CAPITULO 2

GENERALIDADES

2 GENERALIDADES

2.1 LOCALIZACIÓN

El barrio Casa Loma integrado a la vertiente occidental del Río Tunjuelito está desarrollado sobre la cadena montañosa de los cerros suroccidentales del distrito capital, en jurisdicción político administrativa de la localidad de Ciudad Bolívar, muy cerca del límite geográfico del Municipio de Soacha. El marco urbano se desarrolló sobre el contorno de un antiguo frente de explotación del que se extrajeron arenas y arcillas, entre las cotas 2.615 y 2.655 m.s.n.m. y, entre las coordenadas 99.000 m a 99.150 m N y 88.900 m a 89.100 m. E. (**Figura 2.1**)

Si bien el proceso colonizador data apenas de la última década, Casa Loma se diferencia de la mayor parte de las invasiones del sur de Bogotá por tener una cobertura regular y moderadamente ordenada. El barrio se encuentra circunscrito catastralmente entre las carreras 89ª sur y 92 sur (ó desde la calle 75 F sur hasta la calle 75J sur), y la calle 62H Bis y la carrera 72G; limita al sur y occidente con el barrio Mirador de la Estancia, al norte con el barrio Porvenir de la Estancia y al oriente con el asentamiento del Rincón de Galicia.

El principal cordón de comunicación al área es la Autopista al sur, aunque es posible llegar a ella por la Avenida Ciudad de Cali. De dichos cinturones se desprende la malla vial que accede al barrio; las calles y carreras poseen estados de transitividad apenas aceptables, trazados geométricos complejos caracterizados por las altas pendientes longitudinales.

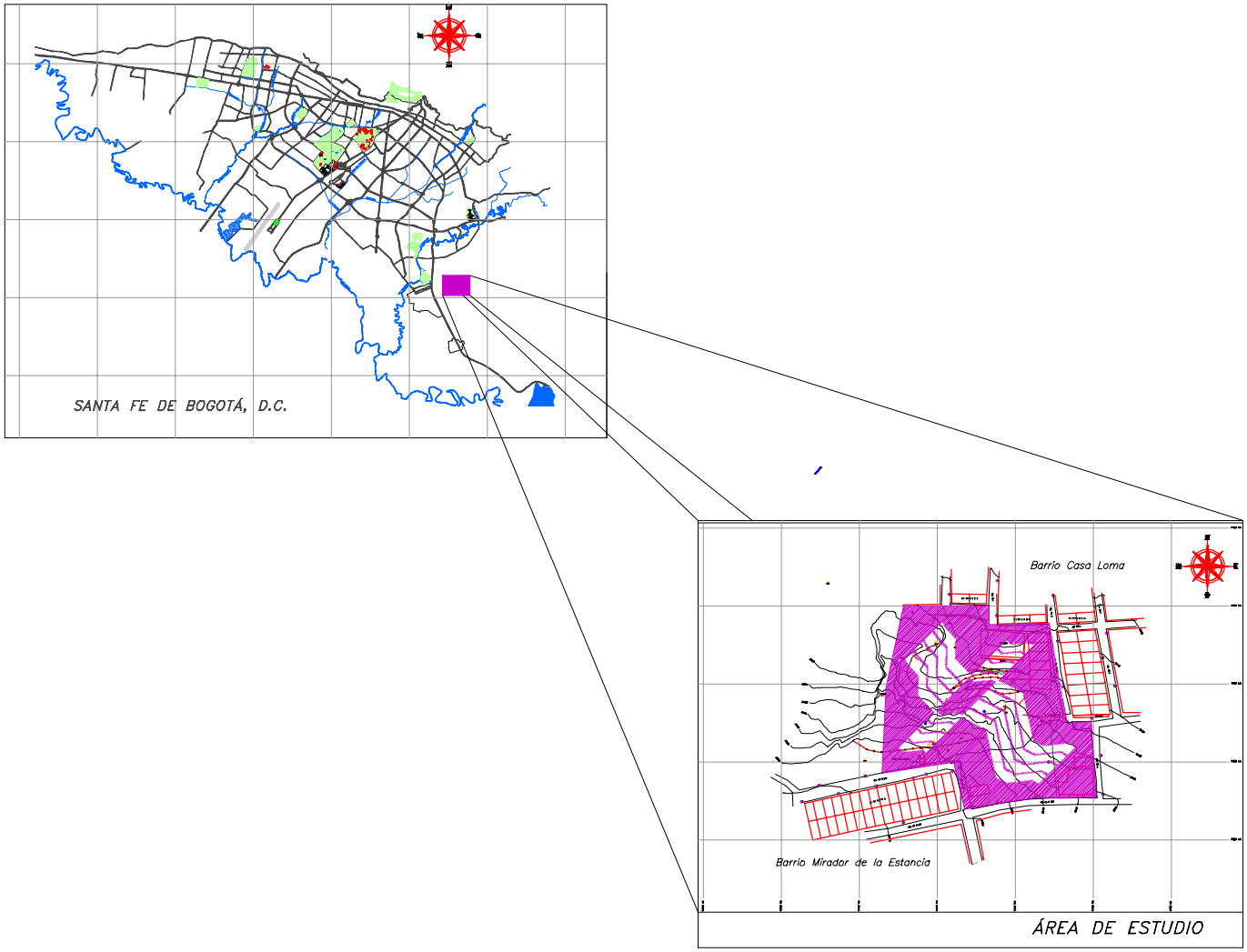
2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La zona en donde se localiza el talud fue sometida en los últimos años (evaluación aerofotográfica) a intensa extracción de materiales (arena y arcillas). Las primeras familias tuvieron asiento en el barrio durante la década de los ochenta, y desde ese momento el pulso colonizador ha crecido gradualmente hasta cubrir la superficie completa del mismo con cerca de 700 unidades residenciales, proceso que culminó al comienzo de los años 90.

Actualmente el frente de explotación (zona de estudio) está rodeado por 37 viviendas, que cobijan a cerca de 400 personas de estrato 1, instaladas en viviendas con sistema estructural de muros de carga de una y dos plantas, prefabricadas y de recuperación. Los habitantes cuentan con una cobertura casi total de servicios de energía eléctrica, alcantarillado y acueducto, y un 81% reciben atención de servicio telefónico.

Parte de la estructura urbana de la zona de estudio descansa sobre un depósito clastosoportado de bloques arenosos que se encuentra por encima de un macizo rocoso, conformado por bancos de arenisca friable y meteorizada de hasta 3 m. de espesor y secuencias de arcillolitas hacia la base principalmente.

Así el comportamiento de las laderas está regido tanto por las propiedades del macizo y del material rocoso, es decir por el patrón geométrico de las discontinuidades (frente a las superficies libres) y por las características de resistencia del material rocoso, como por las características geomecánicas del depósito.



Secretaría
GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTA D.C.

DIRECCION DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS

CONTRATISTA

HIDROGEOLOGIA Y GEOTECNIA AMBIENTAL LTDA.
SOLUCIONES GEOTECNICAS Y AMBIENTALES

INTERVENTORÍA:

CIVILES LTDA
INGENIEROS CONSULTORES

ESCALA:

ESQUEMÁTICO

DISEÑÓ:	H.G.A. LTDA	FECHA: ABR/2000
DIBUJÓ:	H.G.A LTDA.	FECHA: ABR/2000
REVISÓ:	H.G.A. LTDA.	FECHA: ABR/2000
APROBÓ:		FECHA: ABR/2000
Vo. Bo. INTERVENTORÍA		FECHA: ABR/2000

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE CONTROL Y PROTECCIÓN EN EL BARRIO CASALOMA

LOCALIDAD CIUDAD BOLÍVAR

Contrato No. CCS-549/99

LOCALIZACIÓN GENERAL

FIGURA No. 2.1

ARCHIVO: C:\TRABAJOS\HGA140\FINALES\FIG2.1.dwg

Si bien el área de estudio no supera las 4 hectáreas, los procesos morfodinámicos han tenido lugar en la mayor parte del frente de explotación, algunos corresponden a fenómenos de reciente datación y de carácter inducido.

Los procesos morfodinámicos pueden clasificarse como: fallas planares con grietas de tracción, flujos de detritos y caídas de bloques. Los primeros fenómenos afectan el cuerpo principal del macizo y parcialmente están favorecidos por la presencia lateral de zonas de desconfinamiento, que dan lugar junto con el patrón estructural a la aparición de grietas de tracción; los segundos tienen recinto en los depósitos de material suelto (derrubios), cuyo espesor no supera los dos (2) metros y que descansan en la pata del frente de explotación; y los últimos son de tipo aislado, aunque cobijan el entalle superior de la arenisca fracturada del límite sur.

La mayor concentración de evidencias de inestabilidad se dibujan en el costado sur, el tamaño de los bloques móviles oscila desde los 30 m^3 hasta los 2.400 m^3. Este último corresponde a la masa potencial más importante, entallada en la franja central del frente de explotación, su mecanismo de falla responde a la falla planar con grieta de tracción, el bloque tiene una profundidad aproximada de 10 m (medida en campo con cinta), y la abertura máxima de la grieta alcanza los 50 cm. El segundo cuerpo activo dibuja el extremo nororiental de la zona de estudio, su mecanismo de falla es similar al anterior, la masa involucrada alcanza los 600 m^3 y cubre una altura de 8 m. Estos cuerpos de bloques se muestran en el **mapa 4 (Morfodinámica)**.

Si bien los procesos morfodinámicos indican un espectro de alta amenaza (en cobertura) su repercusión es limitada, pues es poco probable que alguna de las viviendas resulte afectada. Esto encuentra explicación en la amplia franja de aislamiento, entre los 30 m. y 50 m., de los taludes que permitiría la movilización de las masas inestables sin llegar hasta el cinturón urbanizado, dado que las longitudes de viaje de los cuerpos fallados en ningún caso han superado los 10 m. Se potencializa entonces el riesgo principalmente hacia los elementos móviles (habitantes del sector) que utilizan con frecuencia la cancha deportiva y el sendero peatonal localizado en el extremo occidental del área de estudio.

Finalmente, cabe destacar que la intervención antrópica es el principal agente (detonante o contribuyente) de la ocurrencia de los fenómenos de remoción en masa, puesto que el vertimiento de aguas servidas y el sistema de explotación empleado, han contribuido o facilitado paralelamente la erosión y la infiltración, acción con la cual se ocasiona la pérdida de resistencia de los materiales que componen la ladera.

Los registros históricos, contenidos en el Centro de Documentación de la DPAE, Conceptos Técnicos 3213 y 3337 de Septiembre de 1998, diagnósticos solicitados por la empresa Codensa, contemplan un análisis de amenaza relativa por inestabilidad del terreno en donde se determina el potencial de caída de rocas en los sectores donde existen taludes dejados por antiguas canteras. Los anteriores conceptos recomiendan entre otras las siguientes medidas:

- Retirar los bloques críticos a todo lo largo de los escarpes de las antiguas canteras (dentro de las cuales esta la cantera objeto de estudio) a fin de prevenir la amenaza por caída de bloques en todo el sector.
- Evitar a toda costa la construcción de viviendas en las zonas definidas como de alta amenaza, debido a que es una zona deteriorada propensa a deslizamientos y caída de bloques como consecuencia de sus pendientes abruptas.

- Se recomienda un uso forestal, de conservación y deporte pasivo.

Medidas aun sin ejecución, excepto tal vez la segunda de las alternativas.

2.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN CONSULTADA

Pocos proyectos se han llevado a cabo para estudiar las condiciones generales del subsuelo en el área urbana del barrio. En este sentido, es explicable que la evaluación de información se haya centrado en el análisis de los informes "Estudios y Diseños de estabilidad de taludes, control de erosión y manejo de aguas para la estabilización de diferentes sitios en la ciudad de Santa Fe de Bogotá. Grupo 1: Ciudad Bolívar - sitio 1.5", realizado por Ingetec S.A. (1998), insuficiente para el objetivo del proyecto, y los conceptos técnicos de la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias DPAE.

Aunque el informe técnico no contemplaba dentro de sus objetivos la zonificación por amenaza, vulnerabilidad o riesgo, algunos elementos técnicos como: la geología de superficie, el marco estructural y el planteamiento de medidas correctivas, fueron importantes como punto de partida o de apoyo para los diferentes temas estudiados en este proyecto.

El informe consultado muestra como características básicas:

- Un tratamiento relativamente simple de la geología de superficie, establecida tan sólo a nivel de formación.
- Los análisis de estabilidad son casi exclusivamente cualitativos.
- Las medidas correctivas fueron el resultado de la percepción del problema por parte de la entidad consultora, sin contemplar la elaboración de árboles de decisión. A pesar de ello, algunas medidas se consideran contextualmente apropiadas, como es el caso de determinación de mantener franjas de aislamiento y evitar la construcción de viviendas.

CAPITULO 3

ESTUDIOS BÁSICOS

3 ESTUDIOS BÁSICOS

Este capítulo encierra el desarrollo de algunos de los principales tópicos (elementos ó variables) de incidencia para la evaluación y zonificación de riesgo por fenómenos de remoción en masa, que son resultado del trabajo de campo, y se encuentran compilados bajo la denominación de Estudios Básicos. Las labores de campo permitieron entre otros: definir el modelo estratigráfico y estructural local y establecer su incidencia en la estabilidad, estudiar los mecanismos de falla de los procesos de inestabilidad y conocer las características socioeconómicas de los pobladores.

Las labores de campo involucraron el levantamiento topográfico, la inspección geológica, la exploración del subsuelo y el inventario de viviendas, actividades que se describen en los siguientes numerales.

3.1 CARTOGRAFÍA BASE

Como elemento fundamental en la formulación de la cartografía geológica, geomorfológica, geotécnica y para efectos del análisis y diseño de las obras correctivas, se realizó un levantamiento topográfico detallado, escala 1:500 (**Mapa 1 Mapa Base**). Con él se pretendió registrar lo más preciso posible la morfometría del frente de explotación, las franjas críticas de estabilidad, las unidades residenciales (vulnerables o no ante potenciales desastres), y todo tipo de estructura física presente en el sector de estudio (postes de alumbrado, pozos de inspección, caminos peatonales, vías, etc.).

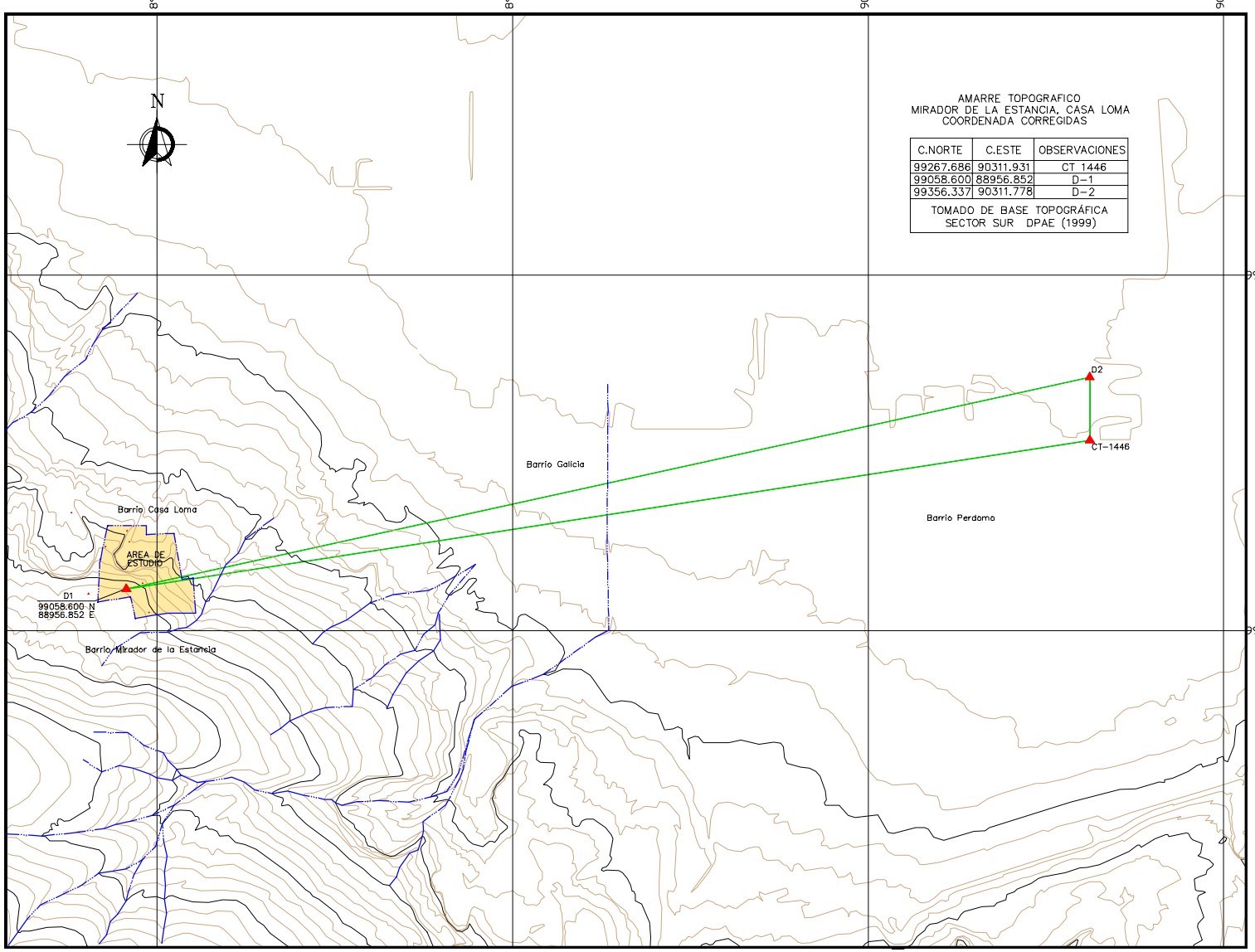
3.1.1 Levantamiento Topográfico

El equipo utilizado en el trabajo de campo estuvo integrado por una Estación Total NIKON DTM-410 con precisión angular al segundo, alcance en lectura de 2000 m., capacidad de almacenamiento hasta de 2000 registros.

El levantamiento se realizó a partir de una poligonal cerrada amarrada a placas IGAC, con puntos de partida en el CT1445 y CT1446 (**Figura 3.1**), cuyas coordenadas planas son: N = 99.458,66 m y E = 90.313,78 m, y N = 99.267,68 m y E = 90.311,93 m, respectivamente, en el **anexo B** se presentan las certificaciones correspondientes a estos puntos de amarre.

Para la ejecución en campo se utilizó un procedimiento mixto, con el propósito de cubrir la totalidad del área y de información, es decir consistió en la toma tanto de secciones transversales, como en la generación de la nube de puntos. En el occidente y sur del área de estudio se tomaron secciones transversales (**Figuras B-1 a B-4 del anexo B**) espaciadas cada 5 m, algunas ligadas a las columnas estratigráficas del trabajo geológico, con el doble propósito de facilitar la interpretación cartográfica, y servir de apoyo durante la etapa de análisis, específicamente en la elaboración del Modelo Estratigráfico.

El barrido con nube de puntos se destinó a la definición de la cresta y pata del frente de explotación y a la toma de elementos urbanísticos como paramentos, andenes, postes de energía, pozos de aguas negras y lluvias, y cercas entre otras.



Secretaría GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTA D.C.

DIRECCION DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS

CONTRATISTA:

HIDROGEOLOGIA Y GEOTECNIA AMBIENTAL LTDA.

SOLUCIONES GEOTECNICAS Y AMBIENTALES

INTERVENTORÍA:

CIVILES LTDA INGENIEROS CONSULTORES

ESCALA: ESQUEMATICO

DISEÑÓ:	H.G.A. LTDA	FECHA: ABR/2000
DIBUJÓ:	H.G.A LTDA.	FECHA: ABR/2000
REVISÓ:	H.G.A. LTDA.	FECHA: ABR/2000
Vo. Bo. INTERVENTORÍA		FECHA: ABR/2000
APROBÓ:	DPAE – FOPAE	FECHA: ABR/2000

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE CONTROL Y PROTECCIÓN EN EL BARRIO CASALOMA

LOCALIDAD CIUDAD BOLÍVAR

Contrato No. CCS-549/99

POLIGONAL DE CIERRE

FIGURA No. 3.1

ARCHIVO: C:\TRABAJOS\HGA140\FINALES\FIG-3.1.dwg

3.1.2 Procedimiento Cartográfico

La interpretación cartográfica se ejecutó con el empleo de un Software especializado, se utilizo el programa SWIFT para el calculo de coordenadas y elevaciones; este programa tiene correcciones por curvatura, refracción y paralelaje, utiliza un factor de corrección en el calculo de coordenadas teniendo en cuenta la posición del sitio con relación a los paralelos y bajo un modelo de interpretación dirigida. Esto significó definir y respetar las barreras físicas actuales y condicionar la interpretación a éstas, sin permitir el desempeño de Software a su libre esquema de triangulación. En este sentido jugaron un papel importante las secciones transversales y el contorno (en la cresta y pata) de la zona de explotación.

El proceso de interpretación desarrollado, puede entenderse como un modelo a escala de un SIG, puesto que primero se elaboraron diferentes capas de información, y posteriormente se conjugaron en una sola secuencia. Así, entonces, se definió el manzaneo completo, se seleccionaron los postes de alumbrado y los pozos de inspección, se delinearon las vías y se delimitaron la cresta y pata del frente del talud, procesadas en tres dimensiones, como límites (contornos). Todo este conjunto facilitó la interpolación de las curvas de nivel y la representación final, la cual se presenta en el Mapa 1 (Mapa Base).

El trabajo de georeferenciación y ajuste de la poligonal de amarre se realizó con el programa Swift, a partir de los puntos topográficos CT1446, CT1445, D-1, D-2, D-3 (Estos tres últimos mojones materializados en campo), los errores de cierre obtenidos fueron:

Cierre vertical = -0.04 m
Error de cierre angular = $0^{o}0'00''$
Error de cierre en coordenadas = Estes –0.037 m, Nortes –0.022 m
Precisión 1:66397

En el **anexo B (Cartera Topográfica)** se presentan los cálculos elaborados y los resultados obtenidos. Finalmente el mapa procesado se efectuó a escala 1:500 y bajo la plataforma de Autocad 14.

3.2 GEOLOGÍA

Este tópico se desarrolló en tres etapas. La primera consistió en una fotointerpretación preliminar, la segunda en el reconocimiento de campo y la última en la reinterpretación y elaboración de la cartografía a escala 1:5.000 para el marco regional y escala 1:500 para el área de investigación específica.

La fotointerpretación a nivel local se realizó a escala 1:5.000 con fotografías aéreas del sector del vuelo V-01-90 (IGAC S-8538, R-1131) fotografías 547, 548, 549 y la interpretación regional empleó aerofotografías escala 1:20.000 del vuelo (IGAC S-8584, R-1183) C-G19/60 fotografías 099 y 100 tomadas antes de que el sector fuera intervenido antrópicamente, con el fin de observar las estructuras existentes, dada la dudosa e imperceptible apreciación de las mismas en las fotos más recientes.

Durante el reconocimiento de campo se levantaron ocho (8) columnas estratigráficas, tomadas a lo largo del talud en los lugares de mejor exposición de la secuencia; se llevó un control estructural detallado y un análisis de estructuras encontradas dentro de los sitios de interés.

3.2.1 Geología Regional

El sector está ubicado a 7 kilómetros al occidente del eje del Sinclinal de Usme, sobre las estribaciones de los cerros suroccidentales de Bogotá. El pliegue corresponde a la principal estructura geológica que condiciona, a nivel regional, la disposición de los estratos de las unidades litoestratigráficas del área.

Específicamente en la zona estudiada afloran rocas del Terciario-Cretáceo, correspondientes a la Formación Guaduas (KTg) conjuntos medio (KTgm) e inferior (KTgi) los cuales se depositaron en su totalidad en el Maestrichtiano (Thomas Van Der Hammen et al., 1957). Espacialmente descansan sobre estas unidades, depósitos cuaternarios de pendiente o coluviones (Qdlc), depósitos fluviales (Qtb), suelos residuales (Qsr) y algunos depósitos de origen glacial (Qfg) como se observa en el **Mapa 2 (Geología Regional)**.

Los conjuntos medio e inferior de la Formación Guaduas corresponden a depósitos de tipo continