CONTENIDO

1. GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

1.2. RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN DISPONIBLE

1.3. ORGANIZACIÓN DEL INFORME

2. ANTECEDENTES

2.1. INTRODUCCIÓN

2.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA
- 2.2.1. Levantamiento del costado Sur del barrio San Rafael
- 2.2.2. Análisis de estabilidad realizado por INGEOMINAS
- 2.2.3. Análisis de deformabilidad realizado por INGEOMINAS

3. TOPOGRAFÍA

3.1. OBJETIVOS

3.2. METODOLOGÍA

4. ESTUDIO GEOLÓGICO

4.1. INTRODUCCIÓN

4.2. METODOLOGÍA

4.3. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

4.4. GEOLOGÍA LOCAL
- 4.4.1. Estratigrafía
- 4.4.2. Geología Estructural

4.5. GEOMORFOLOGÍA

5. GEOELÉCTRICA

5.1. GENERALIDADES
5.1.1. Configuración de electrodos
5.1.2. Cálculos de las resistividades del subsuelo

5.2. SONDEOS GEOELECTRICOS SCHLUMBERGER
5.2.1. Sondeos geoeléctricos característicos

5.3. SONDEOS GEOELECTRICOS WENNER

5.4. PERFILES GEOELÉCTRICOS
5.4.1. Cortes geoeléctricos
5.4.2. Calicatas Eléctricas

5.5. CONCLUSIONES

6. EVALUACIÓN DEL RIESGO ACTUAL

6.1. DEFINICIÓN DE SECCIONES DE ANÁLISIS

6.2. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO GEOTÉCNICO

6.3. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA ACTUAL
6.3.1. Análisis por caída de bloques en condición actual
6.3.2. Cálculo de la amenaza actual

6.4. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ACTUAL
6.4.1. Inventario de viviendas
6.4.2. Modelo de evaluación de vulnerabilidad

6.5. EVALUACIÓN DEL RIESGO ACTUAL
6.5.1. Metodología
6.5.2. Categorización del riesgo

7. ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN

7.1. ALTERNATIVA 1: REUBICACIÓN DE PREDIOS

7.2. ALTERNATIVA 2: REMOCIÓN DE LOS BLOQUES QUE INDUCEN EL RIESGO

7.3. ALTERNATIVA 3: ZANJAS PERIMETRALES CON O SIN TERRAPLÉN

7.4. BARRERA DE PROTECCIÓN

7.5. MURO DE GAVIÓN

8. EVALUACIÓN DEL RIESGO CON MEDIDAS DE PROTECCIÓN

8.1. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA CON MEDIDAS DE PROTECCIÓN
8.1.1. ALTERNATIVA DE ZANJA CON O SIN TERRAPLÉN
8.1.2. ALTERNATIVAS BARRERA DE PROTECCIÓN Y GAVIÓN

8.2. EVALUACIÓN DEL RIESGO CON MEDIDAS DE PROTECCIÓN

8.3. RIESGO ECONÓMICO
8.3.1. Condición actual
8.3.2. Condición con zanja y terraplén
8.3.3. Condición con barrera parapeñascos y gavión

9. SELECCIÓN Y DISEÑO DE LA ALTERNATIVA RECOMENDADA

9.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE RIESGO

9.2. DISEÑO DE LA MEDIDA DE PROTECCIÓN SELECCIONADA

10. CONCLUSIONES

ANEXOS

Anexo 1. Cartera de campo de topografía, poligonales y secciones
Anexo 2. Resultados gráficos del análisis de caída de bloques
Anexo 3. Inventario de viviendas
Anexo 4. Especificaciones técnicas de construcción
Anexo 5. Análisis de precios unitarios

LISTADO DE PLANOS

Plano N° GE098-PL-01. Levantamiento topográfico
Plano N° GE098-PL-02. Geología Regional
Plano N° GE098-PL-03. Geología Local
Plano N° GE098-PL-04. Perfiles geotécnicos
Plano N° GE098-PL-05. Secciones de análisis. Condición actual
Plano N° GE098-PL-06. Amenaza actual por caída de bloques
Plano N° GE098-PL-07. Vulnerabilidad
Plano N° GE098-PL-08. Riesgo actual por caída de bloques
Plano N° GE098-PL-09. Alternativa de mitigación 1: Límite de seguridad para reubicación de viviendas
Plano N° GE098-PL-10. Alternativa de mitigación 3: Zanja B = 2.00 m – Taludes 1:1
Plano N° GE098-PL-11. Alternativa de mitigación 3: Zanja B = 2.00 m – Taludes 1:1 y Terraplén B = 3.00 m – Taludes 1.5H:1.0V
Plano N° GE098-PL-12. Alternativa de mitigación 3: Zanja B = 3.00 m – Taludes 1:1
Plano N° GE098-PL-13. Alternativa de mitigación 3: Zanja B = 3.00 m – Taludes 1:1 y Terraplén B = 3.00 m – Taludes 1.5H:1.0V
Plano N° GE098-PL-14. Alternativa de mitigación 3: Perfil longitudinal
Plano N° GE098-PL-15. Alternativa de mitigación 4: Barrera parapeñascos – H = 2.00 m
Plano N° GE098-PL-16. Alternativa de mitigación 5: Muro en gavión – B = 2.00 m – H = 3.00 m
Plano N° GE098-PL-17. Riesgo con Alternativa 3: Zanja B = 3.00 m – Taludes 1:1 y Terraplén B = 3.00 m – Taludes 1.5H:1.0V
Plano N° GE098-PL-18. Diseño Obra Recomendada Zanja B = 3.00 m – Taludes 1:1 y Terraplén B = 3.00 m – Taludes 1.5H:1.0V

1. GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

En desarrollo del Contrato de Consultoría No. 255/03 suscrito entre el FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS (FOPAE) y la UNIÓN TEMPORAL KANYU, cuyo objeto es realizar el "Estudio de riesgos por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras de protección y control en el barrio San Rafael, de la localidad de Ciudad Bolívar, en la ciudad de Bogotá D.C.", se presenta este informe el cual contiene el resumen de los trabajos realizados y las conclusiones y recomendaciones del caso.

La zona de estudio está localizada al suroriente de la ciudad de de Bogotá D.C. (véase **Figura 1.1**) y tiene una extensión de unas 4 ha.

Con el fin de cumplir con el objeto del Contrato se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Trabajo de campo
- Para dar un diagnóstico y presentar las posibles soluciones a los problemas generados por amenazas de origen natural (fenómenos de remoción en masa), se realizaron los estudios técnicos necesarios (Geología, geomorfología, hidrología, hidráulica e investigación del subsuelo). Se señala que este estudio no tiene en cuenta un análisis de la sismicidad de la zona; para tener en cuenta este aspecto, se utiliza el estudio de microzonificación sísmica de Santafé de Bogotá (INGEOMINAS, 1997).
- Análisis de vulnerabilidad de las viviendas ante los fenómenos de remoción en masa en la zona
- Análisis de Riesgo de las viviendas por fenómenos de remoción en masa
- Análisis Beneficio/Costo de las posibles obras para la prevención y mitigación de riesgos por fenómenos de remoción en masa en la zona de estudio
- Diseño de las obras seleccionadas

1.2. RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN DISPONIBLE

Para adelantar los estudios en esta zona se analizó la siguiente información:

- Estudio de Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá. INGEOMINAS, 1997
- Estudio para la zonificación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa de las localidades de Ciudad Bolívar, San Cristóbal, Rafael Uribe Uribe, Santafé, Chapinero, Usaquén y Suba. Ingeocim Ltda. – UPES. Octubre de 1998

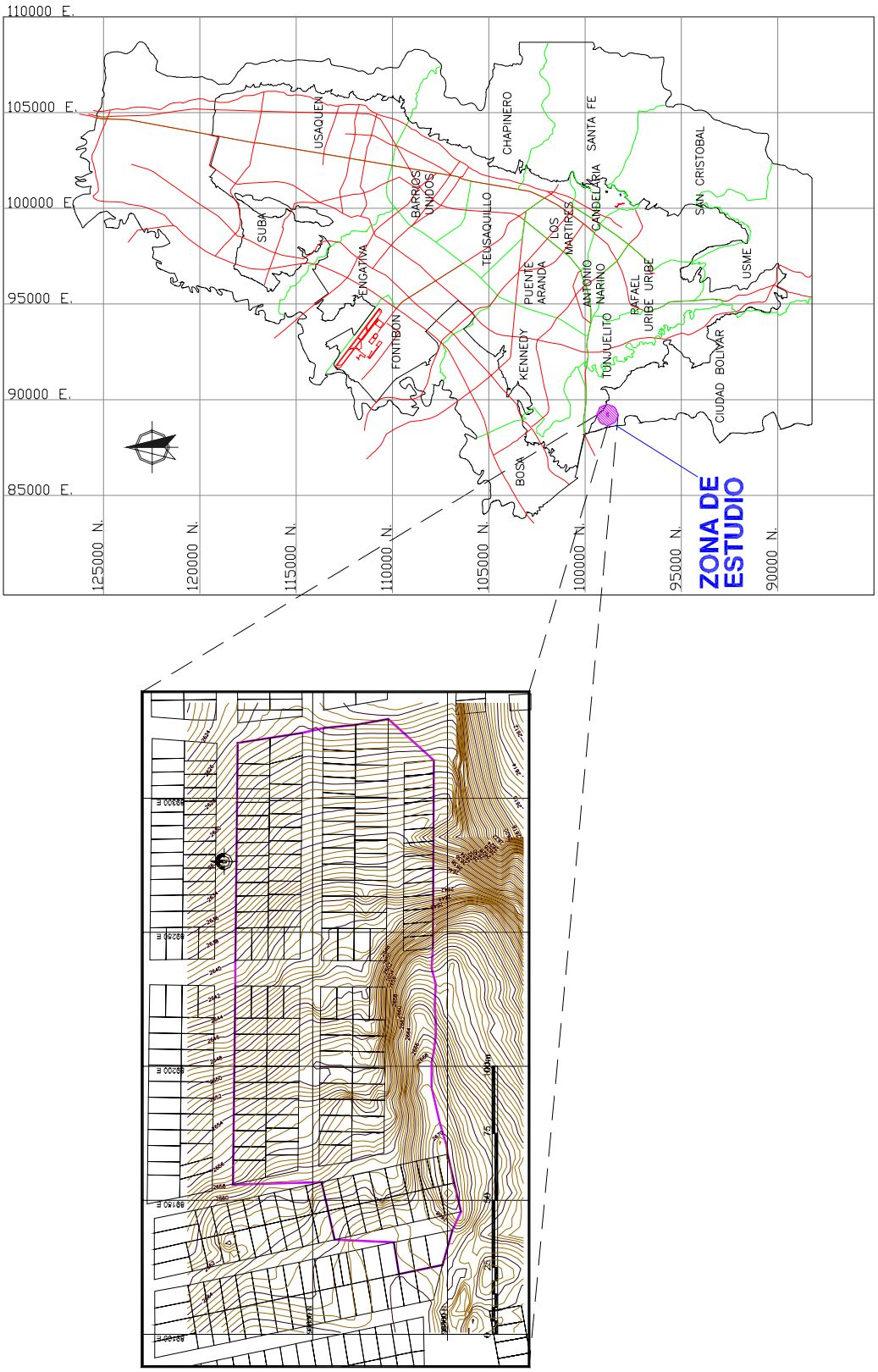


Figura 1.1 Localización general del área de estudio

- Zonificación geotécnica del barrio San Rafael, Localidad de Ciudad Bolívar. Nativa Ltda. – FOPAE (1998)

- Estudios geotécnicos, evaluación de alternativas de medidas de mitigación y diseño de obras recomendadas para estabilizar la zona de estudio. Consorcio Civiles Ltda – Hidroconsulta Ltda. (1999)

- Diseño e instalación de instrumentación geotécnica para el monitoreo y seguimiento de los fenómenos de remoción en masa. Geotecnia y Cimentaciones S.A. (2000 – 2001)

- Estudio de evaluación de amenaza por deslizamiento de los barrios El Espino y Cerros del Diamante, Ciudad Bolívar, Bogotá. INGEOMINAS – FOPAE (2002)

- Instrumentación geotécnica para el monitoreo y seguimiento de los fenómenos de remoción en masa. Ingeniería y Georiesgos (2003).

- Fotografías aéreas de la zona.

1.3. ORGANIZACIÓN DEL INFORME

El presente estudio está organizado en diez capítulos, distribuidos de la siguiente manera:

Capítulo 1. Generalidades: explica el objeto del Contrato pactado con FOPAE y las fuentes bibliográficas que sirvieron de apoyo.
Capítulo 2. Antecedentes: presenta una descripción del problema, haciendo énfasis en los antecedentes que ha tenido. El deslizamiento del Barrio San Rafael ha sido objeto de numerosos estudios y modelación por parte de buen número consultores, entre otros, INGEOMINAS.
Capítulo 3. Topografía: alcance y metodología del levantamiento topográfico.
Capítulo 4. Estudio geológico: descripción de la geología regional y local, claves para entender el comportamiento del deslizamiento de San Rafael, el problema particular de levantamiento objeto del presente estudio y la visión a futuro del mismo.
Capítulo 5. Geoeléctrica: Es un capítulo especial, complementario al anterior, que describe el desarrollo y los resultados de una prospección geoeléctrica efectuada en la zona de estudio la cual trató de clarificar, en la medida de lo posible, el modelo geológico.
Capítulo 6. Evaluación del riesgo actual: identificado el marco geológico y los mecanismos que generan amenaza (caída de bloques, primordialmente), se llevó a cabo la evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo al que están sometidos los predios actualmente.
Capítulo 7. Alternativas de mitigación: contiene la descripción de las posibles soluciones viables que el consultor propone para reducir el riesgo a niveles aceptables. Abarca desde la "convivencia con el problema" hasta el diseño de obras físicas.
Capítulo 8. Evaluación del riesgo con medidas de protección: describe el análisis de riesgo para la condición con obras, desarrollado análogamente al del Capítulo 6, para producir resultados comparables que permitieron tomar decisiones.
Capítulo 9. Selección y diseño de la alternativa recomendada: contiene las razones que motivaron al consultor a recomendar una alternativa particular de solución, así como las cantidades de obra y presupuesto respectivos.
Capitulo 10. Conclusiones

2. ANTECEDENTES

2.1. INTRODUCCIÓN

Hacia mayo de 2002 se registraron agrietamientos del terreno en la parte sur del barrio San Rafael, que se constituyeron en el inicio de un proceso de levantamiento de una unidad identificada como Arenisca fracturada y desplazada de la Formación Guaduas; este proceso está asociado con el empuje del material desplazado, correspondiente al deslizamiento activo del sector de El Cerro del Diamante y El Espino Sectores I y III. El levantamiento del terreno ha alcanzado una altura aproximada de 15.0 m y representa una fuente de amenaza por caída de bloques para las viviendas ubicadas ladera abajo en el costado sur oriental del barrio San Rafael.

Mediante el Convenio No. 076 de 2002 entre el FOPAE e INGEOMINAS se realizó el "Estudio de evaluación de amenazas por deslizamiento de los barrios El Espino y Cerros del Diamante", finalizado en Mayo de 2003. Se incluyó dentro del área de estudio el barrio San Rafael en Febrero de 2003. Estas labores de consultoría incluyeron el monitoreo geotécnico e instrumentación de deslizamiento. La instrumentación realizada indica que después del levantamiento, los mojones localizados en el barrio San Rafael no presentan movimiento, pero el inclinómetro INC 6 registra deflexiones acumuladas de 2.0 mm, aunque no se puede definir una tendencia de ruptura.

En septiembre de 2002, se construyeron obras constituidas por trampas de bloques y parapetos de contención, las cuales se construyeron como medidas temporales de protección mientras se realizaba la evacuación de algunas familias del barrio San Rafael (véase **Foto 2.1**).

Foto 2.1. Detalle de la zona levantada del deslizamiento El Espino en avance progresivo hacia el Barrio San Rafael y las obras de protección construidas por DPAE (INGEOMINAS, Diciembre de 2002)



Las obras de protección construidas fueron destruidas por el avance progresivo del levantamiento, formándose un talud de unos 15 m de altura (hacia septiembre de 2003) compuesto por bloques de arenisca de hasta unos 3 m de diámetro, y dejando en riesgo por la caída de rocas las viviendas e infraestructura del barrio San Rafael. Es por esto que se llevó a cabo este estudio, cuyo fin es el de diseñar las obras de mitigación que disminuyan el riesgo de las viviendas ante el fenómeno de caída de rocas.

2.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

2.2.1. Levantamiento del costado Sur del barrio San Rafael

Durante la ejecución del trabajo de zonificación realizado por INGEOMINAS (mayo de 2003) se presentó el levantamiento del costado sur del Barrio San Rafael, alcanzando alturas hasta de unos 15.00 m, afectando directamente a unas dos manzanas por el levantamiento del terreno y exponiendo al efecto de caída de bloques al resto del barrio.

2.2.2. Análisis de estabilidad realizado por INGEOMINAS

Para efectos de análisis se trabajó con los parámetros de resistencia residual. Adicionalmente, se tuvo en cuenta el efecto del agua inyectada por el rompimiento de un tubo del Acueducto, el cual se manifestó como un incremento del nivel freático.

El perfil analizado se ilustra en la **Figura 2.1;** los resultados del análisis de estabilidad fueron los siguientes:

- Primer escarpe de falla: $FS = 1.096$
- Segundo escarpe de falla: $FS = 1.060$
- Tercer escarpe de falla: $FS = 1.031$

Es importante destacar que no existe evidencia sobre una eventual ampliación de la superficie de falla en la base, aunque no se descarta esta posibilidad; de hecho el inclinómetro instalado por INGEOMINAS (P10_INC6) hasta el momento ha presentado desplazamientos muy pequeños (menores que 2.0 mm), que están en el intervalo de precisión del aparato.

2.2.3. Análisis de deformabilidad realizado por INGEOMINAS

También sobre el Perfil C-C' de INGEOMINAS se llevó a cabo un análisis de deformabilidad mediante la modelación con elementos finitos en donde se halló que los resultados generados son similares al comportamiento real del deslizamiento en cuanto a desplazamientos se refiere, entendiéndose esta conclusión como una calibración del modelo analizado. Sobre el Perfil C-C' se pudo verificar que los desplazamientos se presentaban en mayor medida hacia el sector de San Rafael; Estos desplazamientos se presentan a partir del escarpe principal, coincidiendo bastante bien con lo observado en campo y teniendo como valor promedio de 15.0 metros.

Figura 2.1 Perfil de análisis de estabilidad. Deslizamiento de San Rafael (INGEOMINAS, 2003)

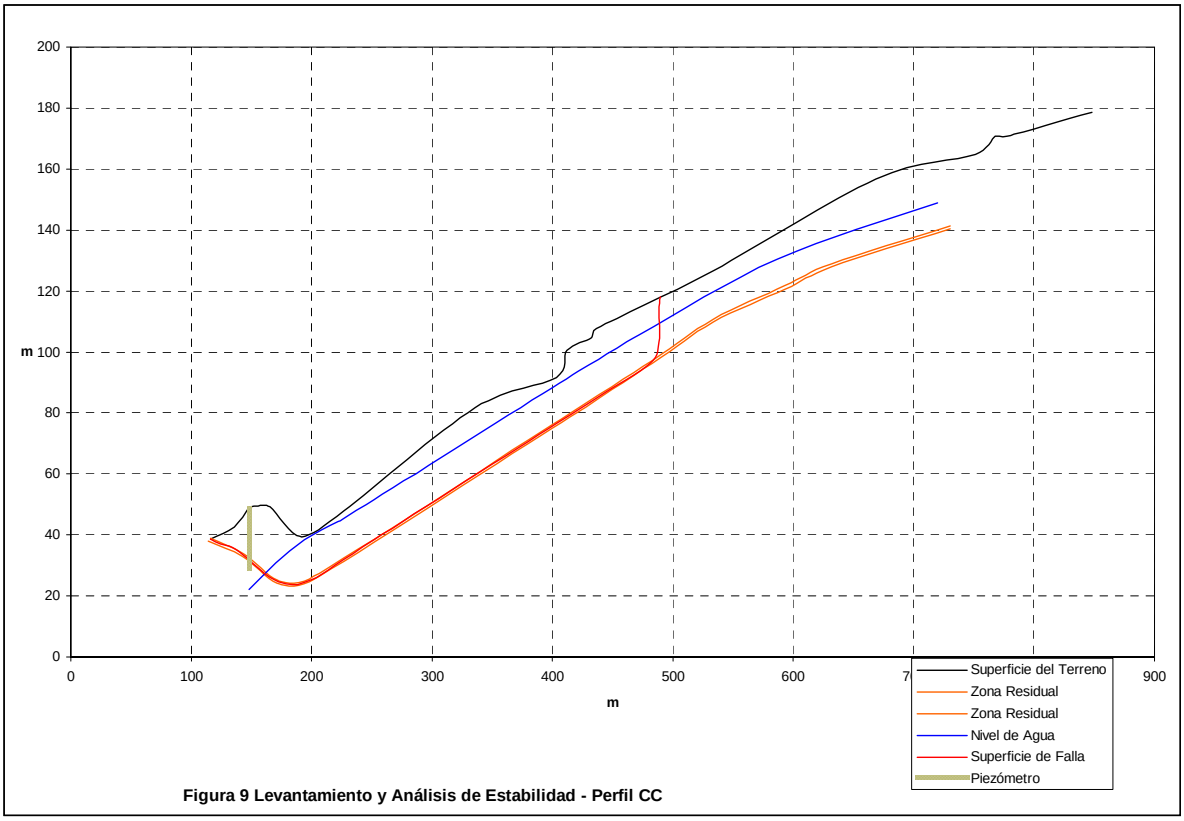


Figura 9 Levantamiento y Análisis de Estabilidad - Perfil CC

3. TOPOGRAFÍA

3.1. OBJETIVOS

- Determinar la topografía del sector incluyendo curvas de nivel cada 0.5 metros, y los detalles de la urbanización.

- Realizar el levantamiento altimétrico y planimétrico detallado del área de estudio, en coordenadas Sistema IGAC.

- Delimitar las manzanas y predios existentes, así como ubicar los detalles más relevantes (postes, alcantarillas, etc.)

- Materialización y determinación de tres (3) puntos de apoyo topográfico (mojones).

3.2. METODOLOGÍA

Los trabajos de topografía fueron contratados con Libardo Castro Rojas y consistieron en establecer un total de seis (6) estaciones desde las cuales se efectuó radiación, denominadas SR, SR-83, IGR, S-2, S-6 y S-10, amarrándose a los mojones existentes de los trabajos de instrumentación del sector y relacionados a continuación:

MOJON	ESTE	NORTE	COTA
SRA1A	89283.04	98821.06	2637.32
SRB1	89325.92	98848.25	2628.26
SRB1A	89275.24	98848.07	2637.67
SRB3	89157.27	98848.86	2661.19
INC-6	89164.88	98827.36	2662.48

El **Anexo 1** contiene los datos de cartera de campo, poligonales, coordenadas y la definición de 14 secciones.

4. ESTUDIO GEOLÓGICO

4.1. INTRODUCCIÓN

El marco geológico tiene por objeto hacer una revisión detallada de la información geológica disponible y contenida en los estudios previos realizados para el FOPAE en la zona inestable de El Espino y El Diamante, y a partir de ella, contextualizar y entender en la medida de lo posible la formación del talud que se encuentra en la parte sur del Barrio San Rafael; de esta manera, se enfocarán de una manera más eficiente las posibles alternativas de mitigación y las obras geotécnicas para la protección de los habitantes del barrio y de sus viviendas.

4.2. METODOLOGÍA

Para la evaluación de la información geológica existente se consultaron los informes del Consorcio Civiles Ltda. – Hidroconsulta Ltda., realizado en abril de 1999 y el "Estudio de Evaluación de Amenazas por deslizamiento de los barrios El Espino y Cerro El Diamante, Ciudad Bolívar-Bogotá" realizado por INGEOMINAS en abril de 2003. El informe del Barrio La Carbonera adelantado por la firma Consultora Ingeniería y Geotecnia Ltda. (1999) no se evaluó dentro de la revisión bibliográfica debido a que este movimiento no tiene incidencia directa sobre la formación y posterior evolución del talud objeto del presente estudio.

Complementario a lo anterior se revisó el informe "Zonificación Geotécnica del Barrio San Rafael, Localidad de Ciudad Bolívar" adelantado por la firma consultora Nativa en mayo de 1998. Adicionalmente se realizaron dos visitas técnicas al talud en estudio con el fin de conocer los materiales que lo conforman y la incidencia de la zona inestable del Espino en la formación del talud levantado en la parte sur del Barrio San Rafael.

4.3. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

Desde el punto de vista regional la zona de estudio hace parte del flanco occidental del sinclinal de Usme-Tunjuelito, presentando una morfología ondulada, donde se observan rocas sedimentarias con edades que van desde el Cretáceo Superior hasta depósitos inconsolidados de edad reciente los cuales se encuentran afectados por una serie de fallas geológicas.

El sector inestable de El diamante – El Espino corresponde a una estructura monoclinal con capas de rumbo general noroeste y buzamiento hacia el nororiente, con algunos cambios en los planos de estratificación por efecto de fallas locales, sin embargo predominan las capas que se disponen paralelas a la pendiente general de terreno (25.0º en promedio), lo que le confiere una inestabilidad intrínseca a la zona debido a la inclinación de las rocas que favorecen la formación de movimientos traslacionales.

Según la información geológica consultada, en el área aflora la Formación Guaduas edad Maastrichtiano Superior a Paleoceno Inferior, con un espesor que varía entre los 700 m y 1000 m. Esta unidad se ha dividido en tres conjuntos:

- Conjunto Inferior (Ktgi): Consta de arcillolitas grises oscuras y grises claras a verdosas por meteorización, con intercalaciones de areniscas cuarzosas, grises claras a blanco-amarillentas, de grano fino y limolitas de color marrón oscuro. El espesor del conjunto alcanza los 65m.

- Conjunto Medio (Ktgm): Determinado por dos niveles de arenisca. En la base la arenisca La Guía (30m de espesor aproximado) y en la parte superior la arenisca Lajosa. Entre estas areniscas se encuentra una masa de arcillolitas grises oscuras, compactas, que contienen mantos de carbón potencialmente explotable. Las areniscas de esta parte del Guaduas son cuarzoarenitas, de color gris claro, de grano fino a grueso, similares a las de la parte superior del grupo Guadalupe.

- Conjunto Superior (Ktgs): Consta de arcillolitas grises oscuras y abigarradas por meteorización, intercaladas localmente con mantos delgados de carbón y bancos de areniscas cuarzosas, poco compactas, de grano fino a grueso. Las arcillolitas de este conjunto tienen mayor plasticidad que las lutitas del nivel inferior.

Desde el punto de vista estructural, el monoclinal está afectado por una serie de fallas dentro de las que se destacan:

1) Fallas inversas:

Presentan rumbo general este-oeste y buzamiento hacia el sur. Estas estructuras se encuentran controlando el curso de las quebradas Santa Rita y Santo Domingo. El bloque norte de estas fallas está cabalgando y presenta transporte tectónico hacia el sur.

2) Fallas de rumbo:

Estas fallas se encuentran atravesando diagonalmente la zona inestable de El Diamante – El Espino y conforman estructuras con rumbo general noroeste-sureste. La falla más occidental (o mas superior desde el punto de vista topográfico) presenta movimiento sinestral, mientras que la falla mas oriental tiene un movimiento relativo entre bloques dextral. Al parecer estas fallas son posteriores a las fallas inversas, por esta razón en la zona de la quebrada Santa Rita, las fallas re rumbo están desplazando la falla inversa que controla el cauce de dicha quebrada.

En el Plano de Geología Regional (GEO-PL-02) se pueden apreciar las diferentes unidades geológicas, así como las fallas y pliegues que están afectando los alrededores de la zona de estudio. Es importante aclarar que este plano fue tomado del estudio del Ingeominas (2003) al cual se le hicieron algunas modificaciones de acuerdo al alcance del presente estudio.

4.4. GEOLOGÍA LOCAL

4.4.1. Estratigrafía

Específicamente en la zona de estudio aflora el Conjunto Medio de la Formación Guaduas, las mejores exposiciones de esta unidad se aprecian en el talud que se levantó en el costado sur del Barrio San Rafael (objeto del presente estudio) y en el escarpe dejado por un antiguo frente de explotación que se encuentra contiguo y hacia el oriente del talud levantado. En este último es mejor la exposición ya que

permite apreciar la columna estratigráfica completa que se esperaría encontrar en caso de continuar el levantamiento en el talud sur del barrio San Rafael.

En los afloramientos se observa en la parte superior una secuencia de 6.0 m de espesor de cuarzoarenitas de grano fino a medio, de color amarillo, bien calibrada, dispuesta en capas medias a gruesas, con intercalaciones de arenitas arcillosas grises y lodolitas arenosas en capas finas. Las arenitas se encuentran intensamente fracturadas por efecto de la tectónica que ha intervenido en el área, dejando bloques de tamaño variable entre 1.0 y 0.001 m^3. Para efectos del presente estudio, estas rocas se han agrupado con el símbolo TKgma (Conjunto medio de la Formación Guaduas con predominio de areniscas cuarzosas). Infrayaciendo a las areniscas y en contacto neto, se encuentran unas arcillolitas y lodolitas de color gris, macizas, fracturadas, fisibles y con un espesor mínimo de 5.0 m, ya que en campo no se identificó su base, las cuales se agruparon como TKgml (Conjunto medio de la Formación Guaduas con predominio de lodositas). Estas unidades se encuentran cartografiadas en el Plano de Geología Local (GEO98-PL-03).

Aunque en los diferentes estudios realizados en la zona (Civiles, 1999 e INGEOMINAS, 2003) se han realizado divisiones informales dentro del conjunto medio del Guaduas acordes con las necesidades de cada trabajo, es importante resaltar que no hay una estratigrafía clara que permita establecer el comportamiento de las diferentes fallas identificadas en la cartografía geológica, ni establecer una correlación estratigráfica entre el bloque sur (deslizamiento de El Espino) y el bloque norte (donde se encuentra el barrio San Rafael) de la Falla que alinea la quebrada Santa Rita.

Los depósitos Cuaternarios están representados por un coluvión de espesor variable, conformado por bloques subangulares de cuarzoarenita, de 0.3 a 0.8 m de lado, en medio de una matriz limoarenosa. Este depósito es matrizsoportado y se encuentran cubriendo de manera discordante las cuarzoarenitas de la parte superior del talud en estudio. Adicionalmente, son comunes en el sector los rellenos antrópicos conformados por botaderos, rellenos y material deslizado.

4.4.2. Geología Estructural

La presencia de fallas geológicas delimitan muy bien el movimiento que se presenta en el sector El Diamante – El Espino y a su vez tienen gran importancia en la formación del talud levantado en el costado sur del Barrio San Rafael, ya que estas estructuras se encuentran limitando la continuidad del talud tanto hacia el oriente como al occidente, además el rumbo general del mismo (este-oeste) coincide con el trazo de la falla que está alineando el cauce de la quebrada Santa Rita.

A continuación se describen las principales fallas geológicas que tienen ingerencia en el comportamiento y la evolución del talud en estudio. Se presentan de forma detallada, ya que fueron descritas de manera general en el numeral 3:

4.4.2.1. Falla de la Quebrada Santa Rita

Denominada informalmente así por estar ejerciendo un control estructural sobre el cauce de la quebrada del mismo nombre. Esta estructura de tipo inverso, presenta un rumbo este-oeste y buzamiento hacia el sur según la cartografía geológica del estudio del INGEOMINAS (2003). Esta superficie de falla define una zona de discontinuidad y demarca el límite norte del deslizamiento El Diamante y a la vez el levantamiento del talud del barrio San Rafael" Esta estructura es desplazada

hacia el norte justo en la zona del talud levantado, por efecto de dos fallas de rumbo que se describen en el siguiente numeral.

4.4.2.2. Fallas NW-SE

Representan las estructuras que atraviesan el deslizamiento de El Diamante– El Espino en dirección noroeste-sureste y que tienen continuidad en el Barrio San Rafael, por lo que desplazan hacia el norte el trazo de la falla que alinea la quebrada Santa Rita. Se trata de fallas de rumbo con una componente vertical y buzamiento hacia el suroeste.

De las dos fallas identificadas en los estudios anteriores, la más occidental y cercana a la corona del deslizamiento de El Diamante, presenta un movimiento sinestral entre sus bloques y posiblemente delimita por el occidente el talud levantado en el barrio San Rafael. La otra falla de rumbo localizada en inmediaciones del barrio El Espino, presenta un comportamiento dextral, desplazando también la falla de la quebrada Santa Rita hacia el norte y controla por el oriente el bloque levantado.

De acuerdo a lo anterior, el talud en estudio corresponde a un bloque rocoso limitado al norte por una falla inversa y hacia los costados por fallas de rumbo y formado por el empuje que le imprime en dirección N30E la gran masa inestable de El Diamante – El Espino. A partir de esta hipótesis se espera que el movimiento no afecte las partes laterales de la actual zona levantada. Con los datos existentes es incierta la propagación del movimiento hacia el sector norte, que requiere la generación de una nueva superficie de falla y afectaría nuevas viviendas del barrio San Rafael, más aún cuando no hay seguridad del buzamiento de las fallas.

4.5. GEOMORFOLOGÍA

El paisaje en la zona de estudio está modelado por la disposición de las capas o estratos rocosos que presentan una pendiente estructural con inclinación hacia el noreste. La superficie del terreno luego de sufrir una serie de cambios por procesos de intemperismo se ha adaptado a los planos de estratificación, definiendo una unidad morfológica denominada pendiente o cuesta estructural, la cual predomina en la zona inestable de El Diamante – El Espino. Adicionalmente el talud afectado por el movimiento y que delimita el barrio San Rafael, corresponde a una ladera de origen estructural, afectada por una antigua explotación de materiales .

La combinación de estos factores sumado a los asentamientos humanos subnormales, han generado un proceso de inestabilidad de grandes proporciones denominado en este informe como la zona inestable de El Diamante – El Espino, cuya actividad ha dado origen a la formación de un talud rocoso de 15.00 m de altura sobre el costado sur del barrio San Rafael y que es el objeto del presente estudio. Se trata de un cerro alargado, con orientación este-oeste, en donde se pueden presentar fenómenos de remoción en masa del tipo caída de rocas sobre su cara norte, debido al alto grado de fracturamiento del macizo rocoso y a la pendiente del escarpe. Según el Plano Morfodinámico realizado por el INGEOMINAS (2003), al talud en mención se le denomina Arenisca fracturada levantada.

5. GEOELÉCTRICA

5.1. GENERALIDADES

Se adelantó una investigación geoeléctrica como método indirecto de exploración del subsuelo, con el objeto de definir las características de las fallas geológicas cartografiadas en el área de estudio. A continuación se presentan los datos de campo y los resultados de la investigación geoeléctrica, que sumados al estudio geológico servirán de soporte para las soluciones geotécnicas del proyecto.

En la investigación se realizaron sondeos geoeléctricos, empleando las Configuraciones Schlumberger (sondeos largos) y Wenner (sondeos cortos), ubicados según el sector de exploración. Se adelantaron los siguientes sondeos:

- Configuración Schlumberger: Cinco (5) Sondeos Geoeléctricos (SEV)
- Configuración Wenner: Seis (6) Sondeos Geoeléctricos (W)

La localización de los sondeos geoeléctricos se encuentra en el **Plano Nº 2**.

De acuerdo a la cartografía geológica existen afloramientos de sedimentos de ladera y residuales, de edad cuaternaria, y sedimentos pertenecientes a la Formación Guaduas, arcillolitas con un nivel de areniscas de edad terciaria.

1) Sedimentos Cuaternarios: Caracterizados como suelo residual, roca desplazada y fracturada, depósitos de talud. Presentan muy poco espesor; este material se ha cartografiado en pequeños sectores, ver **Plano Nº 2** y **Plano Nº 3**.

2) Sedimentos Terciarios: Caracterizados como arcillolitas, grises compactas, bien estratificadas, con bancos de arenisca friable, cuarzosa y se ha correlacionado con los de la Formación Guaduas. Los sedimentos terciarios se han cartografiado en la mayor parte del área de estudio. El espesor de estos sedimentos es variable en la Sabana de Bogotá, entre 250.0 m. a 1200.0 m. (Lobo-Guerrero).

5.1.1. Configuración de electrodos

En la práctica de campo, en cada sondeo geoeléctrico se utilizan corrientes eléctricas que se inducen en el subsuelo por medio de electrodos. Se utilizan electrodos de potencial y de corriente, que permiten medir la diferencia de potencial y la intensidad de la corriente, respectivamente, a diferentes profundidades de exploración.

En la Investigación Geoeléctrica del subsuelo se pueden utilizar diferentes arreglos o configuraciones de los electrodos, dependiendo del tipo de exploración o material del subsuelo a investigar. Las más comunes son las Configuraciones Schlumberger y Wenner.

- **Configuración Schlumberger**: En esta configuración, los dos electrodos de corriente (electrodos externos) se mueven alejándose del centro de medida, alcanzando cada vez una mayor profundidad

de investigación, mientras que los electrodos de potencial (electrodos internos) permanecen fijos, cerca del centro de medida o estación.

Este tipo de arreglo de electrodos es usada para la exploración a profundidad de los diferentes parámetros geoeléctricos del subsuelo, y tiene una amplia aplicación en la exploración de aguas subterráneas. La interpretación de las medidas o sondeos geoeléctricos con la Configuración Schlumberger se puede hacer de modo cuantitativo, y son los de más amplia difusión en todo el mundo.

- **Configuración Wenner**: En esta configuración, los cuatro electrodos (dos de corriente y dos de potencial) se mueven al mismo tiempo, después de cada profundidad medida, alejándose cada vez más del centro o estación.

  Con este tipo de arreglo se miden las características resistivas del subsuelo, y sirve para interpretar la variación lateral del material a varias profundidades. Este arreglo es utilizado con frecuencia para la exploración minera u otro tipo de investigación, donde se requiera definir cambios laterales en el material. La interpretación de las medidas con la Configuración Wenner se hace, por lo general, de modo cualitativo.

En una investigación donde se realicen los dos tipos de arreglos de electrodos, como la realizada en el Proyecto San Rafael, se pueden correlacionar los dos tipos de medidas.

5.1.2. Cálculos de las resistividades del subsuelo

La relación entre los parámetros medidos en el sondeo geoeléctrico, intensidad de corriente, diferencia de potencial y un factor de distancia, permite calcular la resistividad eléctrica, llamada Resistividad Aparente del subsuelo.

Los resultados de la exploración geoeléctrica se representan mediante una gráfica o Curva Geoeléctrica, dibujada en papel logaritmico, donde se relaciona el valor de la Resistividad Aparente y la profundidad de medida. La curva geoeléctrica es interpretada matemáticamente, y permite deducir la estratigrafía del subsuelo, el carácter litológico y el espesor o profundidad de yacimiento de cada capa alcanzada en la investigación geoeléctrica.

5.2. SONDEOS GEOELECTRICOS SCHLUMBERGER

La interpretación matemática de los Sondeos Geoeléctricos Schlumberger se realizó con la ayuda del programa de computador "Schlumberger Automatic Analysis". Más adelante se muestran las curvas geoeléctricas de los sondeos, con su interpretación matemática y los datos medidos en campo.

En términos geoeléctricos, se puede generalizar para la zona de estudio:

1) Sedimento Cuaternario: presenta valor medio de resistividad, en consideración a que se encuentra no saturado y su composición es fina, por lo general.
2) Sedimento Terciario: en la zona no saturada del subsuelo presenta valores muy altos de resistividad para los niveles de arenisca friable y valores medios para las arcillolitas. En la zona saturada del subsuelo, los valores de resistividad son menores a los deducibles para la zona no

saturada; en general se establece que el valor de la resistividad es menor a mayor humedad o saturación del material del subsuelo.

5.2.1. Sondeos geoeléctricos característicos

Con el propósito de dar mayor claridad en la comprensión de este informe, se presenta a continuación el tipo de sondeo geoeléctrico identificado en el área estudiada. En el área de estudio se identifica un (1) tipo característico de sondeo geoeléctrico, que representa el material yacente en el subsuelo.

5.2.1.1. Sondeo Geoeléctrico SEV-4: Interpretación Matemática

En la **Tabla 5.1**, donde se relaciona la interpretación matemática dada al sondeo tipo referenciado, se definen los valores de resistividad y profundidad de las diferentes capas del subsuelo.

Tabla 5.1. Sondeo Geoeléctrico SEV-4

CAPA	RESISTIVIDAD (ohm-m)	PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)
A	44.0	0.0 - 0.8	0.8
B	200.0	0.8 - 4.0	3.2
C	1.0	4.0 - 16	12.0
D	100.0	> 16.0	Indeterminado

5.2.1.2. Interpretación Geohidrológica del Sondeo Tipo: SEV-4

De la interpretación geohidrológica del sondeo SEV-4 se deduce:

1) La capa A corresponde a la cubierta superior o material residual, con un espesor de 0.8 metros en el sitio de medida.
2) Las capas B, C y D corresponden a las rocas de la Formación Guaduas: las capas B y D se caracterizan como arcillolitas, mientras que la capa C se relaciona con areniscas, principalmente.

Los sondeos geoeléctricos SEV-1, 2, 3 y 5, se interpretan de manera similar a la explicada para el SEV-4, con similares valores de resistividad para las diferentes capas del subsuelo, pero las capas yacen a diferentes profundidades, como se puede apreciar en los perfiles geoeléctricos.

5.3. SONDEOS GEOELECTRICOS WENNER

Los seis (6) Sondeos Geoeléctricos Wenner se realizaron en el área donde se ha cartografiado la falla de rumbo, con el objeto de ubicar su trazo o plano. La profundidad medida en cada estación fue de 0.5, 6, 15 y 30 metros. Con las medidas de estos sondeos se grafican las Calicatas Eléctricas, a diferentes profundidades; también se correlacionan en este informe, los sondeos Wenner con los sondeos Schlumberger. En el anexo se presentan los datos de campo de los sondeos geoeléctricos Wenner.

Para la interpretación cualitativa de los sondeos geoeléctricos Wenner se dispone de los mismos criterios mencionados anteriormente, en cuanto a los valores de resistividad característicos de los materiales del subsuelo.

5.4. PERFILES GEOELÉCTRICOS

Para el área estudiada se presentan dos tipos de perfiles geoeléctricos, llamados Cortes Geoeléctricos y Calicatas Eléctricas.

1) **Cortes Geoeléctricos**: Relaciona la Resistividad Verdadera de las capas del subsuelo y la profundidad, definidas e interpretadas matemáticamente para cada estación de medida o SEV. Los resultados permiten definir la estratificación del subsuelo, la litología, la dirección de las estructuras y de las fallas o anomalías.
2) **Calicatas Eléctricas**: Llamada también Transversas Geoeléctricas, relaciona la Resistividad Aparente y la ubicación de cada estación Wenner, según diferentes profundidades. Los resultados obtenidos son cualitativos y permiten definir en algunos casos la variación lateral del material del subsuelo.

5.4.1. Cortes geoeléctricos

En los cortes geoeléctricos A-A´ y B-B´ se relacionan los diferentes sondeos geoeléctricos Schlumberger, y se define en un plano vertical las capas o estratos yacentes en el subsuelo.

En la **Figura 5.1** y en la **Figura 5.2** se visualizan los Cortes Geoeléctricos A-A´ y B-B´, diagramados para el área de estudio. La dirección de estos cortes es sur - norte (S-N), transversal al sistema de falla geológica cartografiada en el respectivo mapa.

5.4.1.1. Corte geoeléctrico A-A´

El Corte Geoeléctrico A-A´ (**Figura 5.1**) se ubica hacia el sector sur del área de estudio, y se relacionan los sondeos geoeléctricos SEV-4 y 5. De la interpretación del subsuelo se observan tres zonas, que de arriba hacia abajo se definen como:

1) **Zona 1**: Caracterizada por:
   - Una cubierta superficial o material residual cuaternario (capa A).
   - Un nivel de arcillolita (capa B), fragmentada y agrietada, producto del movimiento o deslizamiento que está afectando la zona. Este nivel de arcillolita presenta una inclinación hacia el norte, con ángulo entre 10 y 15 grados.
2) **Zona 2**: Caracterizada como el banco de areniscas (capa C), perteneciente a la Formación Guaduas.
3) **Zona 3**: Caracterizada como las arcillolitas de la Formación Guaduas (capa D).

Estructuralmente se define un sistema de falla inversa, con inclinación general hacia el sur, y ángulo de inclinación de unos 32 grados. El trazo superficial de esta falla se ubica a la altura de la quebrada que drena por la zona, y presenta un rumbo occidente - oriente (W - E).

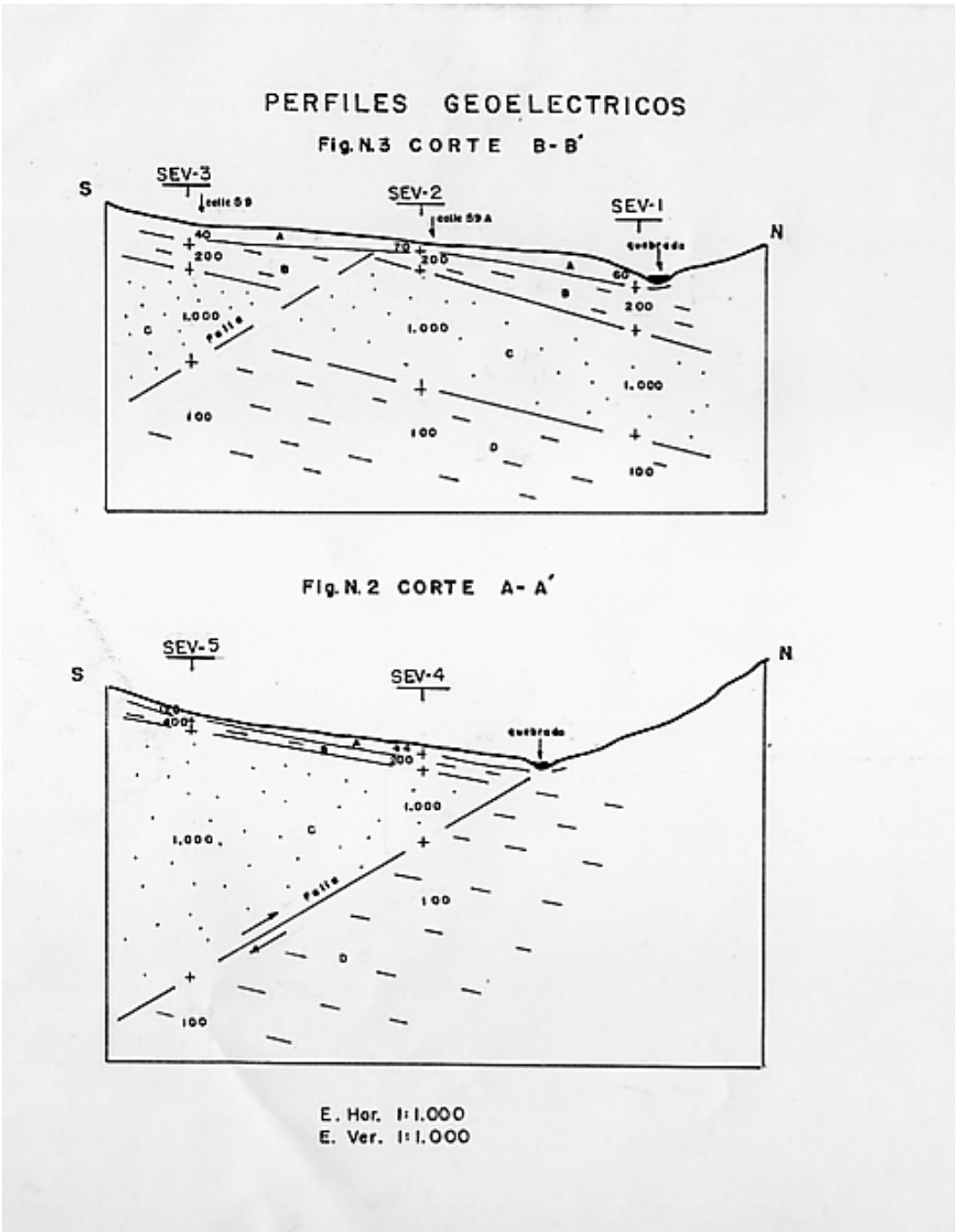
5.4.1.2. Corte geoeléctrico B-B´

El Corte Geoeléctrico B-B´ (**Figura 5.2**) se ubica hacia el sector occidental del área de estudio, y relaciona los sondeos geoeléctricos SEV-1, 2 y 3.

La interpretación litológica y estructural deducida para el Corte Geoeléctrico B-B´ es similar a la explicada para el Corte Geoeléctrico A-A´, en lo referente a:

- Material Residual: Capa geoeléctrica A.
- Formación Guaduas: Capa B (arcillolitas), capa C (areniscas), capa D (arcillolitas).

Figura 5.1 y Figura 5.2. Perfiles Geoeléctricos A-A' y B-B'



Las capas interpretadas para los sedimentos de la Formación Guaduas presentan como característica estructural:

- Buzamiento general hacia el norte, con ángulo entre 12 y 16 grados; ver la correlación entre los SEV-1 y 2.
- Cambio de buzamiento de las capas de la Formación Guaduas, entre los SEV-2 y 3; este cambio se interpreta debido al efecto de la falla inversa cartografiada en el área, ver corte geoeléctrico A-A´.

Se hace la aclaración que los ángulos referidos al buzamiento de capas y de la falla geoeléctrica se relacionan con la dirección de las gráficas presentadas en este informe, los cuales no necesariamente concuerdan con los tomados en los afloramientos de campo.

5.4.2. Calicatas Eléctricas

Las Calicatas Eléctricas A-A´ y B-B´ se trazan transversal a la cartografía realizada para la falla de rumbo. Estas gráficas se presentan en la **Figura 5.3** y en la **Figura 5.4**, en papel semilogarítmico, con las distancias horizontales en escala aritmética y la Resistividad Aparente en escala logarítmica.

5.4.2.1. Calicata Eléctrica A-A´

Se representa en la **Figura 5.3** y en ella se describen las medidas de Resistividad Aparente a 6.00, 15.00 y 30.00 m de profundidad, tomadas de los sondeos geoeléctricos Wenner (W-1 al W-3), también se correlaciona con la medida del SEV-5.

De la interpretación cualitativa de esta gráfica se observan cambios de Resistividad Aparente en sentido lateral. De los valores de resistividad aparente y los cambios laterales se deduce:

- Profundidad 6 y 15 metros: cambio suave de pendiente, representada por los valores de resistividad entre los sondeos W-2 y W-3.
- Profundidad 30 metros: cambio brusco de pendiente, representada por los valores de resistividad entre los sondeos W-3 y SEV-5.

El cambio de pendiente de los valores de resistividad a las profundidades de 6, 15 y 30 metros lleva a inferir el trazo de la falla de rumbo entre los sondeos W-2 y W-3, con una inclinación de la falla hacia el oriente.

5.4.2.2. Calicata Eléctrica B-B´

Se representa en la **Figura 5.4** y en ella se describen las medidas de Resistividad Aparente, a 6, 15 y 30 metros de profundidad, tomadas de los sondeos geoeléctricos Wenner (W-4 al W-6), también se correlaciona con la medida del SEV-4.

De la interpretación cualitativa de esta gráfica se observan cambios de Resistividad Aparente en sentido lateral. De los valores de resistividad aparente se deduce:

- Profundidad 6 metros: cambio brusco de pendiente, representada por los valores de resistividad entre los sondeos W-4 y W-5.

- Profundidad 15 y 30 metros: cambio suave de pendiente, representada por los valores de resistividad entre los sondeos W-4 y SEV-5.

El cambio de pendiente de los valores de resistividad a las profundidades de 6, 15 y 30 metros lleva a inferir el trazo de la falla de rumbo entre los sondeos W-4 y W-5.

5.5. CONCLUSIONES

De la investigación geoeléctrica adelantada en el Proyecto San Rafael se concluye:

1. **Sondeos Geoeléctricos**: Se realizaron sondeos geoeléctricos utilizando las Configuraciones Schlumberger y Wenner.

- Configuración Schlumberger: Cinco (5) sondeos.
- Configuración Wenner: Seis (6) sondeos.

Los sondeos geoeléctricos muestran un tipo característico de las curvas geoeléctricas, lo cual lleva a inferir una misma estratigrafía en el subsuelo que corresponde a: arcillolitas con un banco de arenisca, pertenecientes a la Formación Guaduas; la parte superior está cubierta por materiales residuales recientes. La interpretación geoeléctrica se relaciona con:

- Capa A: Material residual, o cobertura superficial.
- Capa B: Arcillolita del Guaduas.
- Capa C: Arenisca del Guaduas.
- Capa D: Arcillolita del Guaduas.

2. **Cortes Geoeléctricos**: Las capas de la Formación Guaduas buzan hacia el norte, según la dirección del corte geoeléctrico.

- En el corte geoeléctrico A-A´ se infiere el plano de la falla geoeléctrica, inversa según la Geología regional, con buzamiento de unos 32 grados hacia el sur. En el sector de los sondeos SEV-4 y 5, el trazo superficial de la falla inversa se ubica hacia el área por donde corre la quebrada.
- En el corte geoeléctrico B-B´ se interpreta un cambio de pendiente de la estructura, entre los SEV-2 y 3, la cual se atribuye al fenómeno de la falla. En el sector de los sondeos SEV-1, 2 y 3, el trazo de la falla inversa se ubica hacia el área de la calle 59 A .

3. **Calicatas Eléctricas**: se interpreta el trazo de la falla de rumbo entre los sondeos W-2 y W-3, y entre los sondeos W-4 y W-5, con una inclinación hacia el oriente, según se deduce de las Calicatas A-A´ y B-B´, **Figura 5.3** y **Figura 5.4**.

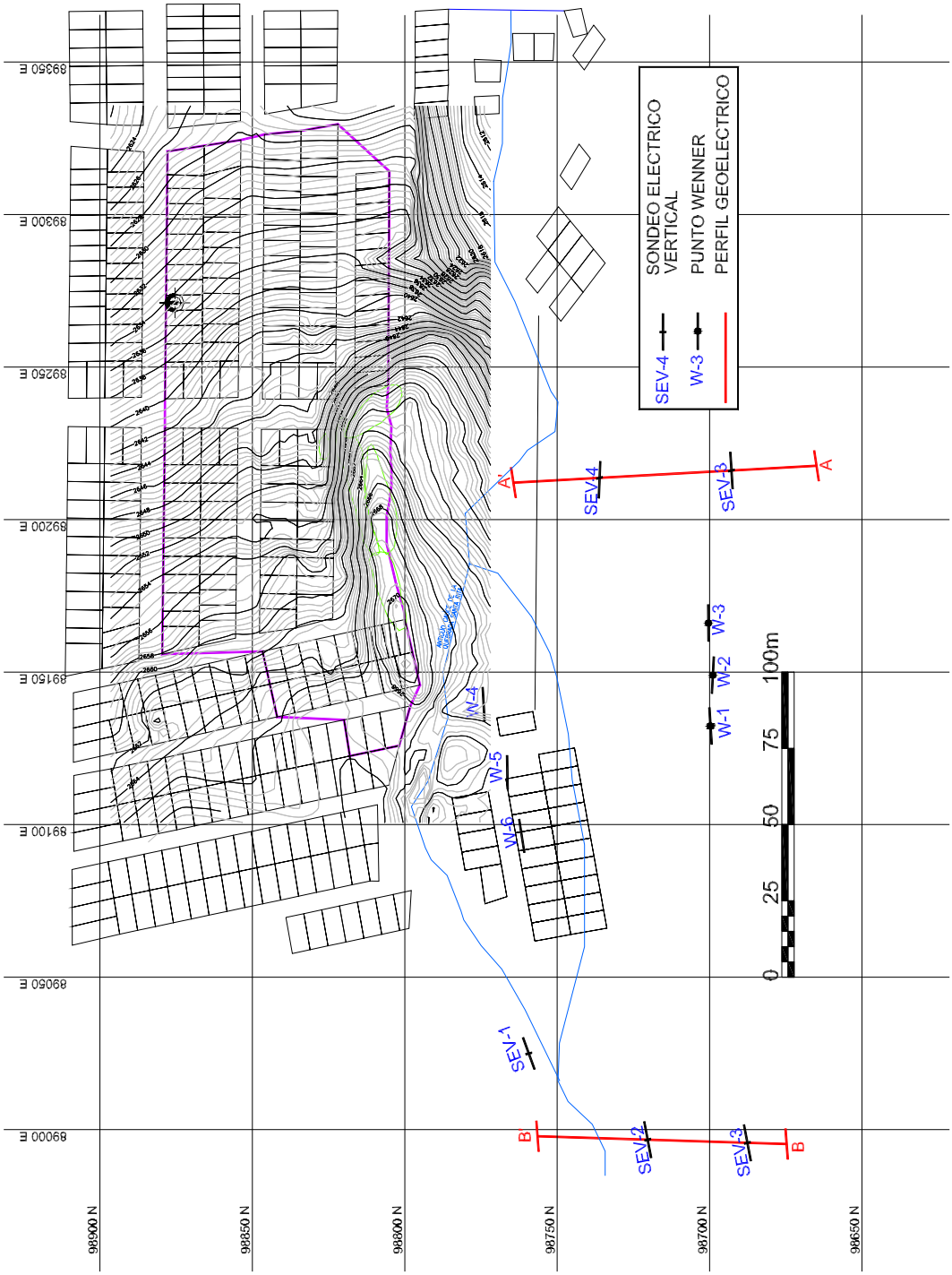


Figura 5.5 Localización de la exploración geoeléctrica

6. EVALUACIÓN DEL RIESGO ACTUAL

6.1. DEFINICIÓN DE SECCIONES DE ANÁLISIS

Sobre el **Plano N° 1** se trazó un total de 24 secciones de análisis discriminadas como 12 con trazado rectilíneo en planta y 12 siguiendo las trayectorias de mayor pendiente.

Las 12 primeras representan las trayectorias más probables previstas para los bloques sueltos que puedan emprender la caída, partiendo del supuesto de que las rocas masivas (de 1.0 m^3 o mayores) se mueven en línea recta cuesta abajo gracias a la energía cinética que van desarrollando, la cual es disipable solo marginalmente con el rozamiento y los impactos continuos durante el descenso.

Las 12 secciones que siguen las trayectorias de mayor pendiente se trazaron sobre los vectores de pendiente topográfica, **Plano Nº 1**; se espera que por ellas desciendan rocas de hasta 0.5 m^3 aproximadamente, las cuales pueden disipar relativamente mayor energía por rozamiento durante el descenso. Las trayectorias simulan, pues, flujos de material.

El punto de partida de cada sección se encuentra dentro de una de las cuatro (4) zonas que delimitan tamaños predominantes de bloques, véase el **Plano N° 3**; por lo tanto, el análisis en cada sección se concentró en el volumen predominante.

6.2. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO GEOTÉCNICO

Previo trazado de cada perfil, véase **Plano N° 5**, el análisis se valió de la herramienta de software GeoRock V.4 Rev.48 (Geostru Software®), la cual utiliza el método CRSP (Colorado Rockfall Simulation Program) para el cálculo del alcance al que pueden llegar uno o varios bloques al desprenderse y caer.

Colorado Rockfall Simulation Program (Pfeiffer y Bowen, 1989) modela el movimiento de caída de bloques de roca en forma de esfera, cilindro o disco. Para describir el movimiento de los bloques, aplica la ecuación de movimiento parabólico de un cuerpo en caída libre y el principio de conservación de la energía total. En particular, supone que el ángulo formado entre la dirección del bloque y el perfil del talud cambia según una estadística que se debe definir para cada caso analizado. Así mismo trata estadísticamente los resultados de velocidades y las alturas de vuelco con respecto a la superficie del talud durante la caída.

Los algoritmos de cálculo requieren las siguientes variables de entrada:

1) Perfil topográfico
2) Caracterización de la superficie topográfica de cada sección: el software define dos tipos de coeficientes denominados de restitución y de rugosidad.

   Coeficientes de restitución: Se conocen como coeficientes de restitución normal y tangencial, R_N y R_T, y representan el rozamiento que puede desarrollarse entre los bloques y la superficie. Lo más

conveniente en el momento de elegirlos sería basarse en observaciones previas de caída de bloques y, habiendo registrado datos de trayectoria, energía, velocidad y alcance, calibrar los análisis para que se ajusten a las observaciones.

La Firma Rocscience ha publicado (www.rocscience.com) una tabla para estimar los anteriores coeficientes, con base en observaciones y reportes de otros usuarios.

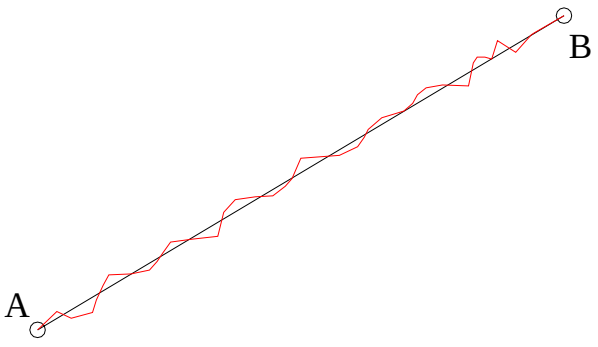
Se ha supuesto que R_N y R_T siguen una distribución normal. Sin embargo, es claro que tanto la media como la desviación estándar son difícilmente estimables en ambos casos. Como regla general, entre mejores propiedades de resistencia posea la roca, mayores son los valores de los coeficientes de restitución, y se recomiendan valores entre 0.0 y 1.0, tales que $R_T > R_N$.

Coeficiente de restitución normal, R_N: Representa una fuerza de rozamiento normal al bloque, fracción del peso, necesaria para evaluar la resistencia al corte con la superficie.

Coeficiente de restitución tangencial, R_T: Representa una fuerza de rozamiento cortante al bloque, función de la normal. A partir del coeficiente R_T, puede estimarse el ángulo de fricción crítico entre bloques y superficie, a través de la correlación empírica *Ángulo de fricción* = $(1\text{-}R_T)/R_T$

Coeficiente de rugosidad de la pendiente, S: El modelo de cálculo considera que la masa de cada bloque está concentrada en un círculo muy pequeño, y aplica ecuaciones de movimiento y energía a la "partícula" así definida. Así, los efectos correspondientes a forma y tamaño de los bloques se toman en cuenta a través de coeficientes o ajustes.

Toda sección de análisis se introduce en el software como una polilínea, la cual representa varios segmentos de recta concatenados. Sin embargo, en realidad, la superficie es rugosa y, como se aprecia en la figura siguiente, los únicos dos puntos de cada segmento que pueden considerarse de coordenadas conocidas son los de inicio y final.



La variable aleatoria que el programa utiliza para evaluar la rugosidad es el ángulo de la pendiente en cualquier punto sobre cada segmento. Se considera que dicho ángulo obedece a una distribución normal, cuya media corresponde al valor de la pendiente nominal de la recta (línea $\overline{AB}$ en la figura) y cuya desviación estándar es igual al coeficiente de rugosidad de la pendiente, *S*.

Según el Manual Avanzado del programa (www.rocscience.com), los usuarios que ya lo han utilizado reportan valores del coeficiente *S* comúnmente en el intervalo de 0 a 3 y no mayores a 5.

Se entiende que $S = 0$ significa que se consideran para el análisis segmentos perfectamente rectilíneos, lo cual a su vez corresponde a la condición más probable, según la distribución adoptada. Cuando el valor *S* se hace cada vez mayor, las posibilidades de que el bloque que cae se desvíe de su trayectoria predispuesta por una superficie rectilínea son mayores también.

Pueden tenerse en cuenta los siguientes criterios para escoger el valor de la desviación *S*:

- Considerar una distribución normal, de modo que:

68.27% de los valores están en el intervalo dado por la media más o menos 1 desviación estándar
95.44% de los valores están en el intervalo dado por la media más o menos 2 desviaciones estándar
99.74% de los valores están en el intervalo dado por la media más o menos 3 desviaciones estándar

- Las dimensiones relativas entre bloque y materiales de la superficie permiten estimar la desviación estándar ya que para tamaños masivos, como en el caso de la zona de estudio, la diferencia de volumen hizo que *S* se redujera hasta valores entre 0.2 y 0.5.

3) Caracterización cinemática de la caída de los bloques:

- Peso unitario de los bloques: se fijó en 2.2 T/m^3
- Dimensiones de los bloques: como se anotó atrás, GeoRock efectúa lanzamientos para tres formas de bloque: disco (definido por diámetro y espesor), esfera (caracterizada por un diámetro) y cilindro (definido por diámetro y altura). Para introducir estas dimensiones, se entendió que la zonificación por tamaños de bloque, **Plano N° 3**, clasifica los volúmenes de roca en cuatro categorías: 0.5 a 1.0 m^3, 1.0 m^3, 2.0 m^3 y 3.0 m^3, de modo que se pueden calcular las dimensiones de la **Tabla 6.1**. Por facilidad, disco y cilindro adquirieron las mismas dimensiones; por supuesto, la diferencia entre ellos está en la forma de caer por el talud.

Tabla 6.1. Dimensiones de los bloques para el análisis de caída de rocas

Volumen nominal del bloque (m^3)	Disco y cilindro		Esfera	Volumen real (m^3)	
	D (m)	$E = H$ (m)	D (m)	Disco y cilindro	Esfera
0.5	1.0	0.7	1.0	0.55	0.52
1.0	1.3	0.8	1.3	1.06	1.15
2.0	1.6	1.0	1.6	2.01	2.14
3.0	1.8	1.2	1.8	3.05	3.05

D = diámetro
E = espesor
H = altura

- Velocidad inicial horizontal: 0.01 m/s, necesaria para vencer la fricción estática
- Velocidad de frenado horizontal: 0.01 m/s
- Velocidad inicial vertical: -0.01 m/s (hacia arriba), la cual también contribuye a vencer la fricción estática
- Intervalo de abscisas sobre el cual se efectúan lanzamientos: definido con base en la zonificación por tamaños de bloque, véase **Plano N° 3**.
- Número de lanzamientos a efectuar: gracias a que el software trabaja bajo un modelo de rebotes aleatorios, se hace necesario un número de lanzamientos lo suficientemente grande como para calcular frecuencias relativas de excedencia (véase **Numeral 6.3.3.2**). El consultor consideró que 100 lanzamientos es un número suficiente y fácilmente manejable para efectos estadísticos.

De los resultados que el programa entrega, se puede extraer, entre otra, la siguiente información:

1) Alcance máximo horizontal (m) dentro del grupo de bloques lanzados
2) Alcance promedio (m)
3) Energía máxima de los bloques (kJ)

6.3. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA ACTUAL

6.3.1. Análisis por caída de bloques en condición actual

La **Tabla 6.2** contiene los resultados de alcance horizontal para las secciones 1 a 11 (rectilíneas; la Sección 12 no se ha considerado para análisis por alejarse de las manzanas habitadas), discriminando por forma de bloque y volumen lanzado. Con los alcances máximo y promedio para cada sección se trazó una envolvente de dispersión de bloques, véanse las líneas roja y azul de la **Figura 6.1**, que permitió identificar visualmente que la amenaza tiende a crecer sobre las manzanas numeradas como 5 y 6, habitadas actualmente.

La **Figura A2.1** del **Anexo 2** muestra gráficamente los resultados del programa bajo dichas condiciones de talud actual.

6.3.2. Cálculo de la amenaza actual

6.3.2.1. <u>Definición del modelo de amenaza</u>

Las técnicas de evaluación de amenaza por caída de bloques suelen considerar a la energía promedio de impacto como la variable fundamental del problema (Isaza, 2002). Sin embargo, para efectos de definir perímetros potencialmente afectables, en el caso del Barrio San Rafael se consideró la **distancia de viaje** como la variable del modelo.

Sea x = alcance máximo, en metros, la variable aleatoria de análisis. Se define amenaza por caída de bloques, $P(e)$, como la probabilidad de que x exceda una distancia D determinada, en el lanzamiento de un bloque cualquiera, y corresponde a la probabilidad total de excedencia de dicha abscisa D:

$$P(e) = P(x > D) = P(e|V_1)P(V_1) + P(e|V_2)P(V_2) + \ldots + P(e|V_n)P(V_n)$$

en donde:

$P(e)$ = amenaza por caída de bloques, calculada para cada sección
x = alcance máximo (m), variable aleatoria de análisis
D = abscisa correspondiente a un nivel de amenaza determinado
$P(e|V_1)$, $P(e|V_2)$, ..., $P(e|V_n)$ = probabilidad de excedencia de la abscisa D dado que se ha desprendido un bloque de volumen V_1, V_2, ..., V_n en un lanzamiento al azar
$P(V_1)$, $P(V_2)$, ..., $P(V_n)$ = probabilidad absoluta de que caiga un bloque de tamaño V_1, V_2, ..., V_n

La amenaza puede categorizarse en Niveles, denominados Bajo, Medio y Alto, los cuales se definieron en la **Tabla 6.3**. Como puede observarse, se han escogido valores de probabilidad de excedencia $P(e)$ bajos y conservadores ya que se reconoce que los bloques masivos no deben llegar hasta las áreas habitadas ya que las consecuencias del riesgo asumido pueden ser inaceptables e incluso fatales.

Tabla 6.2 Resultados del análisis de caída de bloques

SECCIÓN	FORMA	VOLUMEN (m^3)	VEL. MÁX. (m/s)	VEL. PROM. (m/s)	ABSCISA PROMEDIO DE PARADA (m)	ABSCISA MÁXIMA DE PARADA (m)
1	D	0.5	8.8	3.0	12.51	28.05
	E	0.5	9.3	3.0	12.74	29.00
	C	0.5	9.1	3.0	14.81	28.89
	D	1.0	9.1	3.3	21.79	30.60
	E	1.0	9.4	3.3	22.52	33.13
	C	1.0	9.3	3.3	21.08	32.65
2	D	0.5	8.9	2.9	13.91	28.10
	E	0.5	9.0	3.0	12.73	29.57
	C	0.5	9.2	3.0	14.01	28.96
	D	1.0	9.3	3.2	20.34	39.85
	E	1.0	9.4	3.3	21.10	31.30
	C	1.0	9.5	3.3	21.47	32.35
3	D	0.5	11.3	4.8	19.04	38.01
	E	0.5	11.2	4.0	14.96	30.90
	C	0.5	11.4	4.8	19.01	35.57
	D	1.0	11.4	4.6	22.95	46.53
	E	1.0	11.8	4.6	22.68	45.83
	C	1.0	11.5	4.7	21.28	45.23
4	D	0.5	13.3	5.3	21.94	36.70
	E	0.5	13.5	5.6	21.60	38.18
	C	0.5	13.6	5.3	21.84	37.71
	D	1.0	13.3	5.5	25.21	43.44
	E	1.0	13.6	5.6	25.79	47.21
	C	1.0	13.5	5.7	25.42	42.45
	D	2.0	13.3	5.5	28.34	44.28
	E	2.0	13.6	5.6	28.10	48.32
	C	2.0	13.4	5.7	29.05	46.98
5	D	0.5	14.2	4.9	21.33	31.98
	E	0.5	14.6	5.2	20.46	31.67
	C	0.5	14.6	5.1	20.48	30.18
	D	1.0	14.1	5.1	23.10	37.99
	E	1.0	14.5	5.3	23.10	35.38
	C	1.0	14.5	5.4	23.34	35.93
	D	2.0	14.6	5.1	25.73	36.73
	E	2.0	14.8	5.4	24.92	34.58
	C	2.0	14.7	5.4	25.04	36.93
6	D	0.5	15.1	5.1	19.27	34.33
	E	0.5	15.2	5.3	18.67	30.81
	C	0.5	15.0	5.0	19.31	33.50
	D	1.0	14.6	5.2	21.84	38.10
	E	1.0	15.2	5.3	21.26	36.54
	C	1.0	15.0	5.3	22.39	36.39
	D	2.0	15.0	5.2	24.95	39.11
	E	2.0	14.8	5.2	24.59	39.58
	C	2.0	15.0	5.3	23.91	41.90
7	D	0.5	14.0	5.0	17.84	29.89
	E	0.5	14.6	5.2	17.61	29.71
	C	0.5	14.6	5.2	18.11	30.48
	D	1.0	13.9	5.0	21.07	35.08
	E	1.0	14.3	5.2	20.75	32.61
	C	1.0	14.5	5.2	21.32	36.10
	D	2.0	14.3	5.0	22.96	40.01
	E	2.0	14.2	5.1	24.02	37.85
	C	2.0	14.0	5.2	22.52	35.71
	D	3.0	14.1	4.9	25.88	38.47
	E	3.0	14.2	5.0	24.49	43.24
	C	3.0	14.1	4.9	25.76	43.06

Tabla 6.2 (continuación) Resultados del análisis de caída de bloques

8	D	0.5	13.6	5.3	29.79	46.54
	E	0.5	14.2	5.6	29.57	48.61
	C	0.5	13.9	5.6	30.48	47.83
	D	1.0	13.7	5.7	38.45	59.27
	E	1.0	14.1	5.9	39.71	64.45
	C	1.0	14.3	5.8	39.19	63.60
	D	2.0	13.5	5.6	43.55	65.20
	E	2.0	14.0	5.8	44.67	66.36
	C	2.0	13.9	5.9	44.25	76.50
	D	3.0	13.6	5.4	47.24	68.28
	E	3.0	13.9	5.6	48.34	72.90
	C	3.0	13.7	5.5	48.36	70.82
9	D	0.5	13.8	5.4	23.23	43.07
	E	0.5	14.0	5.6	23.77	49.14
	C	0.5	13.6	5.6	23.31	54.73
	D	1.0	13.6	5.4	29.28	52.09
	E	1.0	13.6	5.3	28.80	48.12
	C	1.0	13.8	5.6	28.11	51.98
	D	2.0	13.4	5.0	40.35	73.17
	E	2.0	13.6	5.1	38.64	62.25
	C	2.0	13.7	5.2	39.80	66.94
	D	3.0	13.3	4.9	46.12	69.60
	E	3.0	13.8	4.9	47.64	79.98
	C	3.0	13.4	4.9	45.51	72.54
10	D	0.5	13.0	4.3	16.26	48.29
	E	0.5	13.3	4.7	15.87	50.40
	C	0.5	13.0	4.5	15.21	62.73
	D	1.0	12.8	4.4	22.61	59.19
	E	1.0	13.1	4.7	21.72	67.11
	C	1.0	13.2	4.8	22.30	67.65
	D	2.0	13.4	4.7	26.80	63.10
	E	2.0	13.3	4.8	30.80	69.06
	C	2.0	13.5	4.8	28.39	66.32
	D	3.0	13.0	4.8	36.75	70.09
	E	3.0	13.4	4.9	35.44	71.93
	C	3.0	13.4	4.7	34.10	68.65
11	D	0.5	13.1	3.7	28.37	75.35
	E	0.5	12.9	4.0	30.63	75.19
	C	0.5	13.2	3.8	28.91	83.90
	D	1.0	13.3	4.1	35.25	81.58
	E	1.0	13.9	4.3	36.25	87.75
	C	1.0	14.0	4.5	36.87	87.69
	D	2.0	13.9	4.5	51.36	98.47
	E	2.0	14.2	4.7	54.22	94.31
	C	2.0	14.8	4.7	53.35	101.81
	D	3.0	14.1	4.6	55.90	100.18
	E	3.0	14.7	4.7	55.87	105.60
	C	3.0	14.7	4.6	55.72	122.92

D = Disco; E = Esfera; C = Cilindro

6.3.2.2. Cálculo de la probabilidad condicional

El software permitió estimar para cada sección el número de bloques de cada tamaño que **no pasa** por cada abscisa del talud. Por lo tanto, este número sustraído de cien corresponde al porcentaje de excedencia de una abscisa en particular. Dibujando la gráfica de probabilidad de excedencia dado que cayó un volumen V_i versus la abscisa x correspondiente, pueden dibujarse gráficas como la de la **Figura 6.2**.

Tabla 6.3 Niveles de amenaza por caída de bloques

Intervalo de probabilidad	Nivel de amenaza
$0 < P(e) < 0.05$	BAJA
$0.05 < P(e) < 0.10$	MEDIA
$0.10 < P(e) < 1.00$	ALTA

Estas gráficas representan la probabilidad condicional $P(e|V_i)$ en cada abscisa de cada sección de análisis.

6.3.2.3. Cálculo de la probabilidad absoluta de caída de bloques

Para estimar las probabilidades de desprendimiento y caída de los bloques y, finalmente, calcular la amenaza, se utilizó la zonificación por tamaño de bloques del **Plano N° 3**. Suponiendo que la amenaza es tal que la suma de las probabilidades absolutas de caída de los diferentes tamaños de bloque alcanza el valor de 1.0, es decir, $P(V_1)+P(V_2)+...+P(V_n)=1.0$, n = 4, se escogen valores de $P(V_i)$ acordes con los tamaños predominantes según la sección en análisis. Véase **Tabla 6.4**.

Tabla 6.4 Probabilidades absolutas de caída de bloques, $P(V_i)$

SECCIÓN	*P(V=0.5)*	*P(V=1.0)*	*P(V=2.0)*	*P(V=3.0)*
1	0.85	0.05	0.05	0.05
2	0.85	0.05	0.05	0.05
3	0.85	0.05	0.05	0.05
4	0.05	0.40	0.50	0.05
5	0.05	0.49	0.41	0.05
6	0.05	0.60	0.30	0.05
7	0.05	0.10	0.15	0.70
8	0.05	0.05	0.05	0.85
9	0.05	0.05	0.05	0.85
10	0.05	0.05	0.05	0.85
11	0.05	0.05	0.05	0.85

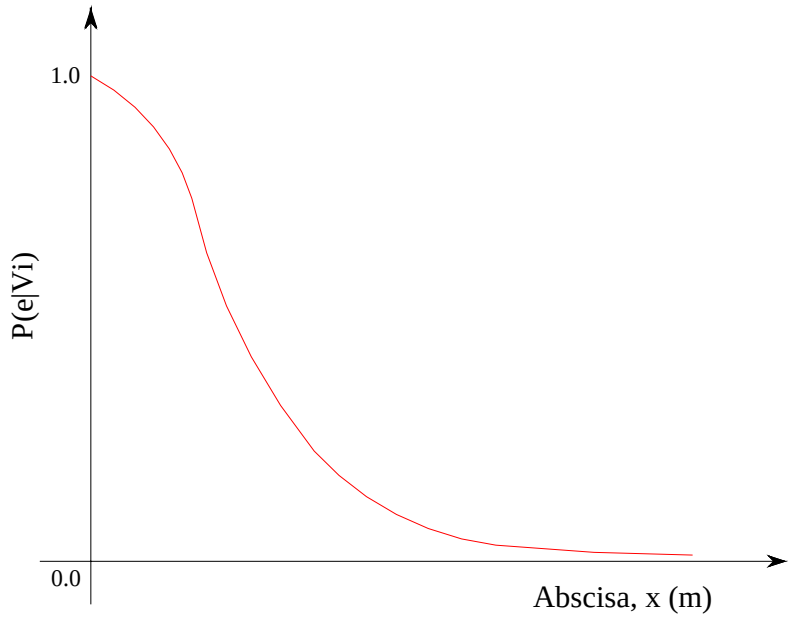
Cada ordenada $P(e|V_i)$ de las curvas del tipo de la **Figura 6.2** se multiplicó por su respectiva probabilidad absoluta *P(Vi)* y se calculó la suma de estos productos, obteniéndose otra gráfica con el mismo comportamiento, pero que representa la probabilidad total o amenaza *P(e)* para cada abscisa de la sección.

La abscisa *D*, sobre la cual se evaluó la probabilidad de excedencia para cada sección, se determinó como función de Niveles de Amenaza Bajo, Medio y Alto establecidos a partir de los intervalos de *P*(*e*) definidos en la **Tabla 6.3**. Así, el ejercicio consistió en utilizar la curva *P(e)* vs. *x* de cada sección para tomar lectura de las abscisas correspondientes a amenazas *P(e)* = 0.05 y *P(e)* = 0.10. Con los resultados obtenidos se trazaron las zonas de amenaza del **Plano N° 14**.



Figura 6.1 Envolventes de dispersión de bloques máxima y promedio

Figura 6.2 Comportamiento típico de la probabilidad de excedencia condicional vs. abscisa



6.4. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ACTUAL

6.4.1. Inventario de viviendas

Se llevó a cabo un inventario de las viviendas del área de estudio para extraer los datos que determinan el modelo de vulnerabilidad, necesario para evaluar el riesgo. El **Anexo 3** contiene el inventario total desarrollado.

Dentro de la caracterización que puede deducirse del banco de datos recopilado, las variables más importantes para la evaluación de la vulnerabilidad son:

1) Índice de Daño Actual (según DRM, pregunta 4.1), con valores entre 1 (Daños ligeros no estructurales. Estabilidad no afectada) y 5 (Derrumbe parcial o total de la estructura).
2) Tipo de vivienda (pregunta 4.4): B1 (recuperación), B2mamp (vivienda en mampostería no confinada), B2prefab (vivienda en elementos prefabricados), B3, B4 (vivienda en mampostería confinada de uno y dos pisos, respectivamente) y L.V. (lote vacío)

6.4.2. Modelo de evaluación de vulnerabilidad[1]

Se desarrolló un análisis de vulnerabilidad para determinar los posibles daños por caída de rocas en las edificaciones. El modelo adoptado se basa en el cálculo de un Índice de Vulnerabilidad Física (*IVF*), utilizando para tal efecto la metodología propuesta por Leone (1996) y modificada por Soler et al (1999) que, en general, consta de dos etapas:

[1] Adaptado de Soler (2000)

1) Clasificación de la tipología de vivienda existente
2) Cálculo de los índices de vulnerabilidad física (*IVF*) en función del tipo de movimiento, la intensidad de las solicitaciones y las características de los elementos expuestos (viviendas).

6.4.2.1. Tipificación de las viviendas

En general, la vulnerabilidad es función de la resistencia del elemento expuesto a un determinado fenómeno, caracterizado por una intensidad. Así, se obtuvo una tipificación de las construcciones (que son viviendas casi en un 100%), teniendo en cuenta los criterios de resistencia de la estructura que se relacionan en la **Tabla 6.5**.

Con base en tales criterios se decidió adoptar la técnica de Leone (1996) para tipificación de viviendas, cuya primera definición está considerada en la **Tabla 6.6**, la cual clasifica las viviendas en cuatro categorías, B1, B2, B3 y B4, en función de la calidad de sus materiales y de la construcción. Véase también el **Anexo 3**.

Tabla 6.5. Criterios de resistencia de la estructura según el tipo de solicitación

Tipo de solicitación	Modos de daño	Criterio de resistencia de la estructura
Desplazamientos laterales	Transporte Deformación Asentamientos Ruptura	Profundidad de la cimentación Arriostramiento de la estructura
Empujes laterales	Deformación Ruptura	Altura de la estructura Profundidad de la cimentación Refuerzo
Impactos	Deformación Ruptura	Refuerzo

Tabla 6.6. Tipificación de las viviendas (Leone, 1996)

Tipo	DESCRIPCIÓN
B1	Construcciones de muy mala calidad, sin fundación ni ligazón estructural, denominadas generalmente *de recuperación* , *tugurios* o *ranchos* .
B2	Construcciones de calidad regular a mala. No tienen refuerzo estructural ni fundación adecuados.
B3	Construcciones de buena calidad, realizadas con materiales tradicionales (concreto, mampostería, hierro, etc.), de hasta dos niveles.
B4	Construcciones de muy buena calidad, con refuerzo estructural y adecuada cimentación, de más de dos niveles.

6.4.2.2. Calificación de los daños

Para calificar los daños producidos en las viviendas por fenómenos de remoción en masa se siguió el criterio del Délégation aux Risques Majeurs, DRM, el cual divide los daños en cinco (5) categorías, descritas en la **Tabla 6.7**.

Tabla 6.7. Tipos de daño en edificaciones según DRM

Índice de daño	Tipo de daño	Porcentaje de daño
I	Daños ligeros no estructurales. Estabilidad no afectada.	0.0 a 10.0
II	Fisuración de paredes (muros). Reparaciones no urgentes.	20.0 a 30.0
III	Deformaciones importantes. Daños en elementos estructurales.	40.0 a 50.0
IV	Fracturación de la estructura. Evacuación inmediata.	70.0 a 80.0
V	Derrumbe parcial o total de la estructura.	90.0 a 100.0

Por otro lado, se define el porcentaje de daño o índice de pérdidas, *IP* (Leone, 1996) como:

$$IP = \frac{\left(V_i - V_f\right)}{V_i}$$

en donde:

V_i = Valor inicial del bien, antes del evento
V_f = Valor final del bien, después del evento

La evaluación de la vulnerabilidad de las viviendas se llevó a cabo a través de dos índices de daño, a saber:

1) Un Índice de daño potencial, ID_p, asociado directamente con el efecto físico o solicitación que produce el fenómeno de caída de rocas

2) Un Índice de daño actual, ID_a, asociado al estado actual de la estructura. Los daños "estructurales" de cada una de las viviendas se puede obtener de la evaluación cualitativa de expertos.

Para cuantificar los índices de daño se utiliza la valoración por conjuntos difusos de la **Figura 6.3**.

6.4.2.3. Criterios de daño para caída de rocas

El modelo consideró la relación directa entre las solicitaciones asociadas a la caída de rocas y la energía cinética de los bloques[2], véase la **Tabla 6.8**.

[2] Adaptada de Leone (1996).

Figura 6.3. Valoración de los índices de daño por conjuntos difusos (Sánchez-Silva et al, 1995)

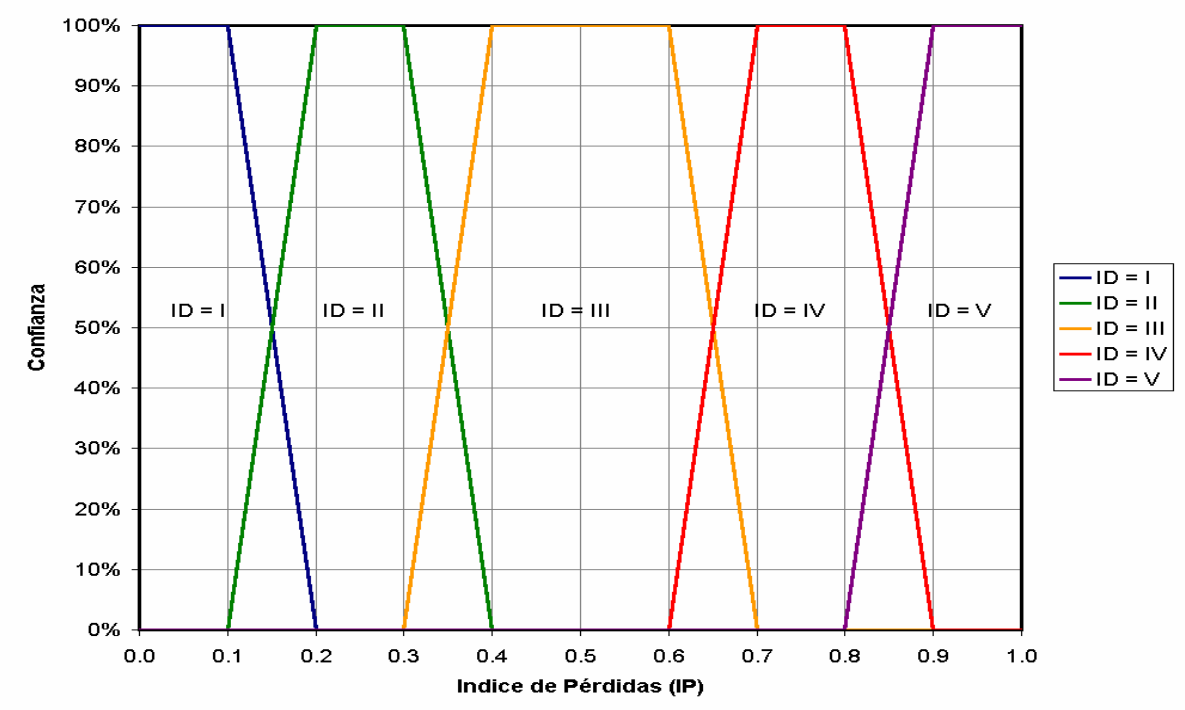


Tabla 6.8. Categorías de la energía cinética de los bloques

Intervalos de energía cinética, E_c	Categoría	Clasificación de la Solicitación
E_c < 1 kJ	Muy baja	EC5
1 kJ < E_c < 10 kJ	Baja	EC4
10 kJ < E_c < 100 kJ	Media	EC3
100 kJ < E_c < 1000 kJ	Alta	EC2
E_c > 1000 kJ	Muy Alta	EC1

6.4.2.4. Matriz de daño

Los Índices de daño potencial, ID_p, ocasionados por un evento dado se relacionan con la magnitud de la solicitación y con la tipología de la vivienda (que representa la resistencia del elemento expuesto) a través de la matriz de daño de la **Tabla 6.9**.

6.4.2.5. Cálculo del Índice de Vulnerabilidad Física, IVF

La evaluación de la vulnerabilidad está dada como la probabilidad de daño debido al fenómeno dado bajo una condición o predisposición del elemento expuesto. Así, el Índice de Vulnerabilidad Física, *IVF* puede expresarse como sigue:

$$IVF = P\,(\,IP_a \cup IP_p\,) = IP_a + IP_p - IP_a \times IP_p$$

Tabla 6.9. Matriz de solicitaciones

		Tipología de vivienda			
		B1	**B2**	**B3**	**B4**
Solicitación por impacto	**EC1**	V	V	V	IV
	EC2	V	V	IV	III
	EC3	V	IV	III	II
	EC4	IV	III	II	I
	EC5	III	II	II	I

6.4.2.6. Categorización de la vulnerabilidad

En función del Índice de Vulnerabilidad Física, *IVF*, se pueden establecer los niveles de vulnerabilidad de la **Tabla 6.10**.

Tabla 6.10 Categorización de la vulnerabilidad

CRITERIO	CATEGORIA
IVF promedio ≥ 0.65	Alta
0.35 ≤ *IVF* promedio < 0.65	Media
IVF promedio < 0.35	Baja

Al aplicar la anterior técnica al caso del Barrio San Rafael, se obtiene la **Tabla 6.11**, en donde cada predio termina por ser clasificado en una de las categorías de vulnerabilidad anteriores.

La información de la **Tabla 6.11** corresponde al **Plano N° 15**.

6.5. EVALUACIÓN DEL RIESGO ACTUAL

6.5.1. Metodología

El riesgo (económico, social o ambiental, según sea el sector que el usuario represente) se puede estimar mediante el modelo dinámico de tipo integral para un espacio Ω (Rivera, 2001), formulado mediante la siguiente expresión:

$$R_{E,S,A} = \int P(e)p(E,S,A)d\Omega$$

en donde:

$R_{E,S,A}$ = riesgo económico, social o ambiental
$P(e)$ = amenaza
$p(E,S,A)$ = pérdida en el sector económico, social o ambiental, que se relaciona con el evento natural que se predice; es la vulnerabilidad, *V*, formalmente denominada

Tabla 6.11 Evaluación de la vulnerabilidad actual en la zona de estudio

ID	Mz	LOTE	TIPOLOGÍA	ID_{actual}	AMENAZA		VULNERABILIDAD ACTUAL				VULNERABILIDAD POTENCIAL				
					Ec	*P (e)*	*a*	*b*	*c*	*d*	$ID_{potencial}$	*a*	*b*	*c*	*d*
1	1	1	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
2	1	3	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
3	2	10	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
4	2	11	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
5	2	12	B3	3	EC2	0.00	0.30	0.40	0.60	0.70	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
6	2	14	B3	2	EC2	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
7	3	18	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
8	3	19	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
9	3	20	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
10	4	2	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
11	4	8	B3	2	EC2	0.28	0.10	0.20	0.30	0.40	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
12	4	10	B3	1	EC2	0.18	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
13	4	12	B1	1	EC2	0.36	0.00	0.00	0.10	0.20	5.00	0.80	0.90	1.00	1.00
14	4	14	B3	1	EC2	0.36	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
15	4	16	B3	1	EC2	0.05	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
16	4	17	B2	1	EC2	0.28	0.00	0.00	0.10	0.20	4.00	0.60	0.70	0.80	0.90
17	4	18	B1	1	EC2	0.28	0.00	0.00	0.10	0.20	5.00	0.80	0.90	1.00	1.00
18	4	19	B1	1	EC2	0.28	0.00	0.00	0.10	0.20	5.00	0.80	0.90	1.00	1.00
19	4	20	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
20	4	21	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
21	4	22	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
22	4	23	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
23	5	1	B3	1	EC2	0.88	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
24	5	2	B3	1	EC2	0.88	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
25	5	3	B3	1	EC2	0.88	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
26	5	4	B3	1	EC2	0.88	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
27	5	5	B2	1	EC2	0.88	0.00	0.00	0.10	0.20	4.00	0.60	0.70	0.80	0.90
28	5	6	B1	1	EC2	0.88	0.00	0.00	0.10	0.20	5.00	0.80	0.90	1.00	1.00
29	5	8	B1	1	EC2	0.80	0.00	0.00	0.10	0.20	5.00	0.80	0.90	1.00	1.00
30	5	9	B3	1	EC2	0.80	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
31	5	10	B2	1	EC2	0.80	0.00	0.00	0.10	0.20	4.00	0.60	0.70	0.80	0.90
32	5	13	B3	1	EC2	0.80	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
33	5	15	B1	1	EC2	0.58	0.00	0.00	0.10	0.20	5.00	0.80	0.90	1.00	1.00
34	5	16	B3	3	EC2	0.58	0.30	0.40	0.60	0.70	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
35	5	17	B3	1	EC2	0.58	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
36	5	18	B3	1	EC2	0.80	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
37	6	11	B2	1	EC2	0.58	0.00	0.00	0.10	0.20	4.00	0.60	0.70	0.80	0.90
38	6	13	B3	1	EC2	0.58	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
39	6	14	B3	1	EC2	0.58	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
40	6	15	B3	1	EC2	0.58	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
41	6	16	B1	1	EC2	0.57	0.00	0.00	0.10	0.20	5.00	0.80	0.90	1.00	1.00
42	6	17	B3	1	EC2	0.57	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
43	6	18	B3	1	EC2	0.57	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
44	6	19	B3	1	EC2	0.58	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
45	6	20	B3	1	EC2	0.58	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
46	6	21	B2	1	EC2	0.58	0.00	0.00	0.10	0.20	4.00	0.60	0.70	0.80	0.90
47	6	22	B3	1	EC2	0.58	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
48	6	23	B3	1	EC2	0.58	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
49	6	24	B3	1	EC2	0.58	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
50	6	25	B3	1	EC2	0.58	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
51	6	26	B3	1	EC2	0.58	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70

Tabla 6.11 Evaluación de la vulnerabilidad actual en la zona de estudio (continuación)

ID	Mz	LOTE	VULNERABILIDAD FISICA				A_1	A_2	A_3	A	IVF		CATEGORIZACIÓN DE IVF			
			a	*b*	*c*	*d*					Centroide	Prom max	Alto	Medio	Bajo	Categoría
1	1	1	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
2	1	3	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
3	2	10	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
4	2	11	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
5	2	12	0.51	0.64	0.84	0.91	0.07	0.20	0.04	0.30	0.72	0.74	0.75	0.25	0.00	**A**
6	2	14	0.37	0.52	0.72	0.82	0.08	0.20	0.05	0.33	0.61	0.62	0.37	0.63	0.00	**M**
7	3	18	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
8	3	19	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
9	3	20	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
10	4	2	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
11	4	8	0.37	0.52	0.72	0.82	0.08	0.20	0.05	0.33	0.61	0.62	0.37	0.63	0.00	**M**
12	4	10	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
13	4	12	0.80	0.90	1.00	1.00	0.05	0.10	0.00	0.15	0.92	0.95	1.00	0.00	0.00	**A**
14	4	14	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
15	4	16	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
16	4	17	0.60	0.70	0.82	0.92	0.05	0.12	0.05	0.22	0.76	0.76	0.94	0.06	0.00	**A**
17	4	18	0.80	0.90	1.00	1.00	0.05	0.10	0.00	0.15	0.92	0.95	1.00	0.00	0.00	**A**
18	4	19	0.80	0.90	1.00	1.00	0.05	0.10	0.00	0.15	0.92	0.95	1.00	0.00	0.00	**A**
19	4	20	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
20	4	21	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
21	4	22	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
22	4	23	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
23	5	1	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
24	5	2	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
25	5	3	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
26	5	4	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
27	5	5	0.60	0.70	0.82	0.92	0.05	0.12	0.05	0.22	0.76	0.76	0.94	0.06	0.00	**A**
28	5	6	0.80	0.90	1.00	1.00	0.05	0.10	0.00	0.15	0.92	0.95	1.00	0.00	0.00	**A**
29	5	8	0.80	0.90	1.00	1.00	0.05	0.10	0.00	0.15	0.92	0.95	1.00	0.00	0.00	**A**
30	5	9	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
31	5	10	0.60	0.70	0.82	0.92	0.05	0.12	0.05	0.22	0.76	0.76	0.94	0.06	0.00	**A**
32	5	13	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
33	5	15	0.80	0.90	1.00	1.00	0.05	0.10	0.00	0.15	0.92	0.95	1.00	0.00	0.00	**A**
34	5	16	0.51	0.64	0.84	0.91	0.07	0.20	0.04	0.30	0.72	0.74	0.75	0.25	0.00	**A**
35	5	17	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
36	5	18	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
37	6	11	0.60	0.70	0.82	0.92	0.05	0.12	0.05	0.22	0.76	0.76	0.94	0.06	0.00	**A**
38	6	13	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
39	6	14	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
40	6	15	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
41	6	16	0.80	0.90	1.00	1.00	0.05	0.10	0.00	0.15	0.92	0.95	1.00	0.00	0.00	**A**
42	6	17	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
43	6	18	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
44	6	19	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
45	6	20	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
46	6	21	0.60	0.70	0.82	0.92	0.05	0.12	0.05	0.22	0.76	0.76	0.94	0.06	0.00	**A**
47	6	22	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
48	6	23	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
49	6	24	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
50	6	25	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
51	6	26	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**

Cada vivienda se encuentra en un área aferente de una sección de análisis (1 a 11), de modo que, con base en éstas pudo obtenerse información sobre amenaza y energía previsible de los bloques. Una vez obtenida la amenaza y la vulnerabilidad para cada predio, se puede estimar el riesgo físico individual definiendo un índice de riesgo, *IR*, como sigue:

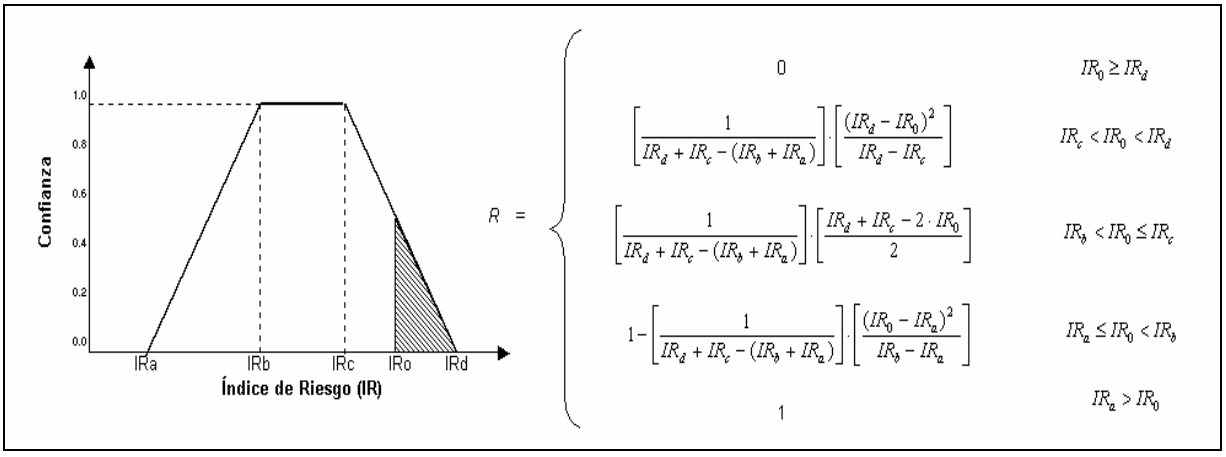
$$IR = P_f \times IVF$$

Teniendo en cuenta que la amenaza se define como la probabilidad de ocurrencia del fenómeno y la vulnerabilidad como un índice de pérdidas, representado como un conjunto difuso, el índice de riesgo también es un conjunto difuso que, para el caso de conjuntos difusos trapezoidales, se puede representar por la función ilustrada en la **Figura 6.4**.

Una vez calculado el índice de riesgo como una variable difusa, se puede calcular el riesgo, *R*, como la probabilidad de excedencia de las pérdidas de un valor dado:

$$R = \frac{\int_{IR_0}^{\infty} Z\,dz}{\int_{-\infty}^{\infty} Z\,dz} \qquad Z \equiv IR$$

Figura 6.4. Índice de riesgo, *IR*, representado mediante conjuntos difusos



6.5.2. Categorización del riesgo

Para interpretar los resultados que se obtuvieron con la metodología propuesta, se propuso una categorización del riesgo, de acuerdo con la **Tabla 6.12**.

Tabla 6.12. Categorización del riesgo por vivienda

Riesgo	Categoría del riesgo
R > 30.0%	Alta
10.0% < R < 30.0%	Media
R < 10.0%	Baja

La evaluación del riesgo en la zona de estudio se observa en la **Tabla 6.13**.

El riesgo actual está zonificado en el **Plano N° 16**.

Tabla 6.13 Evaluación del riesgo actual en la zona de estudio

ID	Mz	LOTE	RIESGO FÍSICO								*IRF*		CATEGORIZACIÓN DE *IRF*			
			a	*b*	*c*	*d*	A_1	A_2	A_3	*A*	Centroide	Prom max	Alto	Medio	Bajo	Categoría
1	1	1	0.21	0.28	0.45	0.53	0.04	0.17	0.04	0.25	0.37	0.36	0.78	0.22	0.00	**A**
2	1	3	0.15	0.20	0.32	0.38	0.03	0.12	0.03	0.18	0.26	0.26	0.29	0.71	0.00	**M**
3	2	10	0.02	0.02	0.03	0.04	0.00	0.01	0.00	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	1.00	**B**
4	2	11	0.02	0.02	0.03	0.04	0.00	0.01	0.00	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	1.00	**B**
5	2	12	0.05	0.06	0.08	0.09	0.01	0.02	0.00	0.03	0.07	0.07	0.00	0.00	1.00	**B**
6	2	14	0.19	0.26	0.36	0.41	0.04	0.10	0.03	0.16	0.30	0.31	0.52	0.48	0.00	**A**
7	3	18	0.03	0.04	0.06	0.08	0.01	0.02	0.01	0.04	0.05	0.05	0.00	0.00	1.00	**B**
8	3	19	0.03	0.04	0.06	0.08	0.01	0.02	0.01	0.04	0.05	0.05	0.00	0.00	1.00	**B**
9	3	20	0.02	0.02	0.03	0.04	0.00	0.01	0.00	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	1.00	**B**
10	4	2	0.02	0.02	0.03	0.04	0.00	0.01	0.00	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	1.00	**B**
11	4	8	0.02	0.03	0.04	0.04	0.00	0.01	0.00	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	1.00	**B**
12	4	10	0.03	0.04	0.06	0.08	0.01	0.02	0.01	0.04	0.05	0.05	0.00	0.00	1.00	**B**
13	4	12	0.08	0.09	0.10	0.10	0.01	0.01	0.00	0.02	0.09	0.10	0.00	0.00	1.00	**B**
14	4	14	0.02	0.02	0.03	0.04	0.00	0.01	0.00	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	1.00	**B**
15	4	16	0.02	0.02	0.03	0.04	0.00	0.01	0.00	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	1.00	**B**
16	4	17	0.03	0.04	0.04	0.05	0.00	0.01	0.00	0.01	0.04	0.04	0.00	0.00	1.00	**B**
17	4	18	0.04	0.05	0.05	0.05	0.00	0.01	0.00	0.01	0.05	0.05	0.00	0.00	1.00	**B**
18	4	19	0.04	0.05	0.05	0.05	0.00	0.01	0.00	0.01	0.05	0.05	0.00	0.00	1.00	**B**
19	4	20	0.02	0.02	0.03	0.04	0.00	0.01	0.00	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	1.00	**B**
20	4	21	0.02	0.02	0.03	0.04	0.00	0.01	0.00	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	1.00	**B**
21	4	22	0.02	0.02	0.03	0.04	0.00	0.01	0.00	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	1.00	**B**
22	4	23	0.02	0.02	0.03	0.04	0.00	0.01	0.00	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	1.00	**B**
23	5	1	0.02	0.02	0.03	0.04	0.00	0.01	0.00	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	1.00	**B**
24	5	2	0.03	0.04	0.06	0.08	0.01	0.02	0.01	0.04	0.05	0.05	0.00	0.00	1.00	**B**
25	5	3	0.09	0.12	0.19	0.23	0.02	0.07	0.02	0.11	0.16	0.16	0.00	0.98	0.02	**M**
26	5	4	0.15	0.20	0.32	0.38	0.03	0.12	0.03	0.18	0.26	0.26	0.29	0.71	0.00	**M**
27	5	5	0.30	0.35	0.41	0.46	0.03	0.06	0.03	0.11	0.38	0.38	1.00	0.00	0.00	**A**
28	5	6	0.24	0.27	0.30	0.30	0.02	0.03	0.00	0.05	0.28	0.29	0.00	1.00	0.00	**M**
29	5	8	0.24	0.27	0.30	0.30	0.02	0.03	0.00	0.05	0.28	0.29	0.00	1.00	0.00	**M**
30	5	9	0.09	0.12	0.19	0.23	0.02	0.07	0.02	0.11	0.16	0.16	0.00	0.98	0.02	**M**
31	5	10	0.06	0.07	0.08	0.09	0.01	0.01	0.01	0.02	0.08	0.08	0.00	0.00	1.00	**B**
32	5	13	0.02	0.02	0.03	0.04	0.00	0.01	0.00	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	1.00	**B**
33	5	15	0.04	0.05	0.05	0.05	0.00	0.01	0.00	0.01	0.05	0.05	0.00	0.00	1.00	**B**
34	5	16	0.03	0.03	0.04	0.05	0.00	0.01	0.00	0.02	0.04	0.04	0.00	0.00	1.00	**B**
35	5	17	0.02	0.02	0.03	0.04	0.00	0.01	0.00	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	1.00	**B**
36	5	18	0.02	0.02	0.03	0.04	0.00	0.01	0.00	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	1.00	**B**
37	6	11	0.30	0.35	0.41	0.46	0.03	0.06	0.03	0.11	0.38	0.38	1.00	0.00	0.00	**A**
38	6	13	0.03	0.04	0.06	0.08	0.01	0.02	0.01	0.04	0.05	0.05	0.00	0.00	1.00	**B**
39	6	14	0.03	0.04	0.06	0.08	0.01	0.02	0.01	0.04	0.05	0.05	0.00	0.00	1.00	**B**
40	6	15	0.02	0.02	0.03	0.04	0.00	0.01	0.00	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	1.00	**B**
41	6	16	0.04	0.05	0.05	0.05	0.00	0.01	0.00	0.01	0.05	0.05	0.00	0.00	1.00	**B**
42	6	17	0.02	0.02	0.03	0.04	0.00	0.01	0.00	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	1.00	**B**
43	6	18	0.02	0.02	0.03	0.04	0.00	0.01	0.00	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	1.00	**B**
44	6	19	0.02	0.02	0.03	0.04	0.00	0.01	0.00	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	1.00	**B**
45	6	20	0.02	0.02	0.03	0.04	0.00	0.01	0.00	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	1.00	**B**
46	6	21	0.03	0.04	0.04	0.05	0.00	0.01	0.00	0.01	0.04	0.04	0.00	0.00	1.00	**B**
47	6	22	0.02	0.02	0.03	0.04	0.00	0.01	0.00	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	1.00	**B**
48	6	23	0.02	0.02	0.03	0.04	0.00	0.01	0.00	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	1.00	**B**
49	6	24	0.03	0.04	0.06	0.08	0.01	0.02	0.01	0.04	0.05	0.05	0.00	0.00	1.00	**B**
50	6	25	0.09	0.12	0.19	0.23	0.02	0.07	0.02	0.11	0.16	0.16	0.00	0.98	0.02	**M**
51	6	26	0.15	0.20	0.32	0.38	0.03	0.12	0.03	0.18	0.26	0.26	0.29	0.71	0.00	**M**

7. ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN

Para mitigar el riesgo que existe sobre las viviendas en la zona de estudio se plantearon soluciones que intervendrían el talud hasta el punto de contemplar la modificación de la morfología, el diseño de obras de protección y la reubicación de predios, entre otros.

Con base en los análisis de caída de bloques bajo condiciones actuales y en particular con base en la **Figura 6.1**, la cual muestra los alcances horizontales máximos que los bloques pueden desarrollar al desprenderse, se proponen cinco alternativas *seguras* de solución (véanse **Plano N° 6** a **Plano N° 13**):

1) Reubicación de predios, sin alterar el talud
2) Remoción de los bloques que inducen el riesgo
3) Construcción de zanjas perimetrales con o sin terraplén
4) Construcción de una barrera de protección
5) Construcción de un muro en gavión

7.1. ALTERNATIVA 1: REUBICACIÓN DE PREDIOS

Como primera opción, se puede pensar en convivir con el problema y alejar a la población amenazada de la zona en la cual hay susceptibilidad de afectación por bloques, estableciendo un cordón límite por dentro del cual se debe prohibir la habitabilidad, la construcción de nuevas edificaciones y la compra o venta de lotes. A la fecha de elaboración del presente estudio, FOPAE inició ya el programa de reubicación de familias; sin embargo, como se concluirá adelante, el área a desocupar puede ser significativamente mayor.

Para establecer dicho cordón, se partió de la **Figura 6.1**, la cual muestra un límite por dispersión de bloques desprendidos obtenido del análisis del **Capítulo 6**. Considerando un factor de seguridad de 1.3 para todas las distancias máximas de viaje que se estimaron, puede trazarse el límite de la **Figura 7.1**, el cual, ya calibrado como cordón de seguridad aparece en color rojo, y en el **Plano N° 6**.

A la luz de esta alternativa, el consultor recomienda reubicar los predios que aún permanecen habitados de las Manzanas 2 a 6 y las Manzanas ubicadas justo al norte de la Manzana 5 y justo al este de la Manzana 6. El número total de predios a reubicar es de 113, sumando construidos y vacíos.

Las cantidades de obra y presupuesto de esta alternativa están calculados en la **Tabla 7.1** y en la **Tabla 7.2**.

7.2. ALTERNATIVA 2: REMOCIÓN DE LOS BLOQUES QUE INDUCEN EL RIESGO

La segunda alternativa que reduciría la amenaza por caída de bloques consiste en remover la fuente del problema con maquinaria y asegurar su disposición en un sitio de baja energía potencial con respecto a zonas habitadas.

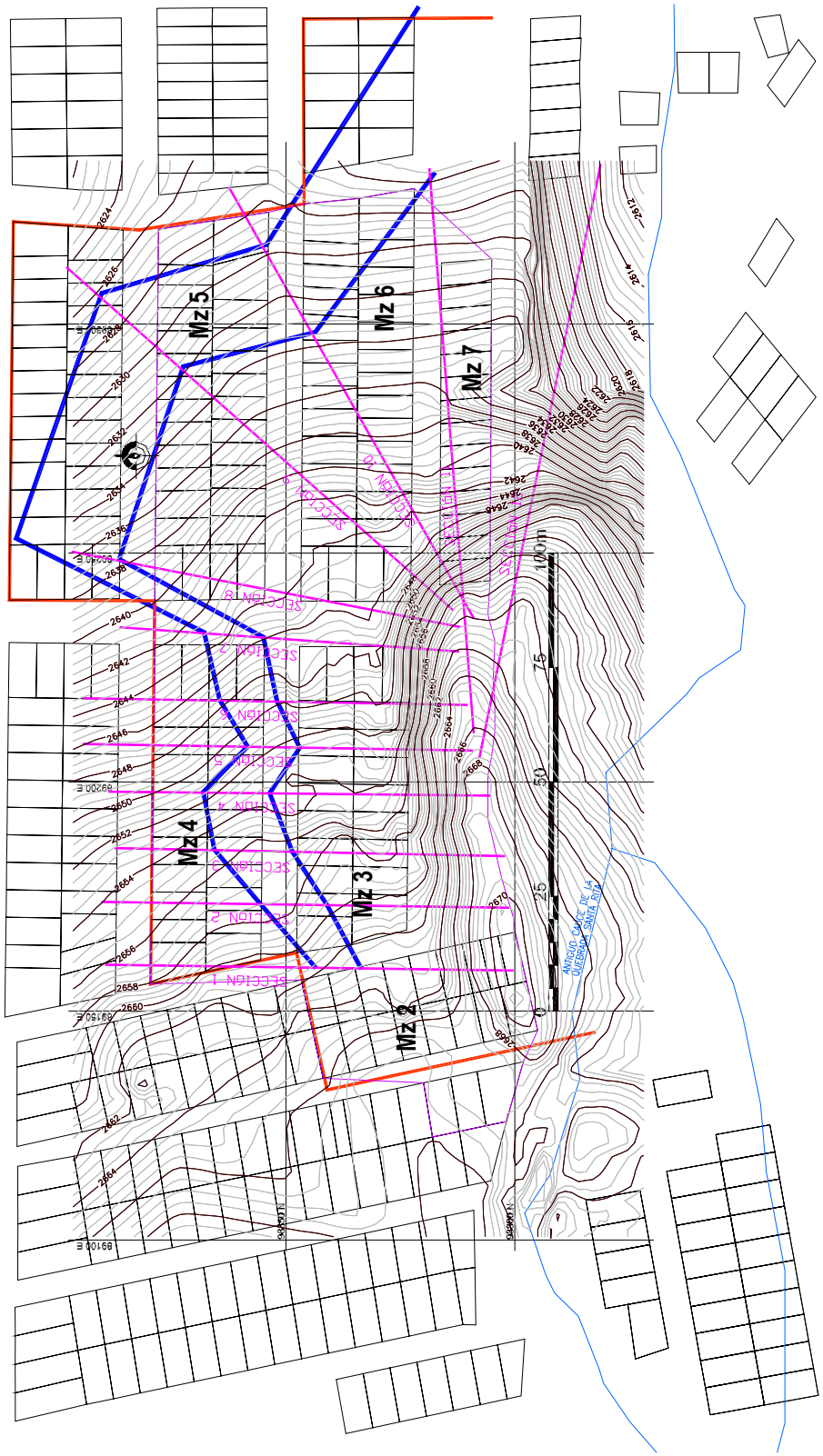


Figura 7.1 Alternativa de mitigación 1. Reubicación de predios. Las líneas azules corresponden a las envolventes de dispersión de bloques desprendidos máxima y máxima con un factor de seguridad de 1.3. La línea roja es el cordón de seguridad propuesto, dentro del cual no deben existir predios para uso habitacional

Tabla 7.1 Cantidades de obra. Alternativa 1: Reubicación de predios

1	2	3	4

ALTERNATIVA 1: REUBICACIÓN DE PREDIOS

ADECUACIÓN DE LOTES REUBICADOS

113	1		
		113	**UN - TOTAL DE LOTES A ADECUAR**

PROCESO DE ADQUISICIÓN DE PREDIOS

Número de predios vacíos

23	1		
		23	**UN - TOTAL DE PREDIOS VACÍOS**

Cálculo del precio global de adquisición de predios

ID	Mz	LOTE	N° PISOS	PRECIO ($)	TIPO	Precios por un (1) piso ($)			PRECIOS PARA PRESUPUESTO ($)
						Tipo B3	Tipo B1	Tipo B2prefab	
1	1	1	1		B3				18,642,857
2	1	3	1		B3				18,642,857
3	2	10	1		B3				18,642,857
4	2	11	1		B3				18,642,857
5	2	12	2	22,000,000	B3	11,000,000			22,000,000
6	2	14	1	8,000,000	B3	8,000,000			8,000,000
7	3	18	1	23,000,000	B3	23,000,000			23,000,000
8	3	19	1		B3				18,642,857
9	3	20	1		B3				18,642,857
10	4	2	1	15,000,000	B3	15,000,000			15,000,000
11	4	8	1	20,000,000	B3	20,000,000			20,000,000
12	4	10	2	20,000,000	B3	10,000,000			20,000,000
13	4	12	1	5,000,000	B1		5,000,000		5,000,000
14	4	14	1		B3				18,642,857
15	4	16	1		B3				18,642,857
16	4	17	1	8,000,000	B2prefab			8,000,000	8,000,000
17	4	18	1		B1				8,000,000
18	4	19	1	4,000,000	B1		4,000,000		4,000,000
19	4	20	2		B3				37,285,714
20	4	21	1		B3				18,642,857
21	4	22	2	25,000,000	B3	12,500,000			25,000,000
22	4	23	1		B3				18,642,857
23	5	1	1	20,000,000	B3	20,000,000			20,000,000
24	5	2	2		B3				37,285,714
25	5	3	1		B3				18,642,857
26	5	4	1	12,000,000	B3	12,000,000			12,000,000
27	5	5	1	15,000,000	B2mamp				15,000,000
28	5	6	1		B1				8,000,000
29	5	8	1		B1				8,000,000
30	5	9	1	30,000,000	B3	30,000,000			30,000,000
31	5	10	1	18,000,000	B2prefab			18,000,000	18,000,000
32	5	13	1	25,000,000	B3	25,000,000			25,000,000
33	5	15	1		B1				8,000,000
34	5	16	2	35,000,000	B3	17,500,000			35,000,000
35	5	17	2	32,000,000	B3	16,000,000			32,000,000
36	5	18	2		B3				37,285,714
37	6	11	1	12,000,000	B2prefab			12,000,000	12,000,000
38	6	13	2	25,000,000	B3	12,500,000			25,000,000
39	6	14	1	25,000,000	B3	25,000,000			25,000,000
40	6	15	1	20,000,000	B3	20,000,000			20,000,000
41	6	16	1	15,000,000	B1		15,000,000		15,000,000
42	6	17	1	18,000,000	B3	18,000,000			18,000,000
43	6	18	1		B3				18,642,857
44	6	19	1		B3				18,642,857
45	6	20	2		B3				37,285,714
46	6	21	1		B2prefab				12,666,667
47	6	22	2	40,000,000	B3	20,000,000			40,000,000
48	6	23	1	40,000,000	B3	40,000,000			40,000,000
49	6	24	2		B3				37,285,714
50	6	25	1	26,000,000	B3	26,000,000			26,000,000
51	6	26	1	10,000,000	B3	10,000,000			10,000,000
Precio predios no censados (39) con base en el promedio para un (1) piso tipo B3:									727,071,429

Precios promedio para un (1) piso: $ 18,642,857 $ 8,000,000 $ 12,666,667

SUMA TOTAL: **$ 1,768,523,810**

Tabla 7.2 Presupuesto de obra. Alternativa 1: Reubicación de predios

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ D.C.

UT KANYU

CONSULTORÍA PARA LA EJECUCIÓN DEL ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN Y CONTROL EN EL BARRIO SAN RAFAEL, DE LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.

PRESUPUESTO DE OBRA - ALTERNATIVA 1: REUBICACIÓN DE PREDIOS

ITEM	GRUPO DE OBRA	DESCRIPCIÓN	UN	TOTAL PRECIO UNIT.	CANTIDAD	VALOR TOTAL
1	**PRELIMINARES**					
	1.1	LOCALIZACION Y REPLANTEO	GL	$ 800,000	1.0	$ 800,000
	1.2	ADECUACIÓN DE LOTES REUBICADOS	UN	$ 60,000	113	$ 6,780,000
				TOTAL		**$ 7,580,000**
2	**PROCESO DE ADQUISICIÓN DE PREDIOS**					
	2.1	ADQUISICIÓN DE PREDIOS HABITADOS	GL	$ 1,768,523,809.52	1.0	$ 1,768,523,810
	2.2	ADQUISICIÓN DE PREDIOS VACÍOS	Un	$ 5,000,000.00	23	$ 115,000,000
				TOTAL		**$ 1,883,523,810**
		VALOR TOTAL DE LA OBRA SIN IVA				**$ 1,891,103,810**

A.I.U. (25%) $ 472,775,952.38

VALOR TOTAL DE LA OBRA	**$ 2,363,879,762**

Se recomienda que el trabajo se realice basándose en la zonificación por volúmenes de bloque del **Plano Nº 3** ya que son estos los elementos más masivos. Así mismo, se recomienda llevar el material al botadero de Cantarana en Usme, por ser el más cercano y adecuado. De acuerdo a la inspección en campo, puede considerarse que hay un 30.0% de material que debe cortarse y un 70.0% lo suficientemente suelto como para solamente tener que removerlo y transportarlo con los equipos adecuados.

De acuerdo a los rendimientos esperados de los equipos, se prevé que la obra sea ejecutada en unos 60 días. Cantidades de obra y presupuesto figuran en la **Tabla 7.3** y en la **Tabla 7.4**.

7.3. ALTERNATIVA 3: ZANJAS PERIMETRALES CON O SIN TERRAPLÉN

Dado que la reubicación implica un área de desalojo muy amplia, se propone la construcción de una zanja perimetral que atrape los bloques sueltos en descenso, la cual, de ser necesario, podría estar acompañada de un terraplén del mismo material excavado.

Para hallar un diseño de zanja o zanja y terraplén *óptimo* en términos de mitigación de la amenaza, se compararon cuatro sub-alternativas, dimensionadas según la **Tabla 7.5**. Ver, además, **Plano N° 7** a **Plano N° 11**. Como se aclarará en el **Capítulo 8**, una de las opciones de zanja mitiga la amenaza lo suficiente como para tenerla en cuenta formalmente como la alternativa 3.

Es claro que, como factores en contra de esta alternativa figuran el peligro de que se cree una zona de botadero de residuos sólidos urbanos; sin embargo, es una opción tecnológicamente viable y de relativamente corto tiempo de construcción, lo cual la puede volver atractiva.

Tabla 7.3 Cantidades de obra. Alternativa 2: Remoción de bloques

1	2	3	4
ALTERNATIVA 2: REMOCIÓN DE BLOQUES			
REMOCIÓN MATERIAL ROCOSO Y TRANSPORTE A BOTADERO			
1	759.4 5.00		Área en planta de bloques a remover = = 170.9+184.3+224.8+157.6+21.8 = 759.4 M2
		3797.0	**M3 - TOTAL REMOCIÓN**
			Se considera que se requiere remoción sin corte en un 70% y remoción con corte en roca en un 30%.

Tabla 7.4 Presupuesto de obra. Alternativa 2: Remoción de bloques

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ D.C.

UT KANYU

CONSULTORÍA PARA LA EJECUCIÓN DEL ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN Y CONTROL EN EL BARRIO SAN RAFAEL, DE LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.

PRESUPUESTO DE OBRA - ALTERNATIVA 2: REMOCIÓN DE BLOQUES QUE INDUCEN RIESGO

ITEM	GRUPO DE OBRA	DESCRIPCIÓN	UN	TOTAL PRECIO UNIT.	CANTIDAD	VALOR TOTAL
1	**PRELIMINARES**					
	1.1	LOCALIZACION Y REPLANTEO	GL	$ 800,000	1.0	$ 800,000
				TOTAL		**$ 800,000**
2	**EXCAVACIONES Y CORTES**					
	2.1	REMOCIÓN DE MATERIAL ROCOSO Y TRANSPORTE A BOTADERO	m³	$ 20,750	3797.0	$ 78,787,750
	2.2	CORTE EN ROCA	m³	$ 126,429	1139.1	$ 144,014,786
				TOTAL		**$ 222,802,536**
		VALOR TOTAL DE LA OBRA SIN IVA				**$ 223,602,536**

A.I.U. (25%) $ 55,900,633.93

VALOR TOTAL DE LA OBRA	**$ 279,503,170**

Tabla 7.5 Sub-alternativas de zanja perimetral

Sub-alternativa Nº	Geometría de la Zanja			Geometría del terraplén		
	Base menor (m)	Profundidad (m)	Taludes	Base menor (m)	Altura (m)	Taludes
1	2.00	2.00	1.0H:1.0V	3.00	1.50	1.5H:1.0V
2	2.00	2.00	1.0H:1.0V	3.00	1.50	1.5H:1.0V
3	3.00	2.00	1.0H:1.0V	3.00	1.50	1.5H:1.0V
4	3.00	2.00	1.0H:1.0V	3.00	1.50	1.5H:1.0V

Tabla 7.6 Cantidades de obra. Alternativa 3: Zanja y terraplén

1	2	3	4

ALTERNATIVA 3: ZANJA Y TERRAPLÉN

EXCAVACIÓN MATERIAL COMÚN

AREA DE EXCAVACIÓN	ÁREA DE RELLENO	ETIQUETA	DISTANCIA ENTRE SECCIONES	ÁNGULO	AREA EXCAVACIÓN CORREGIDA	AREA RELLENO CORREGIDA	VOLUMEN EXCAVACIÓN	VOLUMEN RELLENO
50.1	9.2	Inicio-1	21.18	0	50.1	9.2	946.6	174.0
50.1	9.2	1-2	17.2	38.0	39.5	7.3	695.1	120.4
41.3	6.8	2-3	11.5	0.0	41.3	6.8	542.3	43.6
53.2	1.5	3-4	12.8	0.0	53.2	1.5	481.9	44.5
24.0	6.0	4-5	10.0	0.0	24.0	6.0	270.7	33.1
30.3	1.2	5-6	11.8	0.0	30.3	1.2	285.1	46.5
18.5	7.6	6-7	13.1	0.0	18.5	7.6	229.6	105.9
16.6	8.6	7-8	8.2	3.0	16.5	8.6	131.0	88.4
15.7	13.3	8-9	18.0	10.0	15.4	13.1	498.6	271.9
55.0	22.4	9-10	15.4	40.0	42.2	17.2	727.3	209.2
52.8	10.3	10-11	13.8	6.0	52.5	10.3	948.1	67.4
100.6	1.2	11-Fin	9.2	31.0	86.2	1.1	861.1	10.6
100.6	1.2				100.6	1.2		
						TOTALES	**6617.4**	**1215.6**

1	6617.4		
		6617.4	**M3 - TOTAL DE EXCAVACION**

TERRAPLÉN EN MATERIAL EXCAVADO

			Factor de reducción de volumen por compactación = 1.3
1	1215.6		
		1215.6	**M3 - TOTAL DE TERRAPLÉN**

TRANSPORTE A BOTADERO MATERIAL SOBRANTE

1	6617.4		
		6617.4	M3 - TOTAL DE EXCAVACION
1			
1.3	1215.6		
		1580.3	Restar M3 - TOTAL DE RELLENO MATERIAL
		5037.1	M3 - TOTAL DE MATERIAL SOBRANTE
10	5037.1		
		50371.2	**M3-km - TOTAL DE MATERIAL SOBRANTE**

BIOMANTO DE PROTECCIÓN ECOMATRIX

1	4490.0		
		4490.0	**M2 - TOTAL DE BIOMANTO DE PROTECCIÓN**

Las superficies reconstituidas por la obra, es decir la zanja, el terraplén y los taludes de acceso serán protegidas con biomanto Ecomatrix.

La zanja es en sí misma la obra de drenaje. Debido a su pendiente, mayor al 30.0%, se planeó un descole escalonado en piedra pegada con caídas de 1.15 m de altura, el cual descarga las aguas a la Quebrada Santa Rita.

Las cantidades de obra y presupuesto de esta alternativa para el caso de zanja de 3.00 m y terraplén de 1.50 m están calculados en la **Tabla 7.6** y en la **Tabla 7.7**. Esta solución puede ser construida en menos de 30 días.

Tabla 7.7 Presupuesto de obra. Alternativa 3: Zanja y terraplén

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ D.C.

UT KANYU

CONSULTORÍA PARA LA EJECUCIÓN DEL ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN Y CONTROL EN EL BARRIO SAN RAFAEL, DE LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.

PRESUPUESTO DE OBRA - ALTERNATIVA 3: ZANJA 3.00 m - H = 2.00 m - T:1:1 Y TERRAPLÉN 1.5H:1.0V - H = 1.50 m - B = 3.00 m

ÍTEM	GRUPO DE OBRA	DESCRIPCIÓN	UN	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	VALOR TOTAL
1	**PRELIMINARES**					
	OBRAS PRELIMINARES					
	1.2	LOCALIZACION Y REPLANTEO	GL	$ 800,000	1.0	$ 800,000
				TOTAL		**$ 800,000**
2	**EXCAVACIONES**					
	1.1	EXCAVACION MATERIAL COMÚN	m^3	$ 9,285	6620.0	$ 61,466,700
				TOTAL		**$ 61,466,700**
3	**RELLENOS**					
	2.1	TERRAPLEN EN MATERIAL EXCAVADO	m^3	$ 6,263	1220.0	$ 7,640,250
				TOTAL		**$ 7,640,250**
4	**OBRAS COMPLEMENTARIAS**					
	3.1	DESCOLE	GL	$ 4,000,000	1.0	$ 4,000,000
	3.2	TRANSPORTE A BOTADERO MATERIAL SOBRANTE	m^3-km	$ 375	50400.0	$ 18,900,000
	3.4	BIOMANTO DE PROTECCIÓN ECOMATRIX	m^2	$ 2,600	4490.0	$ 11,673,940
				TOTAL		**$ 34,573,940**
5	**COMPRA DE LOTES Y VIVIENDAS PARA LA OBRA (ESTÁN INCLUIDOS EN EL PROGRAMA DE REUBICACIÓN)**					
	4.1	ADQUISICIÓN DE PREDIOS HABITADOS	Un	$ 18,642,857	6.0	$ 111,857,143
	4.2	ADQUISICIÓN DE PREDIOS VACÍOS	Un	$ 5,000,000.00	12.0	$ 60,000,000
				TOTAL		**$ 171,857,143**
		VALOR TOTAL DE LA OBRA SIN IVA				**$ 276,338,033**

7.4. BARRERA DE PROTECCIÓN

Una cuarta solución es la construcción de una barrera parapeñascos de 2.00 m de altura, la cual debe absorber la energía de los bloques que desciendan por el talud. El trazado en planta de la barrera es igual al de la zanja ya que, como se comentó atrás, tal posición asegura que las manzanas no sean afectadas. Véase **Plano N° 12**.

Entre los principales inconvenientes que puede acarrear la construcción de la barrera parapeñascos están el robo de sus partes por parte de delincuentes y la posibilidad de volcamiento o daño de la misma ante el impacto de bloques masivos. Véanse **Tabla 7.8** y **Tabla 7.9** para cantidades de obra y presupuesto.

Se espera que el tiempo de construcción sea de unos 45 días, según los rendimientos proyectados.

Tabla 7.8 Cantidades de obra. Alternativa 4: Barrera parapeñascos

1	2	3	4
ALTERNATIVA 4: BARRERA PARAPEÑASCOS H = 2.00 m			
BARRERA PARAPEÑASCOS			
1	174.3		
		174.3	**M - TOTAL BARRERA PARAPEÑASCOS**

Tabla 7.9 Presupuesto de obra. Alternativa 4: Barrera parapeñascos

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ D.C.

UT KANYU

CONSULTORÍA PARA LA EJECUCIÓN DEL ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN Y CONTROL EN EL BARRIO SAN RAFAEL, DE LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.

PRESUPUESTO DE OBRA - ALTERNATIVA 4: BARRERA PARAPEÑASCOS H = 2.00 m

ITEM	GRUPO DE OBRA	DESCRIPCIÓN	UN	TOTAL PRECIO UNIT.	CANTIDAD	VALOR TOTAL
1	**PRELIMINARES**					
	1.4	LOCALIZACION Y REPLANTEO	GL	$ 800,000	1.0	$ 800,000
				TOTAL		**$ 800,000**
2	**OBRAS DE PROTECCIÓN**					
	2.5	BARRERA PARAPEÑASCOS (incluye pernos, perros,vija IPN, malla, platina, torones, cimentación)	ml	$ 422,745	175.0	$ 73,980,309
				TOTAL		**$ 73,980,309**
		VALOR TOTAL DE LA OBRA SIN IVA				**$ 74,780,309**

A.I.U. (25%) $ 18,695,077.34

VALOR TOTAL DE LA OBRA	**$ 93,475,387**

7.5. MURO DE GAVIÓN

Nuevamente, sobre el mismo alineamiento de la zanja y de la barrera parapeñascos se proyectó un muro de 2.00 m de altura en gavión, cimentado 1.00 m dentro del terreno, que permita deformabilidad ante el impacto de bloques, evitando así fallas súbitas de la obra. El muro podría ser construido en unos 60 días y el material de préstamo puede obtenerse en la propia zona, teniendo como fuente a la masa de arenisca. Véase **Plano N° 13**.

Las cantidades de obra y presupuesto de esta alternativa están en la **Tabla 7.10** y en la **Tabla 7.11**.

Tabla 7.10 Cantidades de obra. Alternativa 5: Muro de gavión

1	2	3	4
ALTERNATIVA 5: GAVIÓN B = 2.00 m, H = 3.00 m			
MURO EN GAVIÓN			
5	1		
	1		
	174.3		
		871.5	**M3 - TOTAL MURO EN GAVIÓN**
MURO EN LLANTAS			
1	1.2		
	1.5		
	174.3		
		313.7	**M3 - TOTAL MURO EN LLANTAS**
EXCAVACIÓN EN MATERIAL COMÚN			
1	2		
	1		
	174.3		
		348.6	**M3 - TOTAL EXCAVACIÓN**
RELLENO MATERIAL			
1	2		
	1		
	174.3		
		348.6	**M3 - TOTAL RELLENO MATERIAL**

Tabla 7.11 Presupuesto de obra. Alternativa 5: Muro de gavión

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ D.C.

UT KANYU

CONSULTORÍA PARA LA EJECUCIÓN DEL ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN Y CONTROL EN EL BARRIO SAN RAFAEL, DE LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.

PRESUPUESTO DE OBRA - ALTERNATIVA 5: GAVIÓN B = 2.00 m, H = 3.00 m

ITEM	GRUPO DE OBRA	DESCRIPCIÓN	UN	TOTAL PRECIO UNIT.	CANTIDAD	VALOR TOTAL
1	**PRELIMINARES**					
	OBRAS PRELIMINARES					
	1.1	EXCAVACION MATERIAL COMÚN	m³	$ 10,700	348.6	$ 3,730,020
	1.2	LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO	GL	$ 800,000	1.0	$ 800,000
				TOTAL		**$ 4,530,020**
2	**RELLENOS**					
	2.1	RELLENO MATERIAL	m³	$ 8,000	348.6	$ 2,788,800
3	**OBRAS DE PROTECCIÓN**					
	3.1	MURO GAVIÓN	m³	$ 89,457	871.5	$ 77,961,776
	3.2	MURO EN LLANTAS (incluye relleno suelto)	m³	$ 32,360	313.7	$ 10,152,626
				TOTAL		**$ 88,114,402**
		VALOR TOTAL DE LA OBRA SIN IVA				**$ 92,644,422**

A.I.U. (25%) $ 23,161,105.48

VALOR TOTAL DE LA OBRA	**$ 115,805,527**

8. EVALUACIÓN DEL RIESGO CON MEDIDAS DE PROTECCIÓN

8.1. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA CON MEDIDAS DE PROTECCIÓN

Sobre los perfiles topográficos modificados por las obras descritas en el **Capítulo 7**, se efectuaron los análisis de caída de bloques para estudiar la efectividad de las mismas.

Para hacer comparativas las condiciones actual y con obras, el modelo de amenaza se replanteó fijando como abscisa *D* de excedencia la correspondiente al alineamiento de la obra en cada sección, para las numeradas entre 7 y 11, las cuales, a la luz de los resultados del **Capítulo 6,** representan las mayores fuentes de amenaza.

Así mismo, a las secciones 13 a 24, trayectorias de mayor pendiente, no se les debió efectuar estudio de amenaza con obras ya que, como se aprecia en los planos, éstas las rodean, los bloques que se espera que rueden por ellas serían comparativamente de menor masa, el impacto esperado no sería perpendicular y, por ende, las consecuencias no serían relevantes.

8.1.1. ALTERNATIVA DE ZANJA CON O SIN TERRAPLÉN

Para las cuatro opciones de zanja o zanja con terraplén (zanja de 2.00 m, zanja de 2.00 m con terraplén, zanja de 3.00 m y zanja de 3.00 m con terraplén), las **Figuras A2.2** a **A2.5** muestran los resultados del software de apoyo. Nuevamente los valores de alcance máximo y promedio se han consignado, esta vez en las **Tablas 8.1** a **8.4**.

La nueva abscisa crítica *D* se determinó como sigue:

1) Para obras compuestas solamente por zanja, la abscisa crítica es la correspondiente a la máxima cota sobre el talud de la zanja más lejano al talud en estudio.
2) Para obras compuestas por zanja y terraplén, la abscisa crítica es la correspondiente a la máxima cota sobre el talud del terraplén más cercano al talud en estudio.

Se entiende a la abscisa *D* como la máxima distancia *segura* y *admisible* que puede permitírsele a los bloques viajar. Así, el cálculo de probabilidad total o amenaza para cada sección en estado actual y en estado modificado con obras se encuentra consignado en las **Tablas 8.5** a **8.9**.

Es claro ahora que la alternativa de Zanja con Terraplén óptima para el caso actual es la de Zanja de 3.00 m con terraplén de 1.50 m. Se observa que la amenaza se ha convertido en baja, de modo que puede suponerse que para las secciones 1 a 6 el nivel de amenaza es bajo también. Para efectos del cálculo de riesgo, se ha fijado como probabilidad de excedencia para estas secciones un valor marginal de 0.01.

Tabla 8.1 Resultados del análisis de caída de bloques. Condición con zanja de 2.00 m

SECCIÓN	FORMA	VOLUMEN	ABSCISA PROMEDIO DE PARADA (m)	ABSCISA MÁXIMA DE PARADA (m)
7	D	1.0	23.29	31.21
	E	1.0	23.05	33.80
	C	1.0	22.92	29.77
	D	2.0	24.86	34.47
	E	2.0	25.29	34.07
	C	2.0	24.48	34.38
	D	3.0	24.72	33.81
	E	3.0	24.87	34.62
	C	3.0	25.19	34.45
8	D	0.5	23.67	30.94
	E	0.5	23.32	32.18
	C	0.5	23.85	29.83
	D	1.0	26.12	32.48
	E	1.0	26.07	35.10
	C	1.0	26.17	33.97
	D	2.0	26.70	34.30
	E	2.0	26.33	33.47
	C	2.0	26.42	31.53
	D	3.0	26.59	35.66
	E	3.0	26.46	36.14
	C	3.0	26.24	31.78
9	D	0.5	29.56	36.14
	E	0.5	29.46	35.78
	C	0.5	29.30	36.11
	D	1.0	31.87	46.15
	E	1.0	31.73	39.72
	C	1.0	31.68	36.71
	D	2.0	35.51	38.74
	E	2.0	35.54	37.23
	C	2.0	35.53	46.48
	D	3.0	35.67	37.84
	E	3.0	35.42	47.06
	C	3.0	35.77	45.98
10	D	0.5	18.52	52.39
	E	0.5	19.23	52.21
	C	0.5	18.32	52.32
	D	1.0	23.09	54.86
	E	1.0	22.71	54.36
	C	1.0	21.54	58.44
	D	2.0	26.64	60.31
	E	2.0	27.29	59.10
	C	2.0	26.30	57.94
	D	3.0	32.82	65.20
	E	3.0	28.92	63.44
	C	3.0	31.16	63.16
11	D	0.5	35.20	82.62
	E	0.5	34.30	76.59
	C	0.5	35.28	81.59
	D	1.0	35.76	79.87
	E	1.0	37.20	86.08
	C	1.0	37.00	83.49
	D	2.0	48.29	91.28
	E	2.0	47.91	86.53
	C	2.0	50.56	85.41
	D	3.0	52.40	89.83
	E	3.0	52.58	91.73
	C	3.0	54.29	90.67

Tabla 8.2 Resultados del análisis de caída de bloques. Condición con zanja de 2.00 m y terraplén

SECCIÓN	FORMA	VOLUMEN	ABSCISA PROMEDIO DE PARADA (m)	ABSCISA MÁXIMA DE PARADA (m)
7	D	1.0	23.51	29.56
	E	1.0	23.74	30.07
	C	1.0	23.92	29.71
	D	2.0	24.29	30.30
	E	2.0	23.97	29.98
	C	2.0	24.48	29.83
	D	3.0	25.12	29.99
	E	3.0	24.71	30.37
	C	3.0	25.56	30.34
8	D	0.5	23.40	30.13
	E	0.5	22.44	29.73
	C	0.5	23.71	30.46
	D	1.0	25.66	30.35
	E	1.0	25.88	30.13
	C	1.0	25.78	30.65
	D	2.0	25.61	30.56
	E	2.0	25.85	30.38
	C	2.0	25.87	30.84
	D	3.0	26.29	30.77
	E	3.0	26.31	31.14
	C	3.0	26.26	30.59
9	D	0.5	29.91	36.74
	E	0.5	29.75	35.78
	C	0.5	29.82	36.43
	D	1.0	31.71	36.53
	E	1.0	31.73	37.15
	C	1.0	31.60	36.16
	D	2.0	35.14	36.91
	E	2.0	35.32	36.57
	C	2.0	35.19	36.50
	D	3.0	35.53	37.21
	E	3.0	35.45	36.76
	C	3.0	35.66	37.18
10	D	0.5	17.88	43.88
	E	0.5	17.49	45.88
	C	0.5	17.83	43.61
	D	1.0	18.31	44.70
	E	1.0	21.04	44.14
	C	1.0	17.75	44.77
	D	2.0	23.61	44.35
	E	2.0	24.16	44.52
	C	2.0	23.03	44.65
	D	3.0	26.55	45.42
	E	3.0	26.96	44.59
	C	3.0	26.13	45.19
11	D	0.5	32.87	75.62
	E	0.5	34.27	76.39
	C	0.5	35.88	75.54
	D	1.0	34.17	75.62
	E	1.0	35.88	76.30
	C	1.0	37.29	76.66
	D	2.0	49.19	76.63
	E	2.0	52.27	90.72
	C	2.0	50.41	89.65
	D	3.0	51.96	89.53
	E	3.0	52.84	95.13
	C	3.0	51.76	77.66

Tabla 8.3 Resultados del análisis de caída de bloques. Condición con zanja de 3.00 m

SECCIÓN	FORMA	VOLUMEN (m^3)	ABSCISA PROMEDIO DE PARADA (m)	ABSCISA MÁXIMA DE PARADA (m)
7	D	1.0	23.91	30.14
	E	1.0	24.03	30.16
	C	1.0	24.17	30.17
	D	2.0	25.18	30.66
	E	2.0	24.54	34.11
	C	2.0	24.14	31.18
	D	3.0	25.43	34.04
	E	3.0	25.97	34.16
	C	3.0	25.56	31.26
8	D	0.5	24.43	36.14
	E	0.5	23.96	30.57
	C	0.5	24.33	32.76
	D	1.0	26.34	37.54
	E	1.0	26.71	34.52
	C	1.0	26.57	30.81
	D	2.0	27.03	38.94
	E	2.0	26.66	31.45
	C	2.0	26.52	30.87
	D	3.0	26.91	34.21
	E	3.0	27.12	39.40
	C	3.0	27.10	39.22
9	D	0.5	30.39	38.56
	E	0.5	30.42	37.42
	C	0.5	30.18	37.37
	D	1.0	32.38	37.67
	E	1.0	32.88	44.34
	C	1.0	32.56	38.61
	D	2.0	36.89	48.65
	E	2.0	36.17	47.29
	C	2.0	37.18	48.35
	D	3.0	37.51	50.75
	E	3.0	37.44	52.18
	C	3.0	37.24	47.79
10	D	0.5	18.32	51.81
	E	0.5	17.92	52.71
	C	0.5	19.52	50.95
	D	1.0	19.81	56.30
	E	1.0	20.43	52.46
	C	1.0	22.13	55.50
	D	2.0	25.56	56.01
	E	2.0	26.19	56.59
	C	2.0	26.03	55.17
	D	3.0	31.87	62.93
	E	3.0	29.85	60.95
	C	3.0	30.23	59.20
11	D	0.5	35.50	81.98
	E	0.5	34.85	76.90
	C	0.5	32.92	75.85
	D	1.0	36.56	81.98
	E	1.0	36.76	84.69
	C	1.0	37.19	85.03
	D	2.0	50.23	82.82
	E	2.0	51.10	89.57
	C	2.0	51.08	95.53
	D	3.0	51.12	86.69
	E	3.0	52.17	83.84
	C	3.0	53.33	88.51

Tabla 8.4 Resultados del análisis de caída de bloques. Condición con zanja de 3.00 m y terraplén

SECCIÓN	FORMA	VOLUMEN (m^3)	ABSCISA PROMEDIO DE PARADA (m)	ABSCISA MÁXIMA DE PARADA (m)
7	D	1.0	24.89	30.68
	E	1.0	25.24	30.49
	C	1.0	24.78	30.57
	D	2.0	25.95	30.96
	E	2.0	24.90	30.88
	C	2.0	25.29	30.96
	D	3.0	26.88	30.96
	E	3.0	25.83	30.69
	C	3.0	26.30	30.75
8	D	0.5	24.72	31.15
	E	0.5	23.99	31.58
	C	0.5	24.54	30.63
	D	1.0	26.51	31.80
	E	1.0	26.57	31.26
	C	1.0	26.58	31.03
	D	2.0	27.21	31.13
	E	2.0	27.18	31.60
	C	2.0	27.09	31.22
	D	3.0	27.11	31.56
	E	3.0	26.94	31.55
	C	3.0	26.85	31.26
9	D	0.5	30.74	37.83
	E	0.5	30.66	37.42
	C	0.5	30.49	37.54
	D	1.0	32.78	38.06
	E	1.0	32.50	38.34
	C	1.0	32.71	37.62
	D	2.0	36.81	38.64
	E	2.0	36.55	38.44
	C	2.0	36.72	38.09
	D	3.0	36.80	38.60
	E	3.0	37.00	38.33
	C	3.0	36.77	37.93
10	D	0.5	18.67	45.71
	E	0.5	19.40	44.90
	C	0.5	19.49	45.84
	D	1.0	21.02	45.98
	E	1.0	21.83	45.21
	C	1.0	20.65	45.52
	D	2.0	24.55	45.20
	E	2.0	26.26	46.69
	C	2.0	25.37	45.99
	D	3.0	26.98	46.03
	E	3.0	29.16	45.77
	C	3.0	28.34	45.55
11	D	0.5	34.95	76.12
	E	0.5	35.32	76.42
	C	0.5	34.55	76.44
	D	1.0	34.34	89.16
	E	1.0	36.64	85.71
	C	1.0	36.18	76.79
	D	2.0	48.76	94.50
	E	2.0	51.95	90.57
	C	2.0	50.07	87.27
	D	3.0	52.77	77.14
	E	3.0	51.01	77.74
	C	3.0	50.28	88.72

Tabla 8.6 Evaluación de la amenaza por caída de bloques.
Condición actual con distancia de excedencia fija

SECCIÓN	Abscisa crítica (m)	P(V=0.5)	P(V=1.0)	P(V=2.0)	P(V=3.0)	P(E | V=0.5)	P(E | V=1.0)	P(E | V=2.0)	P(E | V=3.0)	P(E)	AMENAZA
1	39.99	0.85	0.05	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.00**	BAJA
2	41.53	0.85	0.05	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.00**	BAJA
3	41.05	0.85	0.05	0.05	0.05	0.00	0.02	0.00	0.00	**0.00**	BAJA
4	36.57	0.05	0.40	0.50	0.05	0.03	0.14	0.44	0.00	**0.28**	ALTA
5	33.41	0.05	0.49	0.41	0.05	0.00	0.03	0.09	0.00	**0.05**	MEDIA
6	31.23	0.05	0.60	0.30	0.05	0.04	0.14	0.30	0.00	**0.18**	ALTA
7	29.27	0.05	0.10	0.15	0.70	0.08	0.15	0.28	0.43	**0.36**	ALTA
8	29.91	0.05	0.05	0.05	0.85	0.79	0.88	0.89	0.88	**0.88**	ALTA
9	36.76	0.05	0.05	0.05	0.85	0.10	0.21	0.71	0.88	**0.80**	ALTA
10	44.38	0.05	0.05	0.05	0.85	0.06	0.29	0.53	0.63	**0.58**	ALTA
11	75.12	0.05	0.05	0.05	0.85	0.04	0.18	0.56	0.63	**0.57**	ALTA

Tabla 8.6 Evaluación de la amenaza por caída de bloques. Condición con zanja de 2.00 m

SECCIÓN	Abscisa crítica (m)	P(V=0.5)	P(V=1.0)	P(V=2.0)	P(V=3.0)	P(E | V=0.5)	P(E | V=1.0)	P(E | V=2.0)	P(E | V=3.0)	P(E)	AMENAZA
7	29.27	0.05	0.29	0.10	0.56	0.00	0.06	0.13	0.12	**0.10**	MEDIA
8	29.91	0.05	0.05	0.05	0.85	0.02	0.07	0.12	0.11	**0.10**	ALTA
9	36.76	0.05	0.05	0.05	0.85	0.00	0.01	0.01	0.01	**0.01**	BAJA
10	44.38	0.05	0.05	0.05	0.85	0.11	0.31	0.39	0.56	**0.52**	ALTA
11	75.12	0.05	0.05	0.05	0.85	0.04	0.10	0.23	0.33	**0.30**	ALTA

Tabla 8.7 Evaluación de la amenaza por caída de bloques.
Condición con zanja de 2.00 m y terraplén de 1.50 m

SECCIÓN	Abscisa crítica (m)	P(V=0.5)	P(V=1.0)	P(V=2.0)	P(V=3.0)	P(E | V=0.5)	P(E | V=1.0)	P(E | V=2.0)	P(E | V=3.0)	P(E)	AMENAZA
7	30.52	0.05	0.29	0.10	0.56	0.00	0.00	0.02	0.01	**0.01**	BAJA
8	31.18	0.05	0.05	0.05	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.00**	BAJA
9	38.22	0.05	0.05	0.05	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.00**	BAJA
10	45.08	0.05	0.05	0.05	0.85	0.01	0.00	0.00	0.01	**0.01**	BAJA
11	75.96	0.05	0.05	0.05	0.85	0.03	0.09	0.28	0.29	**0.27**	ALTA

Tabla 8.8 Evaluación de la amenaza por caída de bloques. Condición con zanja de 3.00 m

SECCIÓN	Abscisa crítica (m)	P(V=0.5)	P(V=1.0)	P(V=2.0)	P(V=3.0)	P(E | V=0.5)	P(E | V=1.0)	P(E | V=2.0)	P(E | V=3.0)	P(E)	AMENAZA
7	30.16	0.05	0.29	0.10	0.56	0.00	0.01	0.02	0.07	**0.04**	BAJA
8	30.84	0.05	0.05	0.05	0.85	0.02	0.04	0.02	0.05	**0.05**	BAJA
9	37.81	0.05	0.05	0.05	0.85	0.01	0.01	0.05	0.14	**0.12**	ALTA
10	44.38	0.05	0.05	0.05	0.85	0.05	0.16	0.23	0.41	**0.37**	ALTA
11	76.30	0.05	0.05	0.05	0.85	0.01	0.05	0.20	0.19	**0.17**	ALTA

Tabla 8.9 Evaluación de la amenaza por caída de bloques.
Condición con zanja de 3.00 m y terraplén de 1.50 m

SECCIÓN	Abscisa crítica (m)	P(V=0.5)	P(V=1.0)	P(V=2.0)	P(V=3.0)	P(E | V=0.5)	P(E | V=1.0)	P(E | V=2.0)	P(E | V=3.0)	P(E)	AMENAZA
7	31.52	0.05	0.29	0.10	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.00**	BAJA
8	36.19	0.05	0.05	0.05	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.00**	BAJA
9	45.77	0.05	0.05	0.05	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.00**	BAJA
10	50.32	0.05	0.05	0.05	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.00**	BAJA
11	80.15	0.05	0.05	0.05	0.85	0.00	0.01	0.03	0.01	**0.01**	BAJA

8.1.2. ALTERNATIVAS BARRERA DE PROTECCIÓN Y GAVIÓN

Para la segunda y tercera alternativas generales de protección, la barrera parapeñascos y el gavión, ambos de 2.00 m de altura libre, con la ayuda de la utilidad que el software GeoRock permite introducir, pudo modelarse la respuesta que ofrecerían tales soluciones ante la caída de los bloques de volumen máximo previsto.

Los resultados que el programa entregó indican que para el bloque de 3.0 m^3, la máxima energía cinética esperada era de alrededor de 750.0 kJ. Así, se pensó en proyectar una barrera que absorbiera 1000.0 kJ. Los resultados se ilustran en la **Figura A2.6** y en la **Figura A2.7**. Por supuesto, la amenaza por caída se bloques para cada abscisa crítica se reduciría a cero.

8.2. EVALUACIÓN DEL RIESGO CON MEDIDAS DE PROTECCIÓN

En el **Capítulo 9** se expondrán las razones para escoger a la alternativa de Zanja de 3.00 m y Terraplén como el diseño recomendado. Para esta opción, y siguiendo la técnica de análisis del **Capítulo 6**, se evaluó el riesgo nuevamente para comparar los dos escenarios. La **Tabla 8.10** y el **Plano N° 17** muestran los resultados obtenidos.

Tabla 8.10 Evaluación del riesgo con zanja de 3.00 m y terraplén de 1.50 m

ID	Mz	LOTE	TIPOLOGÍA	ID_{actual}	AMENAZA		VULNERABILIDAD ACTUAL				VULNERABILIDAD POTENCIAL				
					Ec	*P (e)*	*a*	*b*	*c*	*d*	$ID_{potencial}$	*a*	*b*	*c*	*d*
1	1	1	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
2	1	3	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
3	2	10	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
4	2	11	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
5	2	12	B3	3	EC2	0.00	0.30	0.40	0.60	0.70	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
6	2	14	B3	2	EC2	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
7	3	18	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
8	3	19	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
9	3	20	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
10	4	2	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
11	4	8	B3	2	EC2	0.01	0.10	0.20	0.30	0.40	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
12	4	10	B3	1	EC2	0.01	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
13	4	12	B1	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	5.00	0.80	0.90	1.00	1.00
14	4	14	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
15	4	16	B3	1	EC2	0.01	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
16	4	17	B2	1	EC2	0.01	0.00	0.00	0.10	0.20	4.00	0.60	0.70	0.80	0.90
17	4	18	B1	1	EC2	0.01	0.00	0.00	0.10	0.20	5.00	0.80	0.90	1.00	1.00
18	4	19	B1	1	EC2	0.01	0.00	0.00	0.10	0.20	5.00	0.80	0.90	1.00	1.00
19	4	20	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
20	4	21	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
21	4	22	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
22	4	23	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
23	5	1	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
24	5	2	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
25	5	3	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
26	5	4	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
27	5	5	B2	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	4.00	0.60	0.70	0.80	0.90
28	5	6	B1	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	5.00	0.80	0.90	1.00	1.00
29	5	8	B1	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	5.00	0.80	0.90	1.00	1.00
30	5	9	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
31	5	10	B2	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	4.00	0.60	0.70	0.80	0.90
32	5	13	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
33	5	15	B1	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	5.00	0.80	0.90	1.00	1.00
34	5	16	B3	3	EC2	0.00	0.30	0.40	0.60	0.70	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
35	5	17	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
36	5	18	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
37	6	11	B2	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	4.00	0.60	0.70	0.80	0.90
38	6	13	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
39	6	14	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
40	6	15	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
41	6	16	B1	1	EC2	0.01	0.00	0.00	0.10	0.20	5.00	0.80	0.90	1.00	1.00
42	6	17	B3	1	EC2	0.01	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
43	6	18	B3	1	EC2	0.01	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
44	6	19	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
45	6	20	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
46	6	21	B2	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	4.00	0.60	0.70	0.80	0.90
47	6	22	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
48	6	23	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
49	6	24	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
50	6	25	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70
51	6	26	B3	1	EC2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	3.00	0.30	0.40	0.60	0.70

Tabla 8.10 Evaluación del riesgo con zanja de 3.00 m y terraplén de 1.50 m (continuación)

ID	Mz	LOTE	VULNERABILIDAD FISICA				A_1	A_2	A_3	A	*IVF*		CATEGORIZACIÓN DE *IVF*			
			a	*b*	*c*	*d*					Centroide	Prom max	Alto	Medio	Bajo	Categoría
1	1	1	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
2	1	3	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
3	2	10	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
4	2	11	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
5	2	12	0.51	0.64	0.84	0.91	0.07	0.20	0.04	0.30	0.72	0.74	0.75	0.25	0.00	**A**
6	2	14	0.37	0.52	0.72	0.82	0.08	0.20	0.05	0.33	0.61	0.62	0.37	0.63	0.00	**M**
7	3	18	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
8	3	19	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
9	3	20	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
10	4	2	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
11	4	8	0.37	0.52	0.72	0.82	0.08	0.20	0.05	0.33	0.61	0.62	0.37	0.63	0.00	**M**
12	4	10	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
13	4	12	0.80	0.90	1.00	1.00	0.05	0.10	0.00	0.15	0.92	0.95	1.00	0.00	0.00	**A**
14	4	14	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
15	4	16	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
16	4	17	0.60	0.70	0.82	0.92	0.05	0.12	0.05	0.22	0.76	0.76	0.94	0.06	0.00	**A**
17	4	18	0.80	0.90	1.00	1.00	0.05	0.10	0.00	0.15	0.92	0.95	1.00	0.00	0.00	**A**
18	4	19	0.80	0.90	1.00	1.00	0.05	0.10	0.00	0.15	0.92	0.95	1.00	0.00	0.00	**A**
19	4	20	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
20	4	21	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
21	4	22	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
22	4	23	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
23	5	1	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
24	5	2	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
25	5	3	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
26	5	4	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
27	5	5	0.60	0.70	0.82	0.92	0.05	0.12	0.05	0.22	0.76	0.76	0.94	0.06	0.00	**A**
28	5	6	0.80	0.90	1.00	1.00	0.05	0.10	0.00	0.15	0.92	0.95	1.00	0.00	0.00	**A**
29	5	8	0.80	0.90	1.00	1.00	0.05	0.10	0.00	0.15	0.92	0.95	1.00	0.00	0.00	**A**
30	5	9	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
31	5	10	0.60	0.70	0.82	0.92	0.05	0.12	0.05	0.22	0.76	0.76	0.94	0.06	0.00	**A**
32	5	13	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
33	5	15	0.80	0.90	1.00	1.00	0.05	0.10	0.00	0.15	0.92	0.95	1.00	0.00	0.00	**A**
34	5	16	0.51	0.64	0.84	0.91	0.07	0.20	0.04	0.30	0.72	0.74	0.75	0.25	0.00	**A**
35	5	17	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
36	5	18	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
37	6	11	0.60	0.70	0.82	0.92	0.05	0.12	0.05	0.22	0.76	0.76	0.94	0.06	0.00	**A**
38	6	13	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
39	6	14	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
40	6	15	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
41	6	16	0.80	0.90	1.00	1.00	0.05	0.10	0.00	0.15	0.92	0.95	1.00	0.00	0.00	**A**
42	6	17	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
43	6	18	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
44	6	19	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
45	6	20	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
46	6	21	0.60	0.70	0.82	0.92	0.05	0.12	0.05	0.22	0.76	0.76	0.94	0.06	0.00	**A**
47	6	22	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
48	6	23	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
49	6	24	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
50	6	25	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**
51	6	26	0.30	0.40	0.64	0.76	0.05	0.24	0.06	0.35	0.53	0.52	0.14	0.82	0.04	**M**

Tabla 8.10 Evaluación del riesgo con zanja de 3.00 m y terraplén de 1.50 m (continuación)

ID	Mz	LOTE	RIESGO FÍSICO								*IRF*		CATEGORIZACIÓN DE *IRF*			
			a	*b*	*c*	*d*	A_1	A_2	A_3	*A*	Centroide	Prom max	Alto	Medio	Bajo	Categoría
1	1	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
2	1	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
3	2	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
4	2	11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
5	2	12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
6	2	14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
7	3	18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
8	3	19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
9	3	20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
10	4	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
11	4	8	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	1.00	**B**
12	4	10	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	1.00	**B**
13	4	12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
14	4	14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
15	4	16	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	1.00	**B**
16	4	17	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	1.00	**B**
17	4	18	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	1.00	**B**
18	4	19	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	1.00	**B**
19	4	20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
20	4	21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
21	4	22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
22	4	23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
23	5	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
24	5	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
25	5	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
26	5	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
27	5	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
28	5	6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
29	5	8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
30	5	9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
31	5	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
32	5	13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
33	5	15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
34	5	16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
35	5	17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
36	5	18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
37	6	11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
38	6	13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
39	6	14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
40	6	15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
41	6	16	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	1.00	**B**
42	6	17	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	1.00	**B**
43	6	18	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	1.00	**B**
44	6	19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
45	6	20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
46	6	21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
47	6	22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
48	6	23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
49	6	24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
50	6	25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**
51	6	26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	1.00	**B**

8.3. RIESGO ECONÓMICO

El costo esperado o riesgo económico que puede generar el fenómeno de caída de bloques, C(E), se define como:

$$C(E) = C(E|F) + C(E|NF) + C_0 = P_f IR_0 C_v + (1 - P_f) IR_{obra} C_v$$

en donde:

$C(E|F)$ = riesgo económico dado que ocurren daños por caída de bloques
$C(E|NF)$ = riesgo económico dado que se mitigan los daños por caída de bloques con las obras de protección
C_0 = costo de la obra
C_v = costo de las viviendas afectadas

8.3.1. Condición actual

A partir de la **Tabla 6.13** y la **Tabla 8.10** se obtiene para la condición actual ($IR_{obra} = 0$) lo siguiente:

$$C(E) = \$\ 77'338.081$$

8.3.2. Condición con zanja y terraplén

Se obtiene:

$$C(E) - C_0 = \$\ 878.521$$

$$C(E) = \$\ 278'582.528$$

8.3.3. Condición con barrera parapeñascos y gavión

Debido a que la probabilidad de excedencia de los bloques con respecto a la obra se reduce a cero, se obtiene que un riesgo económico nulo:

$$C(E) - C_0 = \$\ 0$$

$$C(E) = C_0 = \$\ 277'704.008$$

La **Tabla 8.10** muestra un cuadro resumen de presupuestos y tiempos proyectados de construcción para las cinco alternativas propuestas.

Tabla 8.10 Resumen de presupuestos, cantidades de obra y riesgo económico remanente para cada una de las alternativas de mitigación propuestas

Alternativa	Presupuesto	Tiempo de ejecución aproximado (días)	Riesgo económico remanente	
			$C(E) - C_0$	$C(E)$
1 - Reubicación de predios	$ 2,363,879,762			
2 - Remoción de bloques	$ 279,503,170	60		
3 - Zanja y terraplén	$ 277,704,008	25	$ 878,521	$ 278,582,528
Obra sin adquisición de predios	$ 105,846,865			
4 - Barrera parapeñascos	$ 93,475,387	45	$ 0	$ 277,704,008
5 - Gavión	$ 115,805,527	60	$ 0	$ 277,704,008
Condición actual			$ 77,338,081	$ 355,042,089

9. SELECCIÓN Y DISEÑO DE LA ALTERNATIVA RECOMENDADA

9.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE RIESGO

Para interpretar los resultados obtenidos del cálculo de la amenaza, se definieron Niveles de Amenaza en función de intervalos de probabilidad de excedencia de la abscisa crítica $P(e)$, y denominados Nivel Bajo, Nivel Medio y Nivel Alto, descritos nuevamente en la **Tabla 9.1**.

Tabla 9.1. Niveles de amenaza por caída de bloques

Intervalo de probabilidad	Nivel de amenaza
$0 < P(e) < 0.05$	BAJA
$0.05 < P(e) < 0.10$	MEDIA
$0.10 < P(e) < 1.00$	ALTA

Así, cada sección de análisis quedó clasificada en alguno de estos niveles y se pudieron elaborar el **Plano N° 14** y el **Plano N° 16**.

Cuando las obras entran a jugar parte del modelo, véanse **Tabla 8.5** a **Tabla 8.9**, se observan las siguientes tendencias:

1) Tanto en el caso de proveer una Zanja de 2.00 m de base sin terraplén, como en el de una Zanja de 3.00 m de base sin terraplén, el nivel de amenaza se mantiene alto e inaceptable, por lo tanto se requiere de una obra que brinde mayor seguridad.
2) Es clara la influencia que los terraplenes tienen como ayuda a la zanja en la protección de la amenaza con respecto a su similar de zanja sin terraplén. Revisando las **Tablas 8.5** a **8.9** se ve que entre la solución Zanja de 2.00 m y Zanja de 2.00 m con terraplén, y entre la solución Zanja de 3.00 m y Zanja de 3.00 m con terraplén el cambio en el nivel de amenaza en casi todas las secciones es radical.
3) A pesar de que se podría esperar que la amenaza se controlara al comparar las soluciones Zanja de 2.00 m con terraplén y Zanja de 3.00 m sin terraplén, los resultados muestran justamente lo contrario. Dicha característica puede explicarse aceptando que un bloque de un volumen determinado al caer sobre el fondo de una zanja de ancho mayor tiene mayores posibilidades de ofrecer rebote y alcanzar recorridos horizontales comparativamente mayores. La **Figura A2.2** a **A2.5** ilustran esta afirmación.
4) Si existe algún grado de conservatismo en la elección de los intervalos de probabilidad que definen los niveles de amenaza, se justifica observando que el problema de caída de bloques cerca de zonas pobladas puede constituir un riesgo que fácilmente conlleva consecuencias fatales. Así, se observa que la alternativa **Zanja de 3.00 m con terraplén** *reduce* la amenaza a un nivel aceptable, y por lo tanto el consultor **la puede recomendar** como solución a construir.

9.2. DISEÑO DE LA MEDIDA DE PROTECCIÓN SELECCIONADA

El **Plano N° 10** es el plano descriptivo y de detalles constructivos para la alternativa recomendada. Las Especificaciones técnicas de construcción se encuentran en el **Anexo 4** y las cantidades de obra y presupuesto definitivo están consignados en la **Tabla 9.2** y en la **Tabla 9.3**.

Tabla 9.2 Cantidades de obra

1	2	3	4

EXCAVACIÓN MATERIAL COMÚN

AREA DE EXCAVACIÓN	ÁREA DE RELLENO	ETIQUETA	DISTANCIA ENTRE SECCIONES	ÁNGULO	ÁREA EXCAVACIÓN CORREGIDA	ÁREA RELLENO CORREGIDA	VOLUMEN EXCAVACIÓN	VOLUMEN RELLENO
50.1	9.2	Inicio-1	21.18	0	50.1	9.2	946.6	174.0
50.1	9.2	1-2	17.2	38.0	39.5	7.3	695.1	120.4
41.3	6.8	2-3	11.5	0.0	41.3	6.8	542.3	43.6
53.2	1.5	3-4	12.8	0.0	53.2	1.5	481.9	44.5
24.0	6.0	4-5	10.0	0.0	24.0	6.0	270.7	33.1
30.3	1.2	5-6	11.8	0.0	30.3	1.2	285.1	46.5
18.5	7.6	6-7	13.1	0.0	18.5	7.6	229.6	105.9
16.6	8.6	7-8	8.2	3.0	16.5	8.6	131.0	88.4
15.7	13.3	8-9	18.0	10.0	15.4	13.1	498.6	271.9
55.0	22.4	9-10	15.4	40.0	42.2	17.2	727.3	209.2
52.8	10.3	10-11	13.8	6.0	52.5	10.3	948.1	67.4
100.6	1.2	11-Fin	9.2	31.0	86.2	1.1	861.1	10.6
100.6	1.2				100.6	1.2		
						TOTALES	**6617.4**	**1215.6**

1	6617.4		
		6617.4	**M3 - TOTAL DE EXCAVACION**

TERRAPLÉN EN MATERIAL EXCAVADO

			Factor de reducción de volumen por compactación = 1.3
1	1215.6		
		1215.6	**M3 - TOTAL DE TERRAPLÉN**

TRANSPORTE A BOTADERO MATERIAL SOBRANTE

1	6617.4		
		6617.4	M3 - TOTAL DE EXCAVACION
1			
1.3	1215.6		
		1580.3	Restar M3 - TOTAL DE RELLENO MATERIAL
		5037.1	M3 - TOTAL DE MATERIAL SOBRANTE
10	5037.1		
		50371.2	**M3-km - TOTAL DE MATERIAL SOBRANTE**

BIOMANTO DE PROTECCIÓN ECOMATRIX

1	4490.0		
		4490.0	**M2 - TOTAL DE BIOMANTO DE PROTECCIÓN**

Tabla 9.3 Presupuesto de obra

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ D.C.

UT KANYU

CONSULTORÍA PARA LA EJECUCIÓN DEL ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN Y CONTROL EN EL BARRIO SAN RAFAEL, DE LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.

PRESUPUESTO DE OBRA

ÍTEM	GRUPO DE OBRA	DESCRIPCIÓN	UN	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	VALOR TOTAL
1	**PRELIMINARES**					
	OBRAS PRELIMINARES					
	1.2	LOCALIZACION Y REPLANTEO	GL	$ 800,000	1.0	$ 800,000
				TOTAL		**$ 800,000**
2	**EXCAVACIONES**					
	1.1	EXCAVACION MATERIAL COMÚN	m^3	$ 9,285	6620.0	$ 61,466,700
				TOTAL		**$ 61,466,700**
3	**RELLENOS**					
	2.1	TERRAPLEN EN MATERIAL EXCAVADO	m^3	$ 6,263	1220.0	$ 7,640,250
				TOTAL		**$ 7,640,250**
4	**OBRAS COMPLEMENTARIAS**					
	3.1	DESCOLE	GL	$ 4,000,000	1.0	$ 4,000,000
	3.2	TRANSPORTE A BOTADERO MATERIAL SOBRANTE	m^3-km	$ 375	50400.0	$ 18,900,000
	3.4	BIOMANTO DE PROTECCIÓN ECOMATRIX	m^2	$ 2,600	4490.0	$ 11,673,940
				TOTAL		**$ 34,573,940**
5	**COMPRA DE LOTES Y VIVIENDAS PARA LA OBRA (ESTÁN INCLUIDOS EN EL PROGRAMA DE REUBICACIÓN)**					
	4.1	ADQUISICIÓN DE PREDIOS HABITADOS	Un	$ 18,642,857	6.0	$ 111,857,143
	4.2	ADQUISICIÓN DE PREDIOS VACÍOS	Un	$ 5,000,000.00	12.0	$ 60,000,000
				TOTAL		**$ 171,857,143**
		VALOR TOTAL DE LA OBRA SIN IVA				**$ 276,338,033**

10. CONCLUSIONES

- La fuente de amenaza sobre el Barrio San Rafael es la caída de bloques inducida por el solevantamiento, cuyo origen, como lo muestra el modelo geológico está en el deslizamiento de El Diamante-El Espino. A la fecha de elaboración del presente estudio, FOPAE ya ha iniciado el programa de reubicación de familias que busca alejarlas de dicha fuente de amenaza. Sin embargo, el **Plano Nº 6** muestra que dicha área es significativamente mayor: el consultor recomendó reubicar los predios que aún permanecen habitados de las Manzanas 2 a 6 e inclusive las Manzanas ubicadas justo al norte de la Manzana 5 y justo al este de la Manzana 6.

  Así, el número total de predios a reubicar es de 113, sumando construidos y vacíos.

- La amenaza por caída de bloques, aunque mitigable, es una de las más peligrosas en términos de la probable pérdida de vidas y propiedades, dado su carácter súbito y a que la energía potencial se libera muy rápidamente.

- La remoción del material rocoso susceptible de caer es una opción viable aunque costosa. Se entiende que no es posible botarlo hacia la zona del deslizamiento por los problemas ambientales que esta acción puede generar, incluyendo la obstrucción del drenaje. Por lo tanto, se recomendaría llevar la roca al botadero de Cantarana en Usme, por ser el más cercano y adecuado.

- Aunque la alternativa de barrera parapeñascos aparece como la más económica, el beneficio que conllevaría puede ser menor dados los inconvenientes del probable robo de sus partes por parte de delincuentes y la posibilidad de volcamiento y daño de la misma ante el impacto de bloques masivos. Recuérdese que son probables energías de impacto de hasta 750 kJ, de modo que la barrera debería diseñarse para impactos cercanos a los 1000 kJ.

- La alternativa que el consultor recomienda es la zanja con terraplén detallada en el **Plano Nº 18**, la cual sin duda es la que puede ser ejecutada más rápidamente, generando así una ventaja amplia sobre las alternativas de barrera parapeñascos y gavión.

  Lógicamente, puede haber cierta tendencia a que se convierta en botadero de residuos sólidos urbanos; sin embargo, es una opción tecnológicamente viable, es una obra de drenaje del talud en sí misma y de rápida construcción, lo cual la vuelve atractiva.

ANEXO 3
INVENTARIO DE VIVIENDAS

1. Localidad: CIUDAD BOLÍVAR2. Localización de la edificación en la ciudad: 2.1. Barrio: SAN RAFAEL 19. Encuestador: UT KANYU Fecha: 21/10/2003

ID	2.2 SECTOR	3. LOCALIZACIÓN			4. CARACTERÍSTICAS DE LA EDIFICACIÓN				
		3.1 MZ	3.2 LOTE	3.3 DIRECCIÓN	4.1 ÍNDICE DE DAÑO ACTUAL (DRM)	4.2 TIEMPO DE CONSTRUIDA (AÑOS)	4.3 USO DE LA EDIFICACIÓN	4.4 TIPO DE VIVIENDA	4.5 ÁREA TOTAL CONSTRUIDA (m^2)
1		1	1	KR 75B BIS #63-91S	1		1	4	40,0
2		1	3	KR 75B BIS #63-81S	1		1	4	45,0
3		2	10	KR 75B BIS #63-64S	1		1	4	
4		2	11	KR 75B BIS #63-68S	1		1	4	
5		2	12	KR 75B BIS #63-72S	3	10	1	4	66,0
6		2	14	KR 75B BIS #63-80S	2	6	1	4	50,0
7		3	18	CL 63BS #74H-31	1	7	1	4	72,0
8		3	19	CL 63BS #74H-35	1	5	1	4	72,0
9		3	20	CL 63BS #74H-39	1	4		4	72,0
10		4	2	CL 63BS #74H-44	1	8	1	4	60,0
11		4	8	CL 63BS #74H-20	2	8	1	4	60,0
12		4	10	CL 63BS #74H-12	1	8	1	4	60,0
13		4	12	KR 74H #63A-17	1	4	1	1	30,0
14		4	14	KR 74H #63A-05	1	6	1	4	72,0
15		4	16	CL 63AS #74H15	1		1	4	72,0
16		4	17	CL 63AS#74H19	1	3	1	3	72,0
17		4	18	CL 63AS#74H25	1		1	1	20,0
18		4	19	CL 63AS#74H27	1	2	1	1	50,0
19		4	20	CL 63AS#74H31	1	5	1	4	72,0
20		4	21	CL 63AS#74H33	1		1	4	
21		4	22	CL 63AS#74H39	1	6	1	4	72,0
22		4	23	CL 63AS#74H43	1	3	1	4	36,0
23		5	1	CL 63AS #74c-93s	1	10	1	4	72,0
24		5	2	KR 74H #63A-12	1	7	1	4	60,0
25		5	3	KR 74H #63A18S	1	7	1	4	50,0
26		5	4	CL 63BS #74C92	1	2	1	4	50,0
27		5	5	CL 63BS #74c-88	1	9	1	2	36,0
28		5	6	CL 63BS #74C84	1			1	30,0
29		5	8	CL 63BS #74C76	1	5	1	1	30,0
30		5	9	CL 63BS #74c-72	1	5	1	4	72,0
31		5	10	CL 63BS #74C68	1	8	1	3	60,0
32		5	13	CL 63BS #74C-56	1	6	1	4	72,0
33		5	15	CL 63BS #74C44	1		1	1	60,0
34		5	16	KR 74BIS #63A17S	3	7	1	4	144,0
35		5	17	KR 74BIS #63A07S	1	9	1	4	112,0
36		5	18	CL 63AS #74C43	1	5	1	4	72,0
37		6	11	CL 63CS #74C80	1	2	1	3	25,0
38		6	13	CL 63CS #74c-56	1	5	1	4	72,0
39		6	14	CL 63CS #74c-52	1	6	1	4	72,0
40		6	15	CL 63CS #74c-48	1	8	1	4	72,0
41		6	16	CL 63CS #74C44	1	4	1	1	36,0
42		6	17	CL 63CS #74C40	1	3	1	4	62,0
43		6	18	CL 63CS #74C38	1	1	1	4	72,0
44		6	19	CL 63BS #74C39	1		1	4	120,0
45		6	20	CL 63BS #74C43	1	7	1	4	72,0
46		6	21		1		1	3	36,0
47		6	22	CL 63BS #74C51	1	8	1	4	72,0
48		6	23	CL 63BS #74C55	1	6	1	4	72,0
49		6	24	CL 63BS #74C-59	1	4	3	4	60,0
50		6	25	CL 63BS #74C-63	1	9	1	4	60,0
51		6	26	CL 63BS #74C67	1	6		4	50,0

ID			4. CARACTERÍSTICAS DE LA EDIFICACIÓN				5. ACT. ECON.
	3.1 MZ	3.2 LOTE	4.6 N° PISOS	4.7 N° FAMILIAS	4.8 N° HABITANTES	4.9 VALOR ESTIMADO POR LOS PROPIETARIOS (MILLONES DE PESOS)	5.1 TENENCIA DE LA VIVIENDA
1	1	1	1	0	0		
2	1	3	1				
3	2	10					
4	2	11					
5	2	12	2	1	7	22,0	1
6	2	14	1	3	13	8,0	1
7	3	18	1	1	3	23,0	1
8	3	19	1	2	9		1
9	3	20	1	0	0		
10	4	2	1	1	4	15,0	1
11	4	8	1	1	4	20,0	1
12	4	10	2	2	8	20,0	1
13	4	12	1	1	5	5,0	2
14	4	14	1	2	7		2
15	4	16	1				
16	4	17	1	1	6	8,0	1
17	4	18	1				1
18	4	19	1	1	4	4,0	1
19	4	20	2	2	7		2
20	4	21					
21	4	22	2	2	4	25,0	1
22	4	23	1	1	4		1
23	5	1	1	2	11	20,0	1
24	5	2	2	2	9		1
25	5	3	1	1	3		1
26	5	4	1	1	5	12,0	1
27	5	5	1	1	4	15,0	1
28	5	6	1	1	5		1
29	5	8	1	1	3		
30	5	9	1	1	12	30,0	1
31	5	10	1	1	11	18,0	1
32	5	13	1	1	4	25,0	1
33	5	15	1				
34	5	16	2	2	13	35,0	1
35	5	17	2	1	6	32,0	1
36	5	18	2	1	9		1
37	6	11	1	1	4	12,0	1
38	6	13	2	1	5	25,0	1
39	6	14	1	1	6	25,0	1
40	6	15	1	1	5	20,0	1
41	6	16	1	1	7	15,0	1
42	6	17	1	1	3	18,0	1
43	6	18	1	2	4		1
44	6	19	1				
45	6	20	2	2	7		1
46	6	21	1	0	0		
47	6	22	2	2	12	40,0	1
48	6	23	1	1	6	40,0	1
49	6	24	2	1	5		2
50	6	25	1	1	5	26,0	1
51	6	26	1	1	4	10,0	1

ID			5. ACTIVIDAD ECONÓMICA		
	3.1 MZ	3.2 LOTE	5.2 NOMBRE DEL PROPIETARIO	5.3 NOMBRE DEL ARRENDATARIO	5.4 COSTO DE ENSERES (MILLONES DE PESOS)
1	1	1	ESTELLA OROZCO		
2	1	3			
3	2	10			
4	2	11			
5	2	12	OLIVERIO VIVAS HERNANDEZ		2,0
6	2	14	ROSA AROCA YARA		5,0
7	3	18	ISAAC RUIZ CASTRO		8,0
8	3	19	SAUL SARMIENTO/MARIBEL MUNAL		
9	3	20			
10	4	2	ROSALBINA OREJUELA		5,0
11	4	8	JOSE B. SANCHEZ N./BLANCA L. SUAREZ C		7,0
12	4	10	CAMPO ELIAS MORENO		6,0
13	4	12	JESUS ANTONIO MORENO	JOSE ANTONIO HERNANDEZ	3,0
14	4	14	ECLENSE FERNANDEZ	GUSTAVO GAITAN	2,0
15	4	16			
16	4	17	JIMMY TUPA		3,0
17	4	18			
18	4	19	ERIKA YAZMIN GUEVARA		2,0
19	4	20	JUSTINIANO GONZALEZ	RICARDO CASTELLANOS	2,0
20	4	21			
21	4	22	BENJAMIN VILLABONA		8,0
22	4	23	MARCO SUAREZ		
23	5	1	BLANCA FLOR MOLINA		5,0
24	5	2	FRANCELINA GAMBOA		18,0
25	5	3	ROSA ELVIRA GAMBO/NELSON BELTRAN	HEILER ASPRILLA	
26	5	4	JAIME SUAREZ JUAN DE JESUS		3,0
27	5	5	JOSE ALFONSO MANCILLA		5,0
28	5	6	OSWALDO GARZON/GLADIS RINCON		1,0
29	5	8	ANTONIO AVILA/BLANCA AVILA		
30	5	9	MARIA LILIA BENAVIDEZ AVILA		8,0
31	5	10	LUZ MARY SANCHEZ		2,0
32	5	13	DRIGELIO SANCHEZ		2,0
33	5	15			
34	5	16	CONCEPCION NEIRA/ALFREDO BALLEN		8,0
35	5	17	MIGUEL ALFONSO LONDOÑO		3,0
36	5	18	LUZ MARINA LONDOÑO		3,0
37	6	11	WBEIMAR SOGAMOSO		4,0
38	6	13	JULIO B. APONTE		6,0
39	6	14	BERNARDINO SARMIENTO		
40	6	15	HECTOR GEVARA MARTINEZ		
41	6	16	JOSE ALIRIO VANEGAS		3,0
42	6	17	RAUL FLORIDO		6,0
43	6	18	URIEL GUTIERREZ ALARCON		
44	6	19			
45	6	20	DOMINGO GOMEZ GARCIA		
46	6	21	MERY GARCIA		3,0
47	6	22	LUIS ARMEL VALENCIA		6,0
48	6	23	ERCILIA GARCIA CUADROS		
49	6	24	JAVIER VERA	FERMIN AGUILAR	30,0
50	6	25	PEDRO ANTONIO CORREA		6,0
51	6	26	MARIA LEONOR VILLAN TORRADO		5,0

ID			5. ACT. ECON.	6. ¿HA SUFRIDO ANTERIORMENTE DAÑOS POR F.R.M.?	7. TIPO DE EVENTO ACONTECIDO	8. SERVICIOS PÚBLICOS			9. AFILIACIÓN A ENTIDADES DE SERVICIOS DE SALUD (E.P.S.)	10. TIPO(S) DE CIMENTACIÓN				
	3.1 MZ	3.2 LOTE	5.5 SOSTENIMIENTO DE LA VIVIENDA (MILES DE PESOS)			8.1. MODO DE OBTENCIÓN DEL AGUA POTABLE	8.2 MODO DE EVACUACIÓN DE AGUAS NEGRAS	8.3 VÍAS DE ACCESO						
1	1	1		1	2			2						
2	1	3		1	2			2						
3	2	10												
4	2	11												
5	2	12	700,0	2		2	2	2	1	1				
6	2	14	700,0	2		2	2	2	1	1				
7	3	18		1	2	2	2	2	1	1	2			
8	3	19		1	2									
9	3	20		1	2									
10	4	2	600,0	1	2	2	2	2	1	2				
11	4	8	800,0	2		2	2	2	1	2				
12	4	10	500,0	1	2	2	2	2	1	1	2			
13	4	12	250,0	2				1		1				
14	4	14	600,0	2		2	2	1	1	1				
15	4	16				2	2	2		2	5			
16	4	17	330,0	2		2	2	2	1	1				
17	4	18		2				2	2	6				
18	4	19	330,0	2		2	2	2	1	1	6			
19	4	20	600,0	2		2	2	2	1	2	5			
20	4	21												
21	4	22	400,0	2		2	2	2	1	2	5			
22	4	23		2		2	2	2		2	5			
23	5	1		2	2	2	2	2	1	1	2			
24	5	2		2	2	2	2	2	1	1	2			
25	5	3		1	2	2	2	2	1	1	2			
26	5	4	300,0	2	2	2	2	2	1	1	2			
27	5	5	700,0	2		2	2	1	1	2				
28	5	6		2	2	2	2	2	1	6				
29	5	8				2	2	2		6				
30	5	9	1400,0	2		2	2	1	1	2				
31	5	10	300,0	2		2	2	1	1	2				
32	5	13	500,0	2		2	2	1	1	2	5			
33	5	15				2	2	2						
34	5	16	1000,0	2		2	2	2	1	2	5			
35	5	17	330,0	2		2	2	2	1	2	5			
36	5	18	600,0			2	2	2	1	2	5			
37	6	11	600,0	1	2	2	2	2	1	1				
38	6	13	800,0	1	1	2	2	2	1	1	2	5		
39	6	14		1	2	2	2	2		1	2	5		
40	6	15	600,0	1	6	2	2	2	1	2	5			
41	6	16	330,0	1	1	2	2	2	1	6				
42	6	17	500,0	2		2	2	2	1	2	5			
43	6	18	450,0	2		2	2	2	1	1	3	5		
44	6	19				2	2	2		2	5			
45	6	20		2		2	2	2		2	5			
46	6	21		2		2	2	2		1				
47	6	22	1800,0	2				2						
48	6	23	400,0	2		2	2	2	1	2	4	5		
49	6	24	330,0	2		2	2	1	1	2	5			
50	6	25	300,0	2		2	2	1	1	2	5			
51	6	26	300,0	2	2	2	2	2	1	1	2			

ID	3.1 MZ	3.2 LOTE	11. SUELO DE CIMENTACIÓN	12. LONGITUD PLACA DE PISO (m)		13. ESTABILIDAD DEL TALUD EN CORTE		14. ESTABILIDAD DEL TALUD EN RELLENO	
				EN CORTE	EN RELLENO	ESTABILIDAD	TIPO	ESTABILIDAD	TIPO
1	1	1							
2	1	3							
3	2	10							
4	2	11							
5	2	12	6	3,0		1	1		
6	2	14	6		4,0	2		1	4
7	3	18							
8	3	19							
9	3	20							
10	4	2	5						
11	4	8	6		8,0			1	
12	4	10							
13	4	12	7	7,0					
14	4	14	7	12,0		1	5		
15	4	16	6		12,0			1	1
16	4	17	6	6,0				1	1
17	4	18	7			1	2		
18	4	19	7	6,0		1	2	1	5
19	4	20	6	6,0	6,0	1	2	1	1
20	4	21							
21	4	22		12,0		1	2		
22	4	23	6	6,0	6,0	1	2	1	1
23	5	1	6						
24	5	2	6						
25	5	3	5						
26	5	4	5						
27	5	5	7			1	2		
28	5	6	5						
29	5	8	5						
30	5	9	7	12,0		1	2		
31	5	10	7	8,0		1	1		
32	5	13	7		12,0			1	1
33	5	15						1	5
34	5	16	5		12,0			1	5
35	5	17	2	6,0	6,0	1	2	1	1
36	5	18	6		12,0			1	1
37	6	11	5						
38	6	13							
39	6	14	6						
40	6	15							
41	6	16	1			1	2		
42	6	17	2	6,0	6,0	1	2	1	4
43	6	18	6	12,0				1	1
44	6	19	2	12,0	12,0			1	1
45	6	20	5		12,0			1	1
46	6	21	6	6,0				1	5
47	6	22			12,0			1	1
48	6	23	6		12,0			1	1
49	6	24	1			1	1		
50	6	25	6	12,0				1	1
51	6	26	5						

ID			15. AGRIETAMIENTOS			16. HUMEDAD EN LA VIVIENDA	17. EN CASO DE AFECTACIÓN PARCIAL O TOTAL DE LA CASA, ¿PUEDE COMPRAR O ARRENDAR OTRA?	18. RECOMENDACIONES PARA MEDIDAS URGENTES
	3.1 MZ	3.2 LOTE	TIPO	ABERTURA (cm)	LONGITUD (m)			
1	1	1						3
2	1	3						3
3	2	10						
4	2	11						
5	2	12	1	4,0	6,0	3	2	3
6	2	14				2	2	3
7	3	18				3	2	3
8	3	19						3
9	3	20						3
10	4	2	1	0,1		3	2	3
11	4	8	1	1,0		3	2	2
12	4	10				3	2	3
13	4	12				2		3
14	4	14				2		1
15	4	16						3
16	4	17				2	1	3
17	4	18						3
18	4	19				3	2	3
19	4	20				3		2
20	4	21						
21	4	22				3	2	2
22	4	23				3		3
23	5	1				3	2	
24	5	2				3	2	3
25	5	3	6			3	2	3
26	5	4	6			3	2	3
27	5	5				2	2	1
28	5	6	6			3	2	3
29	5	8						3
30	5	9				2	2	1
31	5	10				3	2	1
32	5	13				3	1	1
33	5	15						3
34	5	16	5	1,0		1	2	3
35	5	17	3	1,0		3	2	2
36	5	18	6			3	2	1
37	6	11				3	2	3
38	6	13	2	0,5	3,0	1	2	3
39	6	14						3
40	6	15				3	2	3
41	6	16	5			1	2	2
42	6	17	6			1	2	1
43	6	18	6			3	2	1
44	6	19						1
45	6	20	6			3		1
46	6	21						1
47	6	22	6			3	1	
48	6	23	6			3	1	1
49	6	24				1		1
50	6	25				3	2	1
51	6	26				3	2	3

ID	3.1 MZ	3.2 LOTE	OBSERVACIONES
1	1	1	Evidencia de desprendimiento de suelo; lista para demoler; se encuentra en programa de reubicación
2	1	3	No se encontraron residentes
3	2	10	
4	2	11	
5	2	12	Agrietamientos en muros y pisos
6	2	14	Muro de contención en concreto; alcantarillado tapado; problemas de reflujo de las aguas residuales
7	3	18	Se encuentra en programa de reubicación; lista para demoler
8	3	19	No se encontraron residentes meyores de edad
9	3	20	Se encuentra en programa de reubicación; lista para demoler
10	4	2	Agrietamientos en muros y pisos
11	4	8	
12	4	10	
13	4	12	No corte ni relleno; a lo largo de la Cra 74H hay una grieta de 1cm de ancho
14	4	14	
15	4	16	
16	4	17	
17	4	18	
18	4	19	
19	4	20	
20	4	21	
21	4	22	
22	4	23	
23	5	1	No se encontróa al propietario
24	5	2	
25	5	3	No se encontró al propietario
26	5	4	
27	5	5	
28	5	6	No se encontró al propietario
29	5	8	No se encontró al propietario
30	5	9	
31	5	10	
32	5	13	
33	5	15	No se encontró al propietario
34	5	16	Agrietamientos en muros y pisos
35	5	17	
36	5	18	
37	6	11	
38	6	13	Agrietamientos en pisos y placa. Se descuadran las puertas continuamente; grietas en la losa del segundo piso; la losa se partió el 16 de febrero de 2003
39	6	14	No se encontró al propietario; descuadre de puerta de acceso
40	6	15	Evidencia de deslizamiento y caída de rocas; descuadre en la puerta de entrada
41	6	16	Agrietamientos en vigas; descuadre de puertas
42	6	17	Muro en piedra pegada y ladrillo prensac
43	6	18	
44	6	19	No se encontró al propietario
45	6	20	
46	6	21	
47	6	22	
48	6	23	
49	6	24	
50	6	25	
51	6	26	

ANEXO 4

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN

ANEXO 4

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN

1. LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO

Esta Especificación consiste en la ubicación, localización y materialización de todos los puntos del Proyecto en donde se han de desarrollar trabajos de construcción.

La localización de cada obra particular debe hacerse con las cotas y coordenadas de los planos de diseño. Se deben replantear todas las obras del Proyecto controlando las dimensiones especificadas en los planos y reportando directamente al Interventor los controles y seguimientos topográficos correspondientes.

Para el desarrollo de la actividad deben emplearse equipos topográficos de buena precisión, en buen estado y en perfectas condiciones de calibración como GPS, Estación Total, Nivel, etc. El uso de estos equipos debe ser aprobado por la Interventoría.

1.1. ORGANIZACIÓN DE LOS TRABAJOS

Para todo trabajo constructivo del Proyecto, debe haberse hecho con anterioridad el respectivo replanteo topográfico con el objeto de que las obras queden perfectamente ubicadas y con los niveles de diseño para evitar errores en la construcción que representen sobrecostos para el Constructor. Todo trabajo que tenga que modificarse por no cumplir con los diseños de los planos será responsabilidad del Constructor y éste asumirá los costos a los que la modificación conlleve.

El desarrollo de todo trabajo debe ser autorizado por el Interventor previa revisión de los planos y del replanteo. Así mismo, la secuencia del replanteo debe hacerse de acuerdo con la programación de obra, en todos los frentes de desarrollo del Proyecto y con el visto bueno del Interventor.

1.2. MEDIDA Y FORMA DE PAGO

La medida para el pago de esta Especificación es Global (GL).

El pago de esta actividad debe hacerse proporcional al avance de cada uno de los sectores replanteados y con aprobación del Interventor.

2. EXCAVACIONES

2.1. DESCRIPCIÓN

Este trabajo comprende el conjunto de actividades de excavación, remoción y cargue de los materiales provenientes de los cortes requeridos para taludes, zanjas y obras de drenaje, indicados en los planos y secciones transversales y longitudinales del Proyecto, con las modificaciones que el Interventor considere pertinentes.

El trabajo incluye la escarificación, conformación y compactación de la subrasante en corte; la remoción de toda roca in situ, la limpieza y conformación de las zonas laterales, las de préstamo y desecho, de acuerdo con las disposiciones del Contrato o lo dispuesto por la Interventoría; la excavación manual requerida para algunas obras indicadas en los planos de detalles y en esta Especificación. Así mismo, de ser necesario, incluye el cargue y el transporte por debajo del límite de acarreo libre, es decir, hasta 200.0 m de distancia.

Para excavaciones manuales no se tienen en cuenta actividades de cargue, transporte y disposición final ya que estos materiales serán dispuestos en los mismos sitios de trabajo y utilizados para las obras que los requieran de acuerdo con esta Especificación y los planos y secciones transversales del Proyecto.

2.2. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

Se define como corte toda excavación sobre las secciones transversales del Proyecto, con las modificaciones que disponga la Interventoría.

2.2.1. Excavación manual

El trabajo comprende las excavaciones a mano necesarias para la construcción de cunetas, filtros, descoles, disipadores, perfilado de paredes laterales de estructuras y conformación final de taludes. Deben ejecutarse siguiendo los planos de diseño, con la aprobación del Interventor.

2.2.2. Excavación con equipos

Comprende la excavación de la masa de roca, la cual, en el caso particular del presente Proyecto corresponde a arcillolita blanda de la Formación Bogotá, removida bajo técnicas convencionales. No se permite el uso de explosivos.

Involucra también la excavación y remoción de bloques con volumen individual mayor de un metro cúbico (1.0 m^3), procedentes de macizos alterados o de masas transportadas o acumuladas por acción natural.

2.3. MATERIALES

Los materiales provenientes de las excavaciones se utilizarán, si reúnen las calidades exigidas, en la construcción de los terraplenes, de acuerdo con los documentos del Proyecto o determinados por el

Interventor. El Constructor no podrá desechar materiales ni retirarlos para fines distintos a los del Contrato, sin autorización previa del Interventor.

Los materiales provenientes de la excavación que presenten buenas características para uso en la construcción de una vía de acceso, serán reservados para colocarlos posteriormente. Los materiales de excavación que no sean utilizables deberán ser trasportados y dispuestos de acuerdo con la Especificación correspondiente y las instrucciones del Interventor.

Los materiales adicionales que se requieran para las obras, se extraerán de las zonas de préstamo aprobadas por el Interventor y deberán cumplir con las características establecidas en las Especificaciones correspondientes.

2.4. PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN

Los programas, procedimientos, equipos y herramientas de excavación deben ser previamente aprobados por la Interventoría. Los trabajos deben ceñirse a buenas prácticas de construcción y ejecutarse de tal modo que no causen daños innecesarios a estructuras, vías, servicios públicos, cauces de agua, propiedades o cultivos localizados cerca o fuera de los límites de las excavaciones. La secuencia de todas las operaciones de excavación de cortes debe ser tal que asegure la utilización más eficiente de todos los materiales, para la construcción de los terraplenes, pedraplenes u otras obras del Proyecto.

Las interrupciones del tránsito en vías existentes, durante los trabajos de excavación, deben ser mínimas y cuando se presente tal interrupción, por causas atribuibles al Contratista, este deberá tomar inmediatamente las medidas necesarias para restablecer el tránsito y normalizar sus condiciones.

El Contratista será responsable por todo perjuicio resultante de contravención a estos preceptos y la Interventoría por esta causa podrá ordenar la modificación de procedimientos o la suspensión de los trabajos respectivos.

En el caso en donde se haga un hallazgo Arqueológico el Contratista deberá parar inmediatamente las actividades en dicho sector y avisar al Interventor para tomar las respectivas medidas del caso.

Al terminar los trabajos de excavación y relleno en determinado tramo del Proyecto, el Contratista deberá limpiar y conformar las zonas laterales de la obra y las de préstamo y desecho en todos los sitios que determine la Interventoría, las cuales podrán incluir parte de las zonas laterales que no fueran ocupadas por la construcción ni por materiales de desecho.

2.5. MEDIDA Y FORMA DE PAGO

Todas las excavaciones serán medidas con base en los volúmenes de las áreas de corte de las secciones transversales del Proyecto, original y modificado, verificados por la Interventoría antes y después de ejecutarse los trabajos.

La unidad de medida es el metro cúbico aproximado al metro cúbico completo (m^3), del material excavado en su posición original.

Todo trabajo de excavación se pagará al precio unitario del Contrato por toda cantidad de obra ejecutada de acuerdo con los planos y especificaciones, aceptadas por la Interventoría.

El pago por metro cúbico deberá hacerse de acuerdo al valor establecido para cada análisis de cada tipo de excavación (en roca, manual y en material común) en las cantidades establecidas en los planos de diseño o las modificadas a criterio del Interventor.

El material roca a excavar y remover se considera arcillolita blanda homogénea, de modo que no se discriminarán precios diferentes de pago en el caso de encontrar bloques duros de otros materiales.

3. TERRAPLÉN EN MATERIAL EXCAVADO

Este trabajo consiste en la nivelación y compactación del terreno en donde ha de construirse un terraplén nuevo, previa ejecución, si las hay, de las obras de desmonte y limpieza, demolición y subdrenaje; así mismo incluye la colocación, el humedecimiento o secamiento, la conformación y compactación de materiales apropiados de acuerdo con la presente Especificación, los planos y secciones transversales del Proyecto y las instrucciones del Interventor.

Esta Especificación establece las normas para la disposición de materiales compactados para el terraplén y alrededor de estructuras, en los sitios fijados por los diseños o determinados por la Interventoría. Se refiere también a todos los trabajos de relleno llevados a cabo para alcanzar las cotas del Proyecto.

3.1. MATERIALES Y PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN

La ejecución de los terraplenes utilizará materiales provenientes de los cortes, los cuales deben estar libres de basuras, materia orgánica, raíces, escorias y piedras mayores a 0.10 m de diámetro; sin embargo, de común acuerdo con la Interventoría se podrían aceptar sobretamaños. La superficie sobre la cual se cimentará el relleno o terraplén deberá estar igualmente libre de escombros.

Los terraplenes se deberán compactar en capas de máximo 0.25 m de espesor, con la humedad óptima y hasta alcanzar por lo menos el 90% de la densidad máxima seca obtenida del ensayo Proctor Modificado.

La ejecución de pedraplenes no está incluida dentro de esta Especificación ya que el diseño no proyecta utilizar estas estructuras. Por lo tanto, los bloques de roca encontrados en el terreno deberán ser tratados como material a ser transportado a botadero, según la Especificación correspondiente.

La Interventoría efectuará o solicitará al Contratista los ensayos que considere necesarios para el control de la construcción de terraplenes.

3.2. MEDIDA Y FORMA DE PAGO

El pago de este ítem se hará al precio unitario consignado en el formulario de precios unitarios y la unidad de medida será el metro cúbico (m^3) con aproximación a la unidad, correspondiendo su medida al volumen compactado. En el precio se deben incluir los costos de mano de obra, equipos, suministro en la obra de los materiales (incluido su transporte), colocación, riego y compactación.

4. TRANSPORTE A BOTADERO DE MATERIAL SOBRANTE

4.1. DESCRIPCIÓN

El Contratista deberá ejecutar el cargue y transporte de los materiales sobrantes de las excavaciones, autorizados por la Interventoría a distancias superiores a las de acarreo libre (200.0 m). Este trabajo comprende el transporte de material de los cortes o excavaciones que no sean utilizados en sitio alguno de la obra, los cuales serán colocados en las zonas de botadero convenidas con el Interventor.

4.2. EQUIPOS

El Contratista podrá utilizar cualquier tipo de equipo aprobado para la realización del transporte de sobrantes aprobado por la Interventoría.

El equipo deberá mantenerse en óptimas condiciones de funcionamiento y su capacidad y rendimiento deberán producir el adelanto de la construcción de acuerdo con los programas de trabajo aprobados.

4.3. DISPOSICIÓN DEL MATERIAL

Los materiales deberán colocarse, con aprobación de la Interventoría, en el botadero de Cantarana en Usme, respetando la reglamentación interna del mismo.

4.4. MEDIDA Y FORMA DE PAGO

La unidad de medida para el cargue y transporte de materiales, será el m^3-km, aproximado a la décima, del material compactado medido en su posición original, debidamente cargado y transportado hasta el sitio de disposición final, de acuerdo con las normas y la aprobación de la Interventoría.

La cubicación del material en su posición original, se hará de acuerdo con las medidas tomadas en el terreno antes y después de las operaciones aprobadas por la Interventoría.

El pago de este ítem se hará al precio unitario consignado en el formulario de precios unitarios.

5. ECOMATRIX

5.1. DESCRIPCIÓN

La presente Especificación se refiere al revestimiento de superficies expuestas de terreno natural o excavado con un manto sintético de tejido abierto denominado "Ecomatrix".

Dicho manto es de alta resistencia y protege las superficies o secciones de cortes, zanjas o canales de la erosión producida por las lluvias y la escorrentía superficial.

5.2. MATERIALES

El Ecomatrix tipo PAVCO o similar es un manto sintético de tejido abierto, con matriz no fundida de aberturas libres y recubierta por multifilamentos de polipropileno degradable. Debe poseer, además, propiedades de resistencia y elongación para limitar el estiramiento, conforme a los valores de la **Tabla A.4.1** en estado completamente saturado.

Tabla A.4.1 Propiedades para las direcciones de Urdimbre (Longitudinal) y trama (Transversal) bajo condiciones seca o saturada

Propiedad	Método de Ensayo	Valor Típico
Resistencia a la tensión (N)	ASTM D-4632	280/100 (*)
Elongacion a la rotura (%)	ASTM D-4632	35/13 (*)
Tamaño de la abertura (mm)	Medido	2 x 5
Absorción de humedad (%)	ASTM D-570	0.01

(*) L/T (Longitudinal/Transversal)

5.3. OBSERVACIONES SOBRE LA COLOCACIÓN

- El Ecomatrix debe colocarse con un traslapo en los bordes de por lo menos 0.15 m y debe graparse por el centro del traslapo cada 0.30 m.

- Cada 7.5 a 9.0 m de longitud debe adicionarse una fila de grapas espaciadas cada 0.15 m.

5.4. MEDIDA Y FORMA DE PAGO

La unidad de medida del Ecomatrix es el metro cuadrado (m^2) colocado en el sitio de acuerdo con los planos de diseño.

El Ecomatrix se pagará al precio unitario consignado en los análisis de precios unitarios.

ANEXO 5
ANALISIS PRECIOS UNITARIOS

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

CORTE EN ROCA (m^3)

COSTOS DIRECTOS

MATERIALES	Unidad	Precio Unit	Cantidad	Valor unitario
				$0
				$0
Subtotal				**$0**

EQUIPO	Marca	Tipo	Rendimiento	Tarifa/Dia	Valor unitario
Martillo Neumatico			0,29	$ 30.000	$8.571
Comprersor			0,29	$ 180.000	$51.429
Sub Total					**$60.000**

MANO DE OBRA	Jornal	Prestaciones	Jornal total	Rendimiento	Valor unitario
4 Ayudante	$ 20.000	$ 16.000	$ 144.000	0,286	41.143
Sub Total					**$41.143**

TOTAL COSTO DIRECTO	**$101.143**

COSTOS INDIRECTOS

Adiministración	10%			$10.114
Imprevistos	8%			$8.091
Utilidad	7%			$7.080
TOTAL COSTOS INDIRECTOS				**$25.286**

TOTAL ITEM	**$126.429**

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

REMOCIÓN DE MATERIAL ROCOSO Y TRANSPORTE A BOTADERO (m^3)

COSTOS DIRECTOS

MATERIALES	Unidad	Precio Unit	Cantidad	Valor unitario
Subtotal				**$0**

EQUIPO	Marca	Tipo	Rendimiento	Tarifa/hora	Valor unitario
Volqueta			0,20	$ 25.000	$ 5.000
Retroexcavadora			0,25	$ 40.000	$ 10.000
Sub Total					**$ 15.000**

MANO DE OBRA	Jornal	Prestaciones	Jornal total	Rendimiento	Valor unitario
Ayudante Clase A	$ 12.000	$ 9.600	$ 21.600	0,07	$1.600
Sub Total					**$1.600**

TOTAL COSTO DIRECTO	**$16.600**

COSTOS INDIRECTOS

Adiministración	10%			$1.660
Imprevistos	8%			$1.328
Utilidad	7%			$1.162
TOTAL COSTOS INDIRECTOS				**$4.150**

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

EXCAVACION MATERIAL COMUN (m^3)

COSTOS DIRECTOS

MATERIALES	Unidad	Precio Unit	Cantidad	Valor unitario
Sub Total				

EQUIPO	Tipo	Rendimiento	Tarifa/H-h	Valor unitario
Cargador frontal 0.28 m3		0,02	$ 45.000	$900
Bulldozer D-6		0,06	$ 80.000	$4.800
Sub Total				**$5.700**

MANO DE OBRA	Jornal	Prestaciones	Jornal total	Rendimiento	Valor unitario
Ayudante Clase A	$ 12.000	$ 9.600	$ 21.600	0,1	$1.728
Sub Total					**$1.728**

TOTAL COSTO DIRECTO	**$7.428**

COSTOS INDIRECTOS

Adiministración	10%			$743
Imprevistos	8%			$594
Utilidad	7%			$520
TOTAL COSTOS INDIRECTOS				**$1.857**

TOTAL ITEM	**$9.285**

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

EXCAVACION MANUAL (m^3)

COSTOS DIRECTOS

MATERIALES	Unidad	Precio Unit	Cantidad	Valor unitario
Sub Total				

EQUIPO	Tipo	Rendimiento	Tarifa/H-h	Valor unitario
Herramienta Menor			GL	$ 800
Sub Total				**$800**

MANO DE OBRA	Unidad	Vlr Unitario	Rendimiento	Vlr Total
Oficial	Día	$37.080	0,1	$3.708
Ayudante	Día	$24.300	0,1	$2.430
Ayudante	Día	$24.300	0,1	$2.430
Sub total				**$8.568**

TOTAL COSTO DIRECTO	**$9.368**

COSTOS INDIRECTOS

Adiministración	10%			$937
Imprevistos	8%			$749
Utilidad	7%			$656
TOTAL COSTOS INDIRECTOS				**$2.342**

TOTAL ITEM	**$11.710**

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

TERRAPLÉN EN MATERIAL EXCAVADO (m^3)

COSTOS DIRECTOS

MATERIALES	Unidad	Precio Unit	Cantidad	Valor unitario
Agua de carrotanque	Lt	$ 15	50	$ 750
Subtotal				**$750**

EQUIPO	Tipo	Rendimiento	Tarifa/hora	Valor unitario
Motoniveladora		0,015	$ 60.000	$ 900
Vibrocompactador		0,015	$ 8.000	$ 120
Sub Total				**$ 1.020**

MANO DE OBRA	Jornal	Prestaciones	Jornal total	Rendimiento	Valor unitario
Oficial	$ 18.000	$ 14.400	$ 32.400	0,1	$3.240
Sub Total					**$3.240**

TOTAL COSTO DIRECTO	**$5.010**

COSTOS INDIRECTOS

Adiministración	10%			$501
Imprevistos	8%			$401
Utilidad	7%			$351
TOTAL COSTOS INDIRECTOS				**$1.253**

TOTAL ITEM	**$6.263**

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

TRANSPORTE A BOTADERO MATERIAL SOBRANTE (m^3-km)

COSTOS DIRECTOS

MATERIALES	Unidad	Precio Unit	Cantidad	Valor unitario
Subtotal				**$0**

EQUIPO	Marca	Tipo	Rendimiento	Tarifa/hora	Valor unitario
Volqueta 5 m^3			0,010	$ 30.000	$ 300
Sub Total					**$ 300**

MANO DE OBRA	Jornal	Prestaciones	Jornal total	Rendimiento	Valor unitario
Sub Total					

TOTAL COSTO DIRECTO	**$300**

COSTOS INDIRECTOS

Adiministración	10%			$30
Imprevistos	8%			$24
Utilidad	7%			$21
TOTAL COSTOS INDIRECTOS				**$75**

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

MANTO DE PROTECCIÓN ECOMATRIX (m^2)

COSTOS DIRECTOS

MATERIALES	Unidad	Precio Unit	Cantidad	Valor unitario
Ecomatrix tipo PAVCO	m^2	$ 1.500,00	1,0	$ 1.500,00
Subtotal				**$1.500**

EQUIPO	Marca	Tipo	Rendimiento	Tarifa/hora	Valor unitario
Sub Total					

MANO DE OBRA	Jornal	Prestaciones	Jornal total	Rendimiento	Valor unitario
Oficial		Día	$37.080	0,01	$371
Ayudante		Día	$24.300	0,01	$243
Sub Total					**$614**

TOTAL COSTO DIRECTO	**$2.114**

COSTOS INDIRECTOS

Adiministración	10%			$211
Imprevistos	8%			$169
Utilidad	7%			$148
TOTAL COSTOS INDIRECTOS				**$528**

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

BARRERA PARAPEÑASCO (ml)

COSTOS DIRECTOS

MATERIALES	Unidad	Precio Unit	Cantidad	Valor unitario
Malla Triple Torsion, Cal 12, Abertura 10x10, Galvanizada , 260 gr/m²	m²	$ 6.000,00	2,1	$ 12.600,00
Platina riostra, en acero A-37 de 1½"x1/4" (Incluye soldadura)	ml	$ 4.100,00	1,5	$ 6.150,00
Concreto	m³	$ 290.000,00	0,1	$ 29.000,00
Toron d= 1"	ml	$ 12.000,00	8,5	$ 102.000,00
Viga IPN 300X125X36,4 Lbs/pie-A-36	ml	$ 65.000,00	1,5	$ 97.500,00
Perno	ml	$ 60.000,00	0,33	$ 19.800,00
Perro o abrazadera	Un	$ 236.705,00	0,15	$ 35.505,75
Subtotal				**$302.556**

EQUIPO	Marca	Tipo	Rendimiento	Tarifa/hora	Valor unitario
Sub Total					**$0**

MANO DE OBRA	Jornal	Prestaciones	Jornal total	Rendimiento	Valor unitario
Ayudante Clase A	$ 12.000	$ 9.600	$ 21.600	0,330	$7.128
Operario Especializado	$ 30.000	$ 24.000	$ 54.000	0,330	$17.820
Oficial clase A	$ 18.000	$ 14.400	$ 32.400	0,330	$10.692
Sub Total					**$35.640**

TOTAL COSTO DIRECTO	**$338.196**

COSTOS INDIRECTOS

Adiministración	10%			$33.820
Imprevistos	8%			$27.056
Utilidad	7%			$23.674
TOTAL COSTOS INDIRECTOS				**$84.549**

TOTAL ITEM	**$422.745**

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

GAVION (m^3)

COSTOS DIRECTOS

MATERIALES	Unidad	Cant	Vlr Unitario	Vlr Total
Piedra Media Zonga	m^3	1,06	$35.000	$37.100
Malla Hexagonal	Un	0,50	$25.000	$12.500
Alambre	Kg	2,00	$1.800	$3.600
Formaleta	Gl	1,00	$1.800	$1.800
Sub Total				**$55.000**

EQUIPO	Unidad	Cant	Vlr Unitario	Vlr Total
Herramineta Menor	Gl	1,0	$2.000	$2.000
Sub Total				**$2.000**

MANO DE OBRA	Unidad	Vlr Unitario	Rendimineto	Vlr Total
Oficial	Día	$37.080	0,17	$6.304
Ayudante	Día	$24.300	0,17	$4.131
Ayudante	Día	$24.300	0,17	$4.131
Sub total				**$14.566**

TOTAL COSTOS DIRECTOS	**$71.566**

COSTOS INDIRECTOS

Adiministración	10%			$7.157
Imprevistos	8%			$5.725
Utilidad	7%			$5.010
TOTAL COSTOS INDIRECTOS				**$17.891**

TOTAL ITEM	**$89.457**

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

MURO EN LLANTAS (m^3)

COSTOS DIRECTOS

MATERIALES	Unidad	Precio Unit	Cantidad	Valor unitario
Llantas usadas (Rin 13 o similar)	Un	$ 750	18	$ 13.500
Manila de 1/2"	ml	$600	8,00	$4.800
Subtotal				**$18.300**

EQUIPO	Marca	Tipo	Rendimiento	Tarifa/hora	Valor unitario
Herramienta Menor			GL	$ 1.000	$1.000
Sub Total					**$1.000**

MANO DE OBRA	Jornal	Prestaciones	Jornal total	Rendimiento	Valor unitario
Ayudante Clase A	$ 12.000	$ 9.600	$ 21.600	0,20	$4.320
Oficial clase A	$ 18.000	$ 14.400	$ 32.400	0,07	$2.268
Sub Total					**$6.588**

TOTAL COSTO DIRECTO	**$25.888**

COSTOS INDIRECTOS

Adiministración	10%			$2.589
Imprevistos	8%			$2.071
Utilidad	7%			$1.812
TOTAL COSTOS INDIRECTOS				**$6.472**

TOTAL ITEM	**$32.360**

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

DISPOSICIÓN MATERIAL SOBRANTE (m^3)

COSTOS DIRECTOS

MATERIALES	Unidad	Precio Unit	Cantidad	Valor unitario
Subtotal				

EQUIPO	Tipo	Rendimiento	Tarifa/hora	Valor unitario
Bulldozer D-6		0,032	$ 80.000	$ 2.560
Sub Total				**$ 2.560**

MANO DE OBRA	Jornal	Prestaciones	Jornal total	Rendimiento	Valor unitario
Sub Total					

TOTAL COSTO DIRECTO	**$2.560**

COSTOS INDIRECTOS

Adiministración	10%			$256
Imprevistos	8%			$205
Utilidad	7%			$179
TOTAL COSTOS INDIRECTOS				**$640**

TOTAL ITEM	**$3.200**

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

DEMOLICION Y RETIRO DE ESCOMBROS (m^3)

COSTOS DIRECTOS

MATERIALES	Unidad	Precio Unit	Cantidad	Valor unitario
Subtotal				**$0**

EQUIPO	Tipo	Rendimiento	Tarifa/hora	Valor unitario
Transporte			GL	$ 800
Herramienta Menor			GL	$ 800
Sub Total				**$1.600**

MANO DE OBRA	Jornal	Prestaciones	Jornal total	Rendimiento	Valor unitario
Ayudante Clase A	$ 12.000	$ 9.600	$ 21.600	0,833	$18.000
Sub Total					**$18.000**

TOTAL COSTO DIRECTO	**$19.600**

COSTOS INDIRECTOS

Adiministración	10%			$1.960
Imprevistos	8%			$1.568
Utilidad	7%			$1.372
TOTAL COSTOS INDIRECTOS				**$4.900**

TOTAL ITEM	**$24.500**