordeando la cresta del talud, fundado sobre la plataforma superior, el cual incluye el manejo de aguas de escorrentía (zanja de coronación) y una protección lateral mediante un bordillo en concreto. Su longitud está determinada por una distancia que conecta las escaleras de los costados norte y sur de la plataforma superior (Figura No. 9.1). La construcción de este sendero en la zona norte se podrá efectuar una vez se haya desalojado el área ocupada por las viviendas Nos. 11, 12 y 13. Este trabajo complementará el propósito de tener la diagonal 32G Sur libre como vía peatonal de acceso a las viviendas de la parte alta del talud. En la Figura No. 9.2 se puede observar la sección típica proyectada para este trabajo.

- Los aportes de agua colectados por el sistema planteado serán captados en la siguiente forma: por el costado sur mediante la construcción de un cárcamo transversal en proximidades del pozo de inspección del alcantarillado descargando en este último, el cual se ubicará en el camino peatonal existente en la esquina sur occidental del talud (Diagonal 32G sur con Carrera 14 B bis). La entrega por el extremo norte se efectuará mediante empalme de la cuneta

a construirse con la existente que bordea la escalera de esa parte del talud, correspondiente a la carrera 15 bis A.

- Control y manejo de aguas en la base del talud libre mediante la construcción de una cuneta en concreto comprendida desde el límite sur del bloque I, Zona Sur coincidiendo con la base de la escalera (lote de la vivienda No. 24), hasta el paramento posterior de la vivienda No. 23 y un segundo tramo en el lote No. 20, comprendido entre el paramento posterior de la casa No. 19 correspondiente al Bloque III, Zona norte, drenando hacia la carrera 14c. (Figura No. 9.1), siendo el principal objetivo eliminar las aguas de escorrentía de los lotes Nos. 24, 22 y 20, que aportan humedades a las viviendas No. 25, 23 y 19. Ambos tramos se conectarán al alcantarillado existente de la carrera 14 C.

En el Cuadro 9.1 se relacionan los costos de las obras mencionadas anteriormente.

Cuadro 9.1 Costos de las obras comunes

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	V. UNITARIO	V. TOTAL
1	Localización y replanteo	GB	1	1.855.000	1.855.000
2	Excavaciones misceláneas en conglomerado y demoliciones, incluyen retiro de escombros	M3	40	34.500	1.380.000
3	Construcción sendero peatonal	ML	76	206.750	15.713.000
4	Reubicación de las viviendas Nos. 11, 12, 13, No. 22	GB GB	1 1	13.750.000 37.050.000	50.800.000
5	Cuneta de drenaje inferior en concreto e= 0.07 m.	ML	48	50.750	2.436.000
6	Cajas colectoras y conducto de conexión a la carrera 14c	GB	1	739.000	739.000
7	Construcción cárcamo costado sur en mampostería	GB	1	696.819	696.819
8	Cercado de lotes	ML	60	32.000	1.920.000
				TOTAL	**$ 75.539.819**

9.2. DESCRIPCIÓN Y COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS

Para establecer un análisis comparativo de las alternativas propuestas para proteger y controlar la estabilidad del talud, se han tenido en cuenta algunos elementos de evaluación tales como: Factor de Seguridad y probabilidad de falla; ventajas y desventajas; aspectos constructivos y costos; elementos que se describen en los cuadros correspondientes a cada alternativa planteada como sigue a continuación.

9.2.1. Alternativa 1

La alternativa 1 busca disminuir la amenaza y consiste en la realización de los siguientes trabajos, cuyo detalle se puede observar en la Figura No. 9.3:

- Protección del talud correspondiente al área de la zona sur o Bloque I, mediante la instalación de malla eslabonada anclada con taches de varilla. Sobre la superficie de este, en los sectores que actualmente carecen de vegetación, se repondrá ésta mediante la colocación de sacos de fique rellenos con suelo orgánico y cespedones de grama confinados entre la malla y la superficie del terreno. El procedimiento de instalación de esta protección deberá hacerse desde la base del talud hacia arriba.

- Reubicación de la vivienda No. 24

- En la parte del talud correspondiente a las áreas definidas por los Bloques II y III (zonas central y norte), se instalarán redes de pernos de roca no tensionados para sostenimiento y estabilización de los bloques de roca potencialmente inestables (Véanse anexo No. 11 y Figura 9.3). Así mismo, se acompañará este tratamiento con la protección superficial del talud para prevenir el desprendimiento de pequeños bloques, mediante la instalación de malla eslabonada En los sectores desprovistos de vegetación se colocarán sacos de fique rellenos con suelo orgánico y sobre estos cespedones de grama, en la misma forma que se describió anteriormente.

- En el talud secundario correspondiente al bloque III-a-1 (talud sobre la plataforma superior de la zona norte), sobre la superficie desprovista de vegetación, se protegerá ésta mediante la instalación de malla eslabonada anclada con taches a la roca y se incluirá la colocación de sacos de fique rellenos de suelo y cespedones de grama, los cuales serán sostenidos y confinados por la malla, de la misma forma que en el caso anterior

Estabilidad del Talud

Con la aplicación de la alternativa 1 el mejoramiento de la estabilidad del talud alcanzado es como se indica en el cuadro 9.2.

Cuadro 9.2 Mejoramiento de la Estabilidad con Alternativa 1

ZONA	Estabilidad Actual				Estabilidad Con Alternativa 1			
	Cargas Estáticas		Cargas Dinámicas		Cargas Estáticas		Cargas Dinámicas	
	FS	Probab. falla	FS	Probab. falla	FS	Probab. falla	FS	Probab. falla
Bloque I (Sur)			1.40	0.20			1.40	0.20
Bloque II (Central)	1.09	0.40	0.80	0.72	1.55	0.14	1.20	0.30
Bloque III (Norte) Principal	1.11	0.37	0.81	0.75	1.59	0.14	1.23	0.28
Bloque III- a –1 (Norte) Secundario	1.91	0.12	1.50	0.15	1.91	0.12	1.50	0.15
Promedio				0.46				0.23

Nota: En el bloque I el FS a cargas dinámicas en las condiciones actuales es alto, superior a las exigencias de la NSR – 98. esto indica que a las cargas estáticas es todavía mayor, superior a 1.5, situación que no amerita hacer el cálculo.

En los taludes que ya los cálculos en condiciones actuales presentan un FS superior a lo requerido, indica que son estables y por lo tanto no requieren obras para mejorar su estabilidad. Las obras se programan para aquellas zonas que tienen FS inferior a la norma.

De acuerdo con lo consignado en el cuadro 9.2, la alternativa 1 proporciona al talud grados de estabilidad con FS mínimo de 1.55 a las cargas estáticas y de 1.20 a las

cargas dinámicas, los cuales conducen a probabilidades de falla máximas de 0.14 a las cargas estáticas y de 0.3 a las cargas dinámicas.

Cuadro 9.3 Análisis de la Alternativa 1

<table>
<tr><td colspan="2">1. ALTERNATIVA 1.</td></tr>
<tr><td colspan="2">2. DESCRIPCION
- Protección de las superficies de los taludes de los Bloques I, II y III y de la Zona III-a-1, mediante el cubrimiento de éstas con el empleo de malla eslabonada de alambre galvanizado calibre 12, revestida con polietileno, anclada al talud mediante la utilización de taches de varilla de acero de Ø ½" de L= 0.50 m en roca y de 0.8 m en suelo separados cada 0.5 m en tresbolillo. En los sectores de la cara del talud que se encuentran desprovistos de vegetación se colocará, entre la superficie del terreno y la malla, sacos de fique rellenos con suelo orgánico provisto de abono e hidroretenedores y sobre estos se colocarán cespedones de grama creándose la restitución de la capa vegetal sostenida por la malla descrita anteriormente.
- Para controlar la inestabilidad potencial generada por la formación de cuñas de roca en el talud en los Bloques II y III, se instalará una red de pernos de roca no tensionados de Ø 1 ¼" y L = 4 m separados cada 2.0 m en tresbolillo entre las cotas 2.672 y 2.685 m.s.n.m., complementados con malla eslabonada. En los sectores del talud que se encuentran desprovistos de vegetación, se colocarán sacos de fique rellenos con suelo y cespedones de grama, en forma similar al descrito para el bloque I. El extremo de los pernos y sus platinas ayudarán a la fijación de la malla disminuyendo la concentración de los anclajes con taches de varilla.
- Reubicación de la vivienda No. 24</td></tr>
<tr><td>3. VENTAJAS</td><td>- Estabilización del talud en roca
- Recuperación de la zona como área verde.
- Control de la caída de material por erosión superficial a causa de la acción del intemperismo de la roca y por lavado de aguas de escorrentía
- Aumento del factor de seguridad en las zonas II y III, disminuyendo el riesgo sísmico</td></tr>
<tr><td>4. DESVENTAJAS</td><td>- Requiere de cuidados y riego hasta cuando la grama haya adquirido el enraizamiento necesario para comportarse establemente.
- Presenta dificultades constructivas a causa de la instalación de pernos en niveles altos que requieren de montajes especiales.
- Presenta dificultades para la instalación de los pernos en la zona norte (Bloque III), a causa de las edificaciones existentes en ese sector. (Viviendas Nos. 14 a 19), por lo que será necesario hacer los respectivos convenios con los propietarios con el fin de obtener el permiso para efectuar los trabajos.</td></tr>
</table>

5. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS	- Es indispensable el montaje de andamios especiales tanto para la perforación e instalación de los pernos de roca como para el montaje de la malla y el engramado el cual será necesario construir de abajo hacia arriba. - La fijación de los pernos y taches se hará con mortero de cemento - Empleo de materiales de fácil consecución en el mercado. - Es necesario el empleo de equipos que permitan realizar perforaciones en roca hasta de 4 m y un sistema apropiado para la aplicación del mortero de fijación de los pernos. Para el anclaje de los taches de varilla en roca será necesario el empleo de perforadoras de menor tamaño.

6. COSTOS

ITEM	DESCRIPCION	UNID	CANT.	V. UNITARIO	V. TOTAL
1	Localización y replanteo	GB	1	1.500.000	1.500.000
2	Instalación de pernos Ø 1 ¼" ; No Tensionados; L= 4 m (192 unid.)	ML	768	112.125	86.112.000
3	Instalación malla eslabonada anclada con taches de varilla Ø ½"	M2	1360	22.300	30.328.000
4	Colocación sacos de fique rellenos y cespedones de grama	M2	1074	22.750	24.433.500
5	Arriendos temporales para realizar trabajos en talud de las viviendas Nos. 14 a 19	SG	1	10.000.000	10.000.000
6	Reubicación Casa No. 24	SG	1	**12.500.000**	**12.500.000**
				TOTAL	**$ 164.873.500**

Considerando una segunda opción para esta alternativa, existe la variante de protección del talud con el empleo de enredaderas, obteniéndose un segundo valor para esta alternativa de $ 143.465.750. , la cual denominaremos como alternativa 1b.

9.2.2. Alternativa 2

La alternativa No. 2, cuyo esquema se presenta en Figura No. 9.4, consiste en los siguientes trabajos:

- Para la protección de la superficie del talud del bloque I, se ha considerado ésta en dos partes: La primera corresponde al talud sobre la plataforma de la casa No. 24, el cual se protegerá con malla eslabonada, sacos de fique rellenos

con suelo orgánico y cespedones en grama siendo este el mismo tratamiento descrito para la Alternativa No. 1 (Figura No. 9.3). Para la segunda parte del talud y hasta el límite con la zona II, se continuará la instalación de la malla y se plantarán en la base del talud especies vegetales de la familia de las trepadoras (enredaderas), en cuyo caso la más recomendable para este propósito es la hiedra. Para realizar la siembra y desarrollo de estas especies vegetales, es necesaria la conformación, a lo largo de la pata del talud, de una zanja jardinera para alojar suelo orgánico con abono.

- Para estabilizar y disminuir el riesgo en el talud correspondiente a las Bloques II y III, se utilizará una red de pernos tensionados, instalados cada 2 m en tresbolillo, cubriendo toda la superficie, como se calculó en el anexo No. 11. Para la protección superficial se instalará malla eslabonada galvanizada revestida con polietileno, fijada mediante los pernos y algunos taches de varilla en los sectores en que se requiera. Para complementar la protección descrita se plantarán enredaderas, construyendo previamente una zanja jardinera la cual se llenará con suelo orgánico abonado de manera que en estas se consiga la vida y desarrollo de las plantas, y que estas últimas a su vez se extiendan en la superficie del talud cubierto por la malla y desprovisto de vegetación. En esta forma se crea una protección vegetal que puede preservar y proteger la superficie expuesta del talud. Para el talud de la zona norte (bloque III), será necesario construir estas en los patios de las viviendas No. 14 a 19

- Para la protección del talud secundario correspondiente al bloque III-a-1 se empleará la colocación de malla eslabonada anclada con taches y se sembrarán enredaderas como se describió para el bloque I.

- Reubicación de la vivienda No. 24, pues su posición no permite la realización de los trabajos en esa parte del talud.

Estabilidad del Talud

Con la aplicación de la alternativa 2 el mejoramiento de estabilidad del talud alcanza los valores indicados en el cuadro 9.4

Cuadro 9.4 Mejoramiento de la Estabilidad con Alternativa 2

ZONA	Estabilidad Actual				Estabilidad Con Alternativa 1			
	Cargas Estáticas		Cargas Dinámicas		Cargas Estáticas		Cargas Dinámicas	
	FS	Probab. falla	FS	Probab. falla	FS	Probab. falla	FS	Probab. falla
Bloque I (Sur)			1.40	0.20			1.40	0.20
Bloque II (Central)	1.09	0.40	0.80	0.72	1.51	0.15	1.17	0.38
Bloque III (Norte) Principal	1.11	0.37	0.81	0.75	1.55	0.14	1.20	0.30
Bloque III- a –1 (Norte) Secundario	1.91	0.12	1.50	0.15	1.91	0.12	1.50	0.15
Promedio				0.46				0.26

Nota: En el bloque I el FS a cargas dinámicas en las condiciones actuales es alto, superior a las exigencias de la NSR – 98. esto indica que a las cargas estáticas es todavía mayor superior a 1.5, situación que no amerita hacer el cálculo.

En los taludes que ya los cálculos en condiciones actuales presentan un FS superior a lo requerido, indica que son estables y por lo tanto no requieren obras para mejorar su estabilidad. Las obras se programan para aquellas zonas que tienen FS inferior a la norma.

De acuerdo con lo mostrado en el cuadro 9.4, la alternativa 2 cumple satisfactoriamente como solución para estabilizar el talud, porque eleva el FS a valores mínimos de 1.51 para cargas estáticas y de 1.17 para cargas dinámicas, implicando probabilidades de falla máximas de 0.14 a cargas estáticas y de 0.38 a cargas dinámicas.

Cuadro 9.5 Análisis de la Alternativa 2

<table>
<tr><td colspan="2">1. ALTERNATIVA 2.</td></tr>
<tr><td colspan="2">2. DESCRIPCIÓN
- Protección del talud sobre la casa No. 24 en el bloque I, con cespedones de grama en la misma forma que se describió para la alternativa No 1.
- Protección de las superficies de los taludes: 2o. Sector del bloque I y los correspondientes a los Bloques II, III y III-a-1, mediante el cubrimiento de éstas con el empleo de malla eslabonada de alambre galvanizado revestido con polietileno, calibre 12, anclada al talud mediante la utilización de taches de varilla de acero de Ø ½" de L= 0.50 m en roca y de 0.80 m en suelo, separados cada 0.5 m en tresbolillo En los sectores del talud que se encuentran desprovistos de vegetación además de la protección con malla se plantarán especies vegetales en la base del talud, de la familia de las trepadoras (enredaderas), en cuyo caso la más recomendable es la Hiedra. Para tal efecto se requiere de la conformación de una cuneta jardinera en la pata del talud rellena con material orgánico rico en nutrientes para la vida y desarrollo de las plantas, las cuales se extenderán sobre la malla colocada en el talud. En la Zona Norte del talud (Bloque III), para realizar este trabajo es necesario disponer de espacios en los patios traseros de las viviendas No. 14 a 19.
- Para controlar la inestabilidad potencial generada por formación de cuñas de roca en el talud en los Bloques II y III (zonas central y norte), se instalará una red de pernos de roca tensionados de diámetro ¾" y L= 5 m separados cada 2 m en tresbolillo, entre las cotas 2672 y 2.685 m.s.n.m., complementados con la protección antes descrita en malla y enredaderas. El extremo de los pernos y sus platinas ayudarán a la fijación de la malla.
- Reubicación de la vivienda No. 24.</td></tr>
<tr><td>3. VENTAJAS</td><td>- Protección contra la erosión en toda la superficie del talud.
- Recuperación del área como zona verde.
- Control de caída de bloques y erosión superficial.
- En la instalación de la malla se reduce la concentración de taches de anclaje pues no tendrá que soportar la carga del engramado y el suelo en sacos
- No requiere de mantenimiento periódico</td></tr>
<tr><td>4. DESVENTAJAS</td><td>- Requiere de montajes especiales para la perforación e instalación de pernos en altura.
- De acuerdo con los cálculos requiere de mayor longitud de perforación para la instalación de pernos.
- Presenta dificultades para la instalación de los pernos en la zona norte (Bloque III), a causa de las edificaciones existentes en ese sector. (Viviendas Nos. 14 a 19), por lo que será necesario hacer los respectivos convenios con los propietarios para obtener el permiso para efectuar los trabajos.
- Requiere de un seguimiento prolongado del desarrollo de las plantas (enredaderas) para observar que cumplan con el objetivo establecido, en especial en la parte correspondiente a los bloques II y III.
- Es necesario disponer de un espacio en los patios de las viviendas Nos. 14 a 19, para realizar la siembra de las plantas.</td></tr>
</table>

5. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS	- Es indispensable el montaje de andamios especiales tanto para la perforación e instalación de los pernos de roca como para el montaje de la malla. - La fijación de los pernos se hará inicialmente con resina epóxica de fraguado rápido en los dos primeros metros para poder tensionar y se continuará el anclaje rellenando con mortero de cemento la parte restante, luego de efectuada la tensión de diseño. - Empleo de materiales de fácil consecución en el mercado. - Es necesario el empleo de equipos que permitan realizar perforaciones en roca hasta de 5 m y un sistema para aplicación del mortero de fijación de los pernos. Para el anclaje de los taches de varilla en roca será necesario el empleo de perforadoras de menor tamaño.

6. COSTOS

ITEM	DESCRIPCION	UNID	CANT.	V. UNIT.	V. TOTAL
1	Loc. y replanteo	GB	1	1.500.000	1.500.000
2	Excavaciones misceláneas en conglomerado y demoliciones, incluyen retiro de escombros	M3	25	34.500	862.500
3	Instalación de pernos de roca Ø ¾" , L = 5 m, Tensionados	ML	960	133.875	128.520.000
4	Instalación malla eslabonada anclada con taches de varilla Ø ½"	M2	1360	22.300	30.328.000
5	Colocación sacos de fique rellenos y cespedones de grama	M2	28	22.750	637.000
6	Relleno Cuneta jardinera y siembra enredadera (incluye atención y desarrollo inicial)	ML	78	30.625	2.388.750
7	Arriendos temporales para realizar trabajos en talud y construcción de jardineras en las viviendas Nos. 14 a 19	GB	1	15.000.000	15.000.000
8	Reubicación vivienda No. 24	GB	1	12.500.000	12.500.000
				TOTAL	**$ 191.736.250**

Considerando una segunda opción de esta alternativa (alternativa 2b) que variaría en lo referente a la protección del talud pues esta se podría ejecutar con la colocación de suelo en sacos de fique y colocación de cespedones de grama obteniéndose un costo para esta segunda opción de
$ 213.144.000.

9.2.3. Alternativa 3

La alternativa 3 consiste en no realizar ningún tipo de obras de estabilización y protección en los taludes de las Bloques I, II, III y III-a-1, lo cual conduce a la necesidad de reubicar a los habitantes de las viviendas de la parte inferior identificadas con los Nos. 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, y 23. De esto se derivan otros trabajos, tales como, la demolición de las edificaciones, retiro de escombros y cercado del área desocupada.

La alternativa 3 disminuye el riesgo, llevándolo de alto a medio debido a que se disminuye la vulnerabilidad por la evacuación de los habitantes de las zonas de alto riesgo.

Cuadro 9.6 Análisis de la Alternativa 3

1. ALTERNATIVA 3.	
2. DESCRIPCIÓN - No se realizan obras de protección del talud - Reubicación de las viviendas identificadas con los Nos. 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 23 . - Demolición de las viviendas relacionadas, retiro de escombros y limpieza de la plataforma resultante. - Cercado del área resultante de agrupar los lotes No. 14 a 23	
3. VENTAJAS	- Elimina los riesgos que existen de ser afectadas las viviendas de la plataforma inferior que están en contacto o próximas al talud, ante caídas de material sobre ellas. - Aísla la zona de influencia de potenciales derrumbes de la presencia de moradores o transeúntes, que puedan ser afectados. - Disminuye los trabajos más dispendiosos con respecto a las otras alternativas y por consiguiente su tiempo de ejecución.
4. DESVENTAJAS	- El alto costo a causa de la negociación de los predios - No aumenta el Factor de Seguridad, del talud, quedando la posibilidad de que éste se derrumbe en un evento sísmico.

5. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS	- No requiere ejecución de obras en altura - Utilización de maquinaria pesada para las demoliciones y retiro de escombros: Rompedoras, compresores, retroexcavadoras, volquetas, etc.

6. COSTOS

ITEM	DESCRIPCION	UNID	CANT.	V. UNIT.	V. TOTAL
1	Reubicación de viviendas Nos.				
	14	GB	1	34.380.000	
	15	GB	1	48.000.000	
	16	GB	1	82.980.000	
	17	GB	1	52.560.000	
	18	GB	1	46.980.000	
	19	GB	1	25.425.000	
	21	GB	1	33.180.000	
	23	GB	1	37.800.000	361.305.000
2	Demolición de edificaciones y retiro escombros	GB	1	22.500.000	22.500.000
3	Cercado del área libre.	ML	52	32.000	1.664.000
				TOTAL	**$ 385.469.000**

9.3. COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS

Una vez planteadas las alternativas es necesario compararlas con el fin de seleccionar la más apropiada, atendiendo aspectos como disminución del riesgo y beneficio/costo de cada una de las alternativas consideradas.

Para tal efecto, en primer término en el cuadro 9.7 se presentan los costos de implementación de cada una de ellas.

Cuadro 9.7 Valor total de los trabajos

ALTERNATIVA		VALOR	VALOR TOTAL
No.	VALOR	OBRAS COMUNES	
1 a	164.873.500	75.539.819	240.413.319
1 b	143.465.750	75.539.819	219.005.569
2 a	191.736.250	75.539.819	267.276.069
2 b	213.144.000	75.539.819	288.683.819
3	385.469.000	75.539.819	461.008.819

Teniendo en cuenta el parámetro de costos y considerando que las alternativas tienen el mismo nivel de solución al problema, resulta que la alternativa más favorable es la identificada con el numeral 1 b, pues tiene el menor costo de aplicación.

De otro lado, para considerar aspectos relacionados con el beneficio que proporciona cada alternativa, en el cuadro 9.8 se presenta un cuadro comparativo sobre las relaciones Beneficio/Costo generadas en cada caso.

Cuadro 9.8 Beneficio de alternativas

Alternativas		Ventajas	Desventajas	Aspectos Constructivos	Costo miles $	Beneficio miles $	Beneficio/ Costo
No	Descripción						
1a	• Instalación red de pernos Ø 1 ¼", L=4m, No tensionados sectores centro y norte • Protección del talud con malla eslabonada • Restitución de capa vegetal con suelo en sacos y cespedones de grama, en los sectores que carecen de ésta.	• Aumenta el FS en las zonas central y norte ante el riesgo sísmico. • Proporciona una solución de carácter ambiental y revegetaliza el área	• En los trabajos se involucran las edificaciones de la zona norte. • Dificultades constructivas por trabajos en altura y el sistema de instalación de la malla. y la grama	• Perforadoras de roca con capacidad de perforar 6 m y menores • Empleo de andamios para perforación e instalación de malla y grama	240.413	153.260	0.64
1b	• Instalación red de pernos Ø 1 ¼", L=4 m, No tensionados para sectores centro y norte • Protección del talud con malla eslabonada • Protección por siembra de plantas enredaderas a excepción del talud de la casa 24	• Controla el riesgo sísmico. en zonas central y norte • Proporciona una solución de carácter ambiental y protege la superficie del talud. • Menor dificultad constructiva que la Alternativa 1 a. y su costo.	• En los trabajos se involucran los edificaciones de la zona norte. • Dificultades constructivas por trabaj00os en altura	• Perforadoras para roca • Andamios para soportar las perforadoras e instalación de pernos y malla • Excavación en roca para las jardineras	219.006	153.260	0.70

Alternativas		Ventajas	Desventajas	Aspectos Constructivos	Costo miles $	Beneficio miles $	Beneficio/ Costo
No	Descripción						
2 a	• Instalación de red de pernos de Ø ¾", L=5m, Tensionados en los sectores centro y norte • Protección del talud con malla eslabonada • Protección de áreas sin vegetación por siembra de plantas enredaderas a excepción del talud de la casa 24	• Aumenta el FS en las zonas central y norte ante el riesgo sísmico. • Proporciona una solución de carácter ambiental y protege la superficie del talud	• En los trabajos se involucran los edificaciones de la zona norte. • Dificultades constructivas por trabajos en altura .	• Perforadoras para roca con capacidad hasta de 6 m • Empleo de andamios para perforación e instalación de malla • Excavación en roca para las jardineras	267.276	153.260	0.57
2b	• Instalación red de pernos de Ø ¾", L=5m, Tensionados en zonas central y norte • Protección total del talud con malla eslabonada • Restitución de capa vegetal con suelo en sacos de fique y cespedones de grama, en todos los sectores que carecen de ésta. ●	• Aumenta el FS en las zonas central y norte ante el riesgo sísmico. • Proporciona una solución de carácter ambiental y protege la superficie del talud. • Aumenta dificultad constructiva respecto de la Alternativa 2a. y el costo.	• Dificultades constructivas por trabajos en altura y el sistema de instalación de la malla • Dificultades constructivas por trabajos en altura y el sistema de instalación de la malla y la grama	• Perforadoras para roca con capacidad hasta de 6 m • Empleo de andamios para perforación e instalación de malla	288.683	153.260	0.53
3	• No realizar obras de estabilización y protección en los taludes • Reubicación de las viviendas de la parte inferior No. 14 a 23	• Elimina la afectación sobre las viviendas de la zona inferior. • Elimina la realización de los trabajos propuestos.	• Aumenta los costos para el DPAE.. • Puede afectar los habitantes de la parte superior. • La amenaza no desaparece amenaza	• Empleo de maquinaria para demolición y retiro de escombros	471.009	153.260	0.33

Nota: El beneficio es el costo esperado del riesgo sin obras.

De acuerdo con las relaciones Beneficio / Costo, y considerando que la mayor inversión se presenta cuando dicha relación tiene sus máximos valores, se encuentra que la alternativa más beneficiosa es la 1b con una cifra de 0.70.

De otro lado, con el fin de evaluar el riesgo que implica la implementación de cada alternativa, en el Cuadro 9.9 se presentan las cifras relacionadas con riesgo asumido en cada caso.

Cuadro 9.9 Riesgo asumido por alternativas

Alternativa	Costo miles $	Riesgo esperado miles $	Probabilidad de falla medio	Riesgo asumido miles $
1a	240.413	153.260	0.23	90.545
1b	219.005	153.260	0.23	85.621
2a	267.276	153.260	0.26	109.339
2b	288.683	153.260	0.26	114.905
3	461.008	0	0.46	212.063

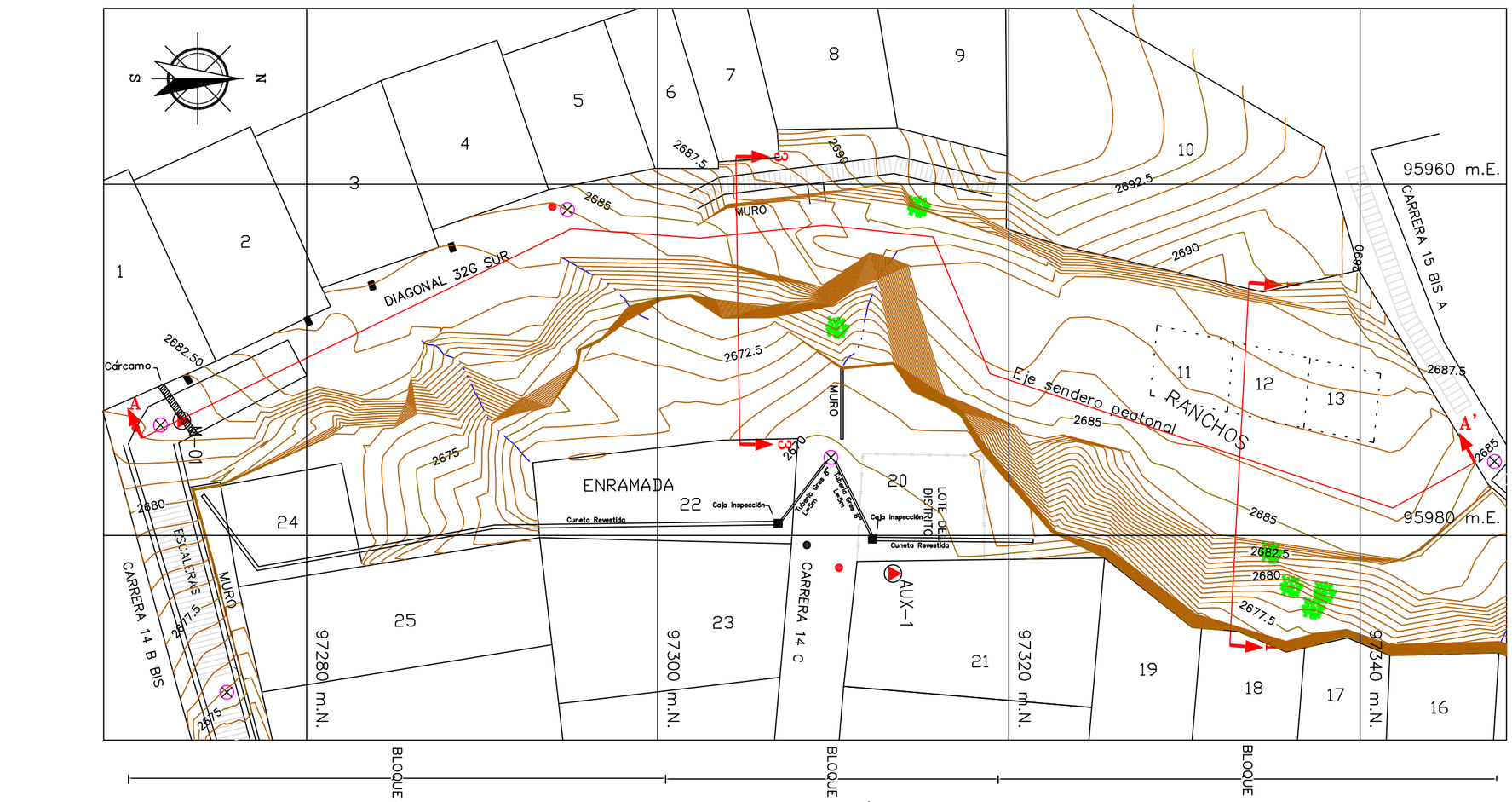
Teniendo en cuenta estas cifras, la alternativa más favorable es la 1b, la cual tiene el mínimo riesgo asumido.

Evaluando los diferentes parámetros de comparación, encontramos que esta alternativa presenta los mejores indicadores, pues posee el mínimo costo de inversión, el máximo beneficio / costo y el mínimo riesgo asumido.

En consecuencia, se recomienda diseñar la alternativa 1b, la cual debe construirse en su totalidad para que el problema se resuelva completamente.

SENDERO PEATONAL Y CUNETA INFERIOR

VISTA EN PLANTA



PERFIL No. A–A'

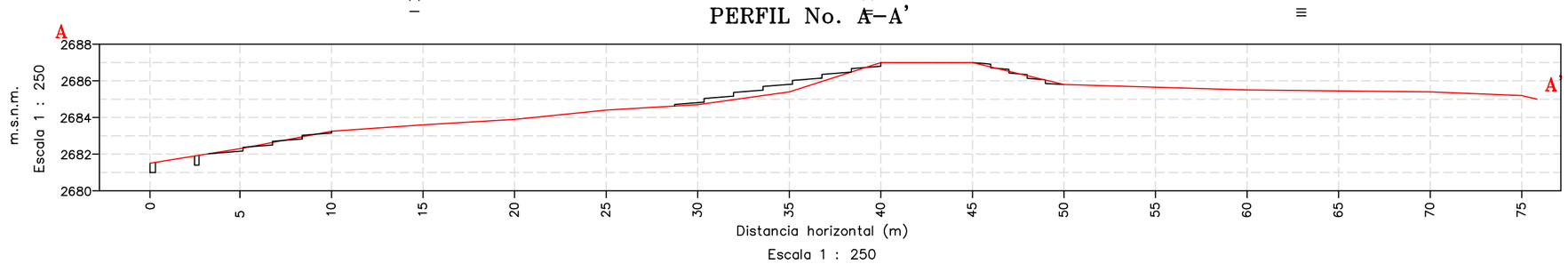
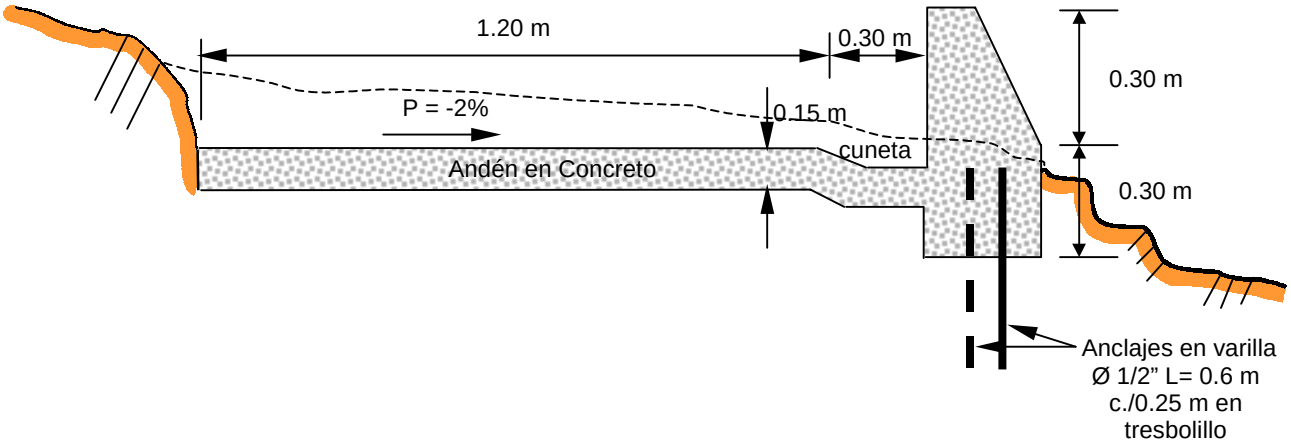
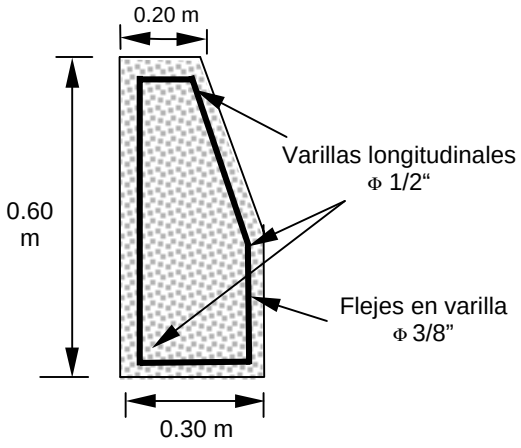


FIGURA 9.1

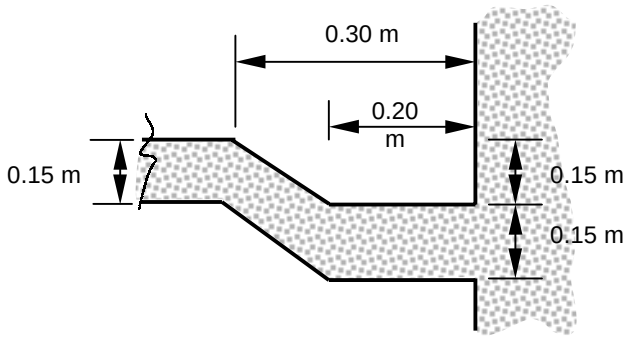
Figura 9.2 Detalle Sección Sendero Peatonal

Sección transversal





Detalle refuerzo



Detalle sección

Figura 9.3 Detalle Alternativa 1

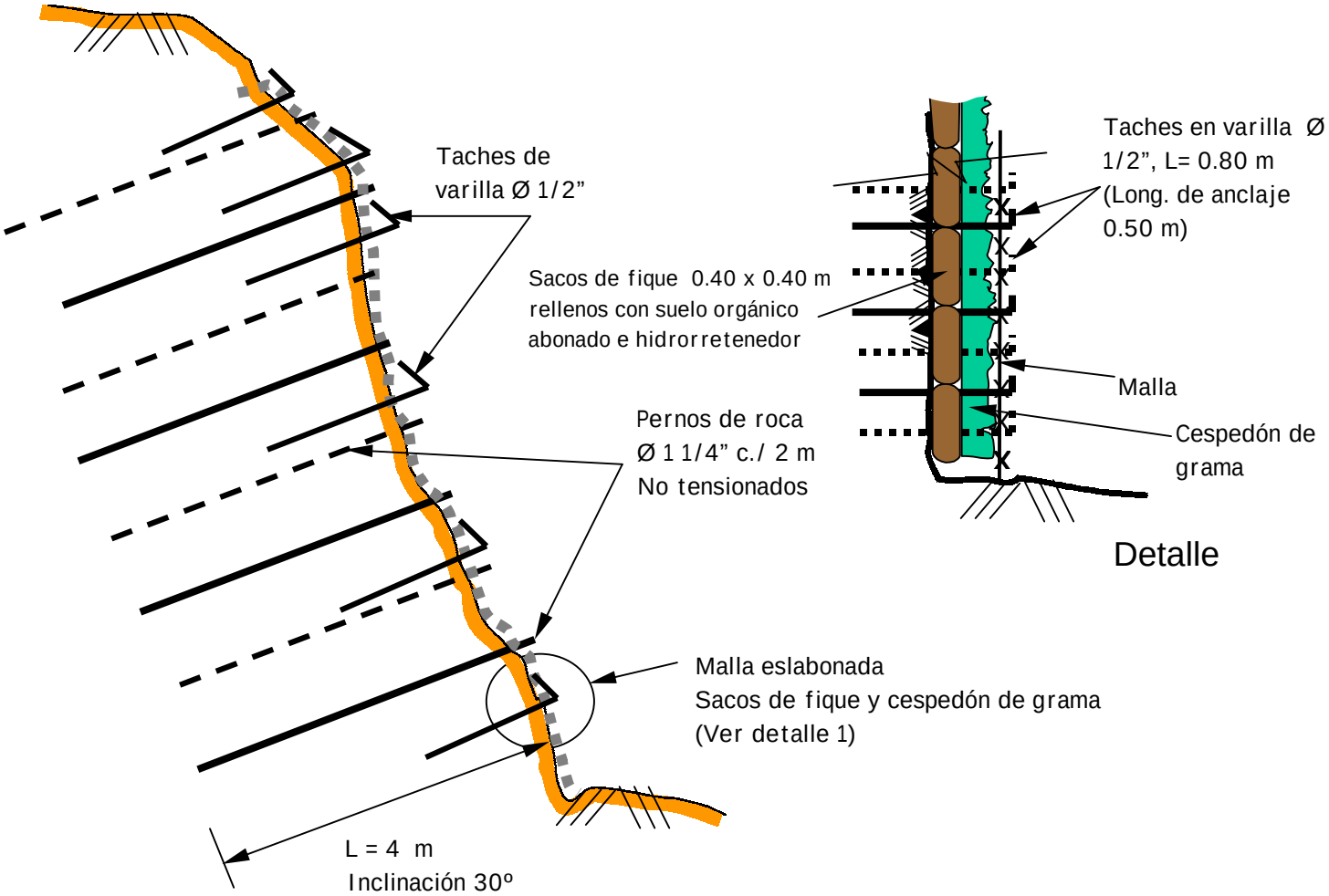
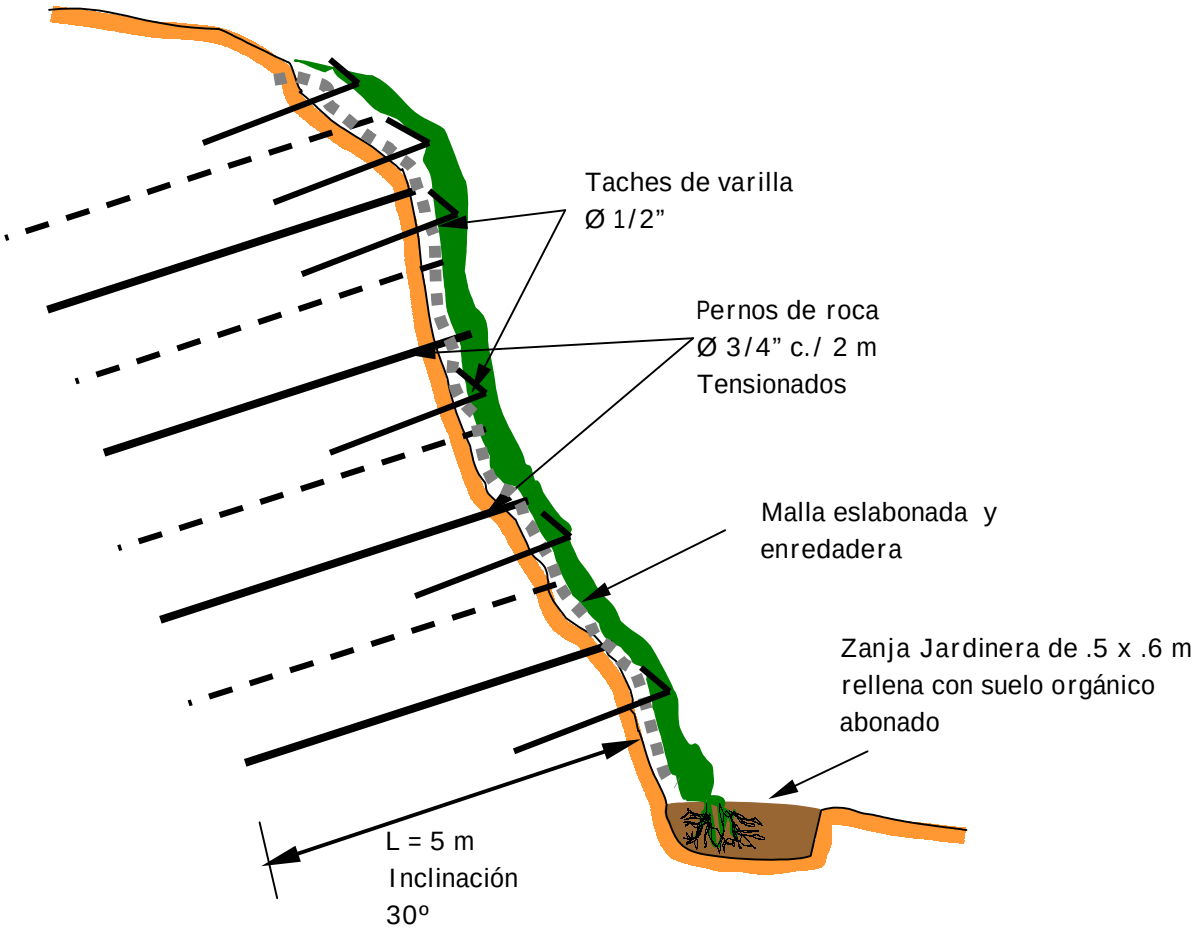


Figura 9.4 Detalle Alternativa 2



10. DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN

Generalidades

El análisis de alternativas permitió seleccionar una de ellas para llevarla a nivel de detalle con el fin de contratar luego la construcción correspondiente. De acuerdo con lo anterior, se eligió la alternativa identificada con el número 1 b como la más favorable, considerando diversos puntos de vista, Básicamente, la alternativa elegida consta de las obras que se describen a continuación.

10.1 Construcción del sendero peatonal del costado occidental

En este trabajo se involucra la recuperación de la Diagonal 32 G Sur como vía peatonal y de acceso a las viviendas de la parte alta del talud, mediante la reubicación de las viviendas identificadas con los números 11, 12 y 13. Para permitir un tránsito libre y cómodo de los peatones, se construirá un sendero peatonal en concreto, el cual estará constituido por un andén, un bordillo y una cuneta, comunicando la Carrera 14 B bis, con la Carrera 15 Bis A. Para la correcta ubicación de este sendero, se ha diseñado un trazado en el que se determina la posición del eje del mismo, y sus elementos de curvatura, distancia y coordenadas de los puntos de inflexión del eje. El sendero como elemento estructural fue concebido con el criterio de evitar infiltraciones y desbordamientos de agua de escorrentía y ala vez proporcionará un camino peatonal para los habitantes del sector

De acuerdo con el diseño la longitud del sendero será de 77.15 m, el espesor de la placa será de 0.15 m y el ancho mínimo de 1.20 m, con dilataciones de 2 cm cada 1.5 m de longitud de placa. En algunos sectores de pendientes mayores del 8 %, se construirán algunas gradas como se muestra en el perfil, con una altura de los escalones de máximo 0.20 m y de 0.40 m la longitud de la huella.

La cuneta colectora formará parte integral de la placa del andén del sendero y conservará paralelamente el mismo recorrido de éste, así como sus escalones, pendientes y dilataciones.

Algo similar sucede con el bordillo exterior, en el cual para mejorar su atraque, se ha dispuesto la instalación de taches de anclaje en varilla de acero de No. 4 (½"), de 0.60 m de longitud (0.35 m anclada), cada 0.25 m en tresbolillo a lo largo de éste. Para conformar su parte estructural y sus variaciones por cambios de temperatura se ha dispuesto incorporarle una armadura de refuerzo consistente en 5 varillas longitudinales No. 4 (½"), amarradas por flejes de varilla de acero No. 3 (3/8"), con separación cada 0.30 m.

Para estas estructuras se empleará concreto de 21 Mpa (3.000 psi) y acero de refuerzo grado AH 42 (f'y = 420 MPa; 60.000 psi).

10.2 Manejo de aguas de escorrentía

El sendero y la cuneta por su ubicación y disposición tiene las características de una zanja de coronación y tendrá como objetivo colectar todas las aguas de escorrentía provenientes de la parte occidental del talud, las cuales actualmente carecen de un manejo adecuado, causando la formación de cárcavas y caída de bloques por la concentración de chorros en diferentes puntos del talud, siendo este fenómeno el factor principal que incrementa el proceso erosivo a que está sometido el talud agravándose en temporadas de altas lluvias. La entrega de los aportes colectados por esta cuneta se hará:

- Por el extremo sur, mediante la construcción de un cárcamo colector transversal al andén existente; se ubicará en proximidades del pozo de inspección del alcantarillado construido en la esquina de la intersección de la diagonal 32 G Sur con la Carrera 14 B Bis, la totalidad de aguas colectadas en el cárcamo se manejará conectando éste con el pozo No. 2 de la red, mediante dos líneas de tubería de gres de diámetro 20.32 cm (8").

- Por el extremo Norte, los caudales colectados por el tramo de cuneta, se entregarán a la cuneta lateral que poseen las escaleras construidas en la carrera 15 Bis A.

En la parte baja del talud, el manejo de aguas de escorrentía, se hará en las zonas I y II, ubicando lo más próximo a las paramentos posteriores de las viviendas Nos. 21, 23 y 25 dos tramos de cuneta revestida en concreto, de manera tal que colecte las aguas provenientes del talud y de las áreas de los lotes No. 20, 22 y 24. Ambos tramos de la cuneta entregarán sus aportes al pozo de inspección No 1 de la red de

alcantarillado de la carrera 14 C. Para lograr este propósito, se construirán cajas de inspección en los extremos de cada tramo (andén de la vía pavimentada), conectadas al pozo No. 1 mediante ductos de tubería de gres de diámetro 20.32 cm (8").

10.3 Obras de estabilización y protección del talud

Estas comprenden dos trabajos: el primero consiste en la instalación de una red de pernos de roca, no tensionados, en varilla de acero corrugada No. 10 (1 ¼"), grado AH 42, cuya longitud de anclaje es de 4 m, inclinación de –30° con respecto a la horizontal y con separación de 2 m en tresbolillo, provistos de platinas de acero de 15 x15 cm y 95 mm de espesor, tuercas de trabajo pesado y cabezales en concreto para apoyo de la platina.

El segundo trabajo corresponde a la realización de las obras de protección de la superficie expuesta del talud del talud, mediante la colocación de malla eslabonada, confeccionada en alambre galvanizado revestido en PVC, calibre 12, anclada al talud mediante taches de varilla de acero No. 4 (½"), colocados cada 0.50 m en tresbolillo en ambos sentidos y con longitudes de anclaje de 0.50 m en roca y de 0.80 m en suelo, los cuales donde el terreno lo permita serán hincados a golpes de martillo o de lo contrario será necesario perforar y utilizar mortero para su anclaje. Como refuerzo del anclaje propuesto para la malla se utilizarán los pernos de roca, pues las platinas deben pisar y presionar la malla según se muestra en los detalle 2 y 3 del plano No. 9, plancha 2/2.

Como complemento a este tratamiento de protección, el diseño contempla la vegetalización de los diferentes sectores de la superficie del talud. Con tal propósito, el tratamiento adoptado consiste en la colocación de una capa de suelo y sobre esta cespedones de grama en las áreas desprovistas de vegetación. Para lograr este objetivo se contempla la instalación de sacos o pequeños costales confeccionados en fique o tejido Ecomatrix de Pavco o similar, los cuales se rellenarán con suelo orgánico, previamente provisto de compuestos nutrientes e hidroretenedores. Sobre estos y de forma tal que se logre posterior adherencia, se colocarán los cespedones de grama, conformando de esta manera una capa vegetal protectora de la superficies del talud que presenta la roca expuesta. Este trabajo esta relacionado con el anterior, toda vez que estos elementos deben quedar perfectamente confinados por la malla eslabonada contra la superficie del talud, de tal manera que el elemento de soporte de la grama y el suelo será la malla

eslabonada y sus anclajes. Esto conduce a tener que realizar el procedimiento de colocación, tanto de la malla y sus anclajes como de la grama, iniciando en la parte baja del talud y dirigiendo su instalación hacia la parte alta. También, es necesario tener en cuenta que el avance de la instalación de la red de pernos se lleve con suficiente antelación a este trabajo, puesto que son actividades consecuentes.

10.4 Excavaciones

Estas están contempladas para la realización de las siguientes actividades:

- Conformación de la caja para la construcción del sendero peatonal (andén, cuneta y muro bordillo)
- Conformación de la caja para construcción del cárcamo colector
- Zanja colectora inferior
- Cajas de inspección .60 x.60 m
- Zanjas para instalación de ductos conectores a pozo de inspección

Para la estimación de los volúmenes de excavación no se ha tenido en cuenta la clasificación del material en la cual se desarrollará la actividad de excavación, por ende se han agrupado como un todo las demoliciones de placas de andenes y pavimentos, los cortes en suelo, conglomerado y posiblemente algunos pequeños volúmenes en roca. Para estimar su precio se ha tenido en cuenta el empleo de equipo de demolición, acarreo en obra y transporte a los botaderos.

10.5 Rellenos

No se han considerado estos como actividad para pago, dado los bajos volúmenes que se emplearán en las obras, los cuales se ha considerado realizarlos con los materiales excavados y el costo de su realización está contemplado dentro del valor del ítem de cada actividad que lo requiera, las cuales son:

- Atraque cárcamo colector
- Atraque cajas de inspección 0.60 x0.60 m
- Relleno zanjas para tuberías de gres
- Eventualmente en algunos lugares del sendero peatonal que los requiera

En obra se deben elegir lo materiales cuya calidad sea aceptable para llevar a cabo los rellenos mencionados y almacenarlos según su conveniencia.

10.6 Cantidades de obra y presupuesto

Las cantidades de obra se estimaron conforme a cada actividad principal del proyecto y dependiendo de los diseños estimados para cada una de ellas y relacionadas directamente con los ítems de obra compendiados dentro de las especificaciones técnicas, bajo las cuales se considera la medida y pago de cada uno de ellos.

El presupuesto de obra se elaboró considerando las cantidades de obra mencionadas y de acuerdo con la investigación de precios comerciales de materiales en el mercado, evaluación de rendimientos y costo de mano de obra y alquiler de equipo, incluyendo el capítulo correspondiente al AIU del contratista. Para la evaluación de los costos de reubicación de las viviendas consideradas se tomaron los precios incluidos en el cuadro 7.7.

En el caso de las viviendas 11, 12 y 13 la estimación de los costos de reubicación se orientó a la consideración de que estas están dentro de un terreno invadido por los moradores.

Las cantidades de obra y presupuesto se presentan en el cuadro 10.1

Cuadro 10.1 Cuadro de Cantidades de Obra y Presupuesto.

CUADRO DE CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO					
ITEM No.	**DESCRIPCIÓN**	**UNIDAD**	**CANT.**	**VR. UNITARIO**	**VR. TOTAL**
1	Localización y Replanteo	SG	1,00	1.500.000,00	1.500.000,00
2	Excavaciones Misceláneas	M3	46,90	34.500,00	1.618.050,00
3	Pernos de Roca Ø 1 1/4"	ML	800,00	112.125,00	89.700.000,00
4	Malla Eslabonada	M2	1282,00	22.300,00	28.588.600,00
5	Protección con suelo - grama	M2	921,00	22.750,00	20.952.750,00
6	Concreto f'c = 21 Mpa	M3	35,12	511.875,00	17.977.050,00
7	Acero de Refuerzo grado AH 42	KG	926,00	1.945,00	1.801.070,00
8	Rejilla Metálica para Cárcamo	KG	35,00	9.600,00	336.000,00
9 a	Cajas de Inspección .60x.6m	UN	2,00	369.500,00	739.000,00
9 b	Cárcamo Colector L= 2.60 m	UN	1,00	696.819,00	696.819,00
				TOTAL PRESUPUESTO OBRA $	**163.909.339,00**

ADICIONALES					
ITEM No.	**DESCRIPCIÓN**	**UNIDAD**	**CANT.**	**VR. UNITARIO**	**VR. TOTAL**
A	Reubicación casa No. 24	SG	1,00	10.000.000,00	10.000.000,00
B	Reubicación casas No. 11, 12, 13	SG	1,00	11.000.000,00	11.000.000,00
C	Reubicación casa No. 22	SG	1,00	29.640.000,00	29.640.000,00
D	Arriendos temporales	SG	1,00	10.000.000,00	10.000.000,00
				TOTAL ADICIONALES $	**60.640.000,00**

TOTAL COSTO OBRA $	**224.549.339,00**

10.7 Proceso constructivo

Con el fin de adelantar las obras de estabilización y protección del talud, el Contratista debe maximizar el empleo de mano de obra local y minimizar la utilización de maquinaria.

Los materiales provenientes de las excavaciones necesarias en las obras no compensan el volumen que habrá que hacerse de relleno, de tal forma que será necesario evacuar los sobrantes hacia una escombrera autorizada.

Los materiales concebidos para la realización de las obras son de fácil consecución en el mercado, de tal forma que no deberán existir tropiezos o demoras para su puesta en obra.

Desde un punto de vista aún mas generalizado de los trabajos a efectuarse en desarrollo del proyecto, tenemos que este se podría componer de dos actividades principales, como son: obras de protección y adecuación y obras de estabilización.

Las obras de protección y adecuación comprenden las actividades de construcción del sendero peatonal incluyendo el drenaje superior y el drenaje inferior,

Las obras de estabilización se incluyen las actividades de instalación de la red de pernos, malla eslabonada y suelo-grama.

Es de tener en cuenta que tanto las obras de protección y adecuación como las denominadas de estabilización forman parte integral del objetivo principal del proyecto, de tal forma que la realización de cada una de estas es de vital importancia para que el resultado de los trabajos sea óptimo. Bajo esta consigna consideramos que todas las actividades programadas dentro de la obra deberán llevarse a cabo con la misma prioridad.

Para el sendero peatonal se diseñó un trazado lo más próximo al borde superior del talud, con el propósito de que la cuneta incluida en éste, pueda recoger la mayor cantidad de aguas de escorrentía provenientes de la parte alta y de las plataformas formadas entre las cotas 2683 y 2687, a lo largo del sendero. Dado el grado de precisión de la topografía empleada para el trazado y de acuerdo con la calidad del terreno encontrado en la excavación es posible que sea necesario realizar algunos

ajustes a este, los cuales podrán ser efectuados en obra previa aprobación de la Interventoría, conservando las pendientes longitudinales y transversales mostradas en los planos y adoptadas en el diseño. Como se presenta en los planos de construcción, el sendero está conformado por una estructura en concreto con f'c 21 Mpa, compuesta por una placa de andén, una cuneta colectora y un muro bordillo o sardinel, los cuales deberán construirse en forma integral y con un avance paralelo. Este trabajo requerirá de excavación para la conformación de una pequeña caja transversal para que aloje la estructura de manera que el punto más alto de la placa de andén (en sentido transversal aguas arriba) quede debajo de la superficie del terreno natural, evitando la generación de cauces antes de la placa y que no puedan ser colectados por la cuneta, atentando contra la estabilidad del andén.

En los trabajos de excavación es importante que el Contratista tome las medidas necesarias para evitar que rueden materiales a las viviendas próximas y al personal que labore en el talud. Así mismo, es recomendable que se evite el tránsito o permanencia de personas ajenas en el lugar de los trabajos.

Es de vital importancia que los rellenos asfálticos de las dilataciones programadas se hagan eficientemente para evitar que se generen fugas de agua por estas, lo cual causaría concentración de chorros, afectando el talud y desmeritando el trabajo de la cuneta como zanja de coronación.

La cuneta de drenaje inferior, aunque se podría construir paralelamente con el sendero, se programa como actividad consecuente con el sendero peatonal para emplear los mismos recursos de este.

Caso contrario sucedería con el cárcamo colector cuya conveniencia de realizarlo antes o paralelamente con el inicio del sendero peatonal es latente pues entraría a trabajar a medida que la cuneta empezara a entregar sus aportes. Esta última en su remate en el extremo sur del sendero, requerirá de una pequeña transición al final del tramo (K0+000) para entregar el caudal colectado a la placa de concreto existente en ese extremo del talud y que esta placa conduzca en su totalidad las aguas colectadas hacia el cárcamo transversal.

Para el caso de los pernos de roca, el Contratista deberá prepararlos con suficiente antelación a su instalación pensando en que a estos es necesario manufacturarles los extremos roscados y si bien se van a anclar con cápsulas de resina epóxica, es necesario aguzar el otro extremo. También se debe tener en cuenta que la longitud

de anclaje para los pernos, exigida por los cálculos, es de 4 m, por tanto es de especial cuidado que estos se confeccionen con una longitud mayor atendiendo la especificación de la longitud de rosca y la holgura para el espacio correspondiente a la altura del cabezal. Las instalación de las platinas y las tuercas deberá hacerse después de la colocación de la malla eslabonada y la protección con suelo-grama, de tal forma que estas ayuden al anclaje y soporte de la malla.

Para la instalación de la malla, aún en los sectores que no lleven pernos de roca, ésta incluye como actividad inicial un desabombe del talud previo a la instalación de los elementos conformantes de este trabajo y debe instalarse de abajo hacia arriba, puesto que la malla será el elemento que confine y sostenga la capa de protección del talud constituida por los sacos rellenos de suelo orgánico y cespedones de grama. Esta última requerirá de un riego continuo hasta que la grama muestre su arraigamiento al suelo contenido en los sacos de fique o geotextil Ecomatrix o similar. Esta actividad se podrá llevar a cabo paralelamente con el avance de los pernos, con un desfase tal que no se causen tropiezos entre una y otra, pudiéndose conseguir este con un inicio paralelo, de ambas actividades pero iniciando la colocación de la malla en los sectores I y III-a-1, los cuales no requieren de pernos.

Otro aspecto importante para el desarrollo y consecución de buenos rendimientos en las operaciones a realizarse en las actividades de estabilización y protección, radica en la adopción de andamios adecuados para los trabajos en altura, de manera que estos proporcionen la mayor facilidad de sus desplazamientos, su montaje y desmontaje, movilización y soporte adecuado para los equipos de perforación e instalación, desabombe del talud movilización de materiales y personal requerido tanto en la instalación de pernos como en la instalación de la malla y la capa de suelo-grama.

10.8 Cronograma de obra

Para la elaboración del cronograma de obra se tuvieron en cuenta: los apartes del proceso constructivo incluidos en el numeral anterior, el estimativo de los rendimientos que se deben conseguir en cada una de las actividades y las secuencias de una actividad con respecto a las otras. Este cronograma arroja un tiempo total para ejecución de las obras de 14 semanas (3.5 meses), tiempo que debe ser el mismo del contrato de construcción y se debe tener en cuenta en el proceso licitatorio del proyecto.

A la actividad de colocación de malla y suelo-grama se le ha considerado un tiempo algo mayor para que en ésta haya más tiempo de riego de la grama de forma tal que se asegure la reactivación de ésta en su nuevo habitat.

El cronograma de actividades se muestra en el cuadro 10.2

Cuadro 10.2 Cronograma de actividades

ACTIVIDAD		DURACION (Semanas)													
No.	Descripción	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Preliminares														
2	Localización y Replanteo														
3	Construcción Sendero Peatonal (incluye: Excavación, construcción de andén, cuneta y bordillo en concreto)														
4	Construcción Cárcamo Colector (incluye: demolición placa de andén existente, excavación, construcción placa de base, muros y pañete interior, relleno, instalacón tubería de gres, instalación rejilla y reposición placa andén)														
5	Instalación de pernos (incluye: perforación, instalación varilla, anclaje, construcción de cabezales, colocación platina y tuerca, ensayos)														
6	Instalación de malla eslabonada y protección del talud con grama (incluye: desabombe del talud, instalación de malla, colocaciòn de taches de anclaje, amarre con la red de pernos, colocación del suelo orgánico en sacos e instalación de cespedones en grama y riego.														
7	Construcción de cuneta de drenaje inferior en concreto (incluye: Excavación, fundida concreto, construcción de cajas de inspección, demolición placa pavimento y andén, excavación, instalación tubería de gres, relleno sobre tubería, reposición concreto de placa y andén)														

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Realizados los estudios y hechos los análisis correspondientes, sobre la zona inestable del Barrio El Triunfo Sur, es posible concluir y recomendar lo siguiente:

- La zona inestable corresponde a un escarpe en roca dejado por la explotación de una cantera, la cual suspendió sus actividades y dio paso a la expansión urbana desordenada. Tanto en la pata como en la cresta de la antigua cantera se instalaron pobladores, algunos en casas de ladrillo y otros en tugurios de lata y cartón.
- Teniendo en cuenta la altura variable del escarpe y la calidad del material aflorante, el área si dividió en 3 zonas: Una primera zona, ubicada al sur, de baja altura; una segunda influenciada por una falla y una tercera de roca más sana pero de máximas alturas. Aunque la estratificación de las rocas, compuestas por areniscas, es favorable, existen unos sistemas de discontinuidades desfavorables que conforman bloques potencialmente inestables.
- Los cálculos de estabilidad efectuados indican factores de seguridad bajos de los bloques, sobretodo en caso de sismo, cuando las probabilidades de falla se acrecientan.
- Existen procedimientos de estabilización, los cuales a costos razonables disminuyen satisfactoriamente el riesgo. Uno de estos, y que se diseñó para su construcción, consiste en anclar el escarpe mediante el empleo de pernos de roca, instalando a la vez una malla metálica y un recubrimiento para vegetalizar la superficie expuesta a las agentes atmosféricos.
- Con el fin de asegurar la efectividad de las medidas de contención, también se diseñaron medidas de prevención para manejar las aguas de escorrentía, evitando así su desbordamiento con los efectos erosivos que esto conlleva.
- Puesto que hay algunas viviendas que continúan en riesgo aún después de aplicar las obras; o ejercen efecto negativo sobre la estabilidad, por las aguas de desecho que producen u obstaculizan la operación de los drenajes, es necesario reubicar 5 viviendas.

BIBLIOGRAFÍA

AIS, ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA (1998) *NSR-98. Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistentes,* Santafé de Bogotá.

ASIG, Asociación Internacional de Ingeniería Geológica*, Engineering Geological Maps, A guide to Their Preparation*. Paris. UNESCO press, 1976, 128p.

DAMA. *Modelo Hidrogeológico para los acuíferos de Bogotá*, elaborado para DAMA por Hidrogeocol Ltda., 1999.

EKKEL, E. B. (1960). *Lucha contra los deslizamientos en carreteras*, Moscu, Ed. Transporte y Carreteras, 183 pág.

FOPAE-DPAE-INGEMETRICA LTDA. (2000). *Estudios De Zonificación de Riesgos y Diseños Detallados de Medidas de Mitigación para el Barrio Caracolí - Localidad Ciudad Bolívar*, Contrato No. CCS-616/99, Bogotá, D.C, Julio 2000.

FOPAE-UPES-INGEMETRICA LTDA. (1999). *Zonificación de Amenazas y Riesgos por Remoción en Masa, Evaluación de alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras recomendadas para estabilizar el antiguo escarpe de excavación frente al barrio Soratama*, Localidad de Usaquén. Santafé de Bogotá, D.C. Abril de 1999.

GONZALEZ A. *Metodología para análisis de vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa en Santafe de Bogotá*. Manuscrito.

LOMTADZE, V. D*. (1977) Ingeniería Geológica (Geodinámica Ingenieríl).* Leningrado Nedra, 479 pág.

PADUCOV H. (1981) *Pronostico de estabilidad de los taludes de canteras.* Instituto de Minas de Leningrado, 50 pág.

PAVA S. Javier., GARCÍA G. Pilar, y otros. *Términos de Referencia para estudios de Riesgos por Inestabilidad del Terreno*. Memorias del Seminario de Riesgos por Fenómenos de Remoción en Masa, Agosto 31 de 2000, DPAE, Bogotá.

RICO Y CASTILLO, (1996) *Ingeniería de Suelos en Vías Terrestres, Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas*, Vol.2, pág. 280

TCHEMODANOVA Valentina, 1998, *Metodología De Zonificación Geotécnica Regional.* Memorias del VII Congreso Colombiano de Geotecnia - Sociedad Colombiana de Geotecnia"

TCHEMODANOVA Valentina. 2000. *Evaluación de Susceptibilidad y Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa, Barrio Soratama, Localidad de Usaquén*, Memorias del Seminario de Riesgos por Fenómenos de Remoción en Masa, Agosto 31 de 2000, DPAE, Bogotá.

UPES, Hidrogeología y Geotecnia Ambiental. *BARRIO CAROLINA - MIRADOR DE MARROCOS.* Informe Final, presentado a UPES, 1999

UPES, Ingeniería y Desarrollo Ambiental- INDESA LTDA. (1999). *Identificación Y Evaluación de Riesgos por Fenómenos de Remoción en Masa y Diseños Detallados para estabilizar el Antiguo Escarpe de Explotación – Barrio Luís López de Mesa, Santafé de Bogotá*. Informe Final, presentado a UPES.

UPES, INGEOCIM LTDA. *Zonificación por inestabilidad del terreno para diferentes localidades en la ciudad de Santafé de Bogotá D.C.,* Bogotá, Octubre de 1998.

UPES, INGEOMINAS, UNIANDES, *Microzonificación sísmica de Santafé de Bogotá*. Convenio Interadministrativo 01-93. INGEOMINAS, Bogotá, Agosto de 1997.

ANEXO 1
INFORMACION SECUNDARIA

TABLA No. 3.1

ESTUDIO GEOTÉCNICO - BARRIO LUIS LÓPEZ DE MESA

ENSAYOS DE CARGA PUNTUAL

MUESTRA	γ (T/m3)	P (Kg-f)	D1 (cm)	W1 (cm)	W2 (cm)	De (cm)	Is (Kg/cm2)	F	Is50 (Kg/cm2)	Is50 (Kg/cm2)	σc (Kg/cm2)	DESCRIPCION
M1-E2		740	4.9	8.6	6.8	6.5	17.44	1.13	19.65			**R1** Arenitas friables con feldespato, cuarzo e interc.
M1-E3	2.062	210	7.0	8.6	7.0	7.9	3.37	1.23	4.13			de caolín; granos de tamaño medio a fino, suban-
M1-E5		200	3.4	5.6	4.2	4.3	11.00	0.93	10.24			gulares, de color blanco y rojizo por alteración;
M1-E6		180	5.2	8.9	6.7	6.7	4.06	1.14	4.62	9.66	232	masiva, matriz arcillosa. Con micas. Caolín y arena
M2-E1		410	4.7	6.0	5.6	5.8	12.23	1.07	13.07			**R1** Cuarzo arenitas con arcilla, tamaño fino;
M2-E2	2.048	90	3.5	6.7	5.3	4.9	3.81	0.99	3.76			masiva, no se observa estratificación.
M2-E4		400	5.2	6.8	5.4	6.0	11.19	1.08	12.13			Presenta venas de oxidación, color amarillo
M2-E6		410	4.9	9.7	6.6	6.4	9.96	1.12	11.14	10.02	241	y rojizo por óxidos. Presencia de caolín
M3-E1		40	4.4	7.2	5.4	5.5	1.32	1.04	1.38			**R1** Cuarzo arenita, tamaño fino, grano subangular
M3-E3		65	4.8	7.5	6.4	6.3	1.66	1.11	1.84			con feldespatos, estratificación plano paralela
M3-E4	2.118	62	4.0	7.2	7.2	6.1	1.69	1.09	1.84			(horizontal). Porosa. Friable. Color blanco
M3-E5		75	4.9	7.2	5.6	5.9	2.15	1.08	2.31			(rojo y amarillo por oxidación).
M3-E7		70	3.7	7.5	6.3	5.4	2.36	1.04	2.45			
M3-E8		80	4.1	6.5	5.7	5.5	2.69	1.04	2.80	2.10	50	
M4-E2		79	4.5	8.0	6.8	6.2	2.03	1.10	2.24			**R1** Arcilla caolinítica blanca. Masiva.
M4-E4	2.06	56	3.7	7.5	6.5	5.5	1.83	1.05	1.91			
M4-E5		37	3.0	7.6	5.4	4.5	1.79	0.96	1.72	1.96	47	
M5-E1		42	3.0	6.3	3.8	3.8	2.89	0.88	2.56			**R1** Secuencia grano creciente, desde una lodolita
M5-E3		105	4.3	6.0	4.8	5.1	4.00	1.01	4.04			con caolín, hasta una arenisca de tamaño fino.
M5-E4		85	4.2	6.9	5.6	5.5	2.84	1.04	2.96			Las características de la arena son similares
M5-E6		35	4.2	6.2	5.7	5.5	1.15	1.05	1.20			a las anteriores. Estratificación plano
M5-E7		180	5.0	6.1	5.6	6.0	5.05	1.08	5.47			paralela - horizontal.
M5-E8		370	5.8	9.7	7.5	7.4	6.68	1.20	7.99			
M5-E9		310	5.6	7.2	7.0	7.1	6.21	1.17	7.26	4.50	108	
M6-E1		55	4.0	5.7	5.0	5.0	2.16	1.00	2.17			**R3** Cuarzonarenita con presencia de cuarzo,
M6-E3		97	4.7	7.2	6.5	6.2	2.49	1.10	2.75			feldespatos, mica y caolín friable.
M6-E4		85	5.4	7.1	6.6	6.7	1.87	1.14	2.14			Tamaño de grano fino a muy fino. Muestra
M6-E5	2.217	70	5.3	7.2	6.8	6.8	1.53	1.15	1.75			coloración en bandas curvas y colores
M6-E6		108	5.2	7.6	6.5	6.6	2.51	1.13	2.84			amarillos y rojos por oxidación. Dura.
M6-E8		85	4.0	5.3	4.8	4.9	3.48	0.99	3.46			
M6-E9		69	4.5	6.2	5.8	5.8	2.08	1.07	2.21	2.47	59	
M8-E1		22	4.5	5.8	5.2	5.5	0.74	1.04	0.77			**R3** Litoarenita o litocuarzoarenita tamaño fino,
M8-E2		40	4.6	7.5	5.3	5.6	1.29	1.05	1.35			friable. Dura. Limpia. Tamaño de grano
M8-E3	2.061	20	3.5	5.2	4.5	4.5	1.00	0.95	0.95			subangular. No se observa estratificación.
M8-E4		25	3.7	5.1	4.5	4.6	1.18	0.96	1.14			Color amarillo.
M8-E7		54	6.2	8.6	7.6	7.7	0.90	1.22	1.10	1.06	25	

R1 Región estructural 1

R3 Región estructural 3

TABLA No. 3.2

RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

BARRIO CAROLINA - MIRADOR DE MARROCOS (Tomado de Hidrogeología y Geotecnia Ambiental, 1999)

ENSAYOS	Peso Unitario (T/m3)	Peso Específico Gs	Desleimiento durabilidad Id200(%)	Corte directo			Carga Puntual Is50 (Kg/cm2)	Carga Puntual s_{χ} (Kg/cm2)	Humedad natural (%)	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Clasificación USCS	Bloque deslizante	
MUESTRAS				C (T/m2)	ϕ´ pico	ϕ´ residual							ϕpico	ϕbásico
1	1.831		0.72				0.77	19						
2	1.830													
3	1.982						1.87	45						
4	2.084		2.267				1.54	37		49.4	20.3	CL		
5	1.960								3.3	48.5	20.9	CL		
6	2.281	2.59					21.78	523						
7	1.880													
8				1.0	22	18								
9			2.0 - 2.8	18 - 22										
10				1.7	19		1.29	31						
11													41.3	34.3
12													37.2	30.2

TABLA No. 3.4

RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO - BARRIO LUIS LÓPEZ DE MESA

MUESTRAS	Peso Unitario (T/m3)	Peso Específico Gs	Desleimiento y durabilidad Id200 (%)	Corte directo		Carga Puntual Is50 (Kg/cm2)	Carga Puntual sχ (Kg/cm2)	Compresión inconfinada sχ (Kg/cm2)	Límite líquido	Límite plástico	Clasificación USCS	Expansión (Kg/cm2)
				c (T/m2)	Φpico							
1	2.062	2.143				9.66	231.83					
2	2.048					10.02	240.58					
3	2.118					2.10	50.49	18.46				
4	2.060		0.4			1.96	46.98		32.2	20.3	CL	1.385
5				3	22	4.50	107.91					
6	2.217					2.47	59.39					
7		2.144										
8	2.061					1.06	25.45					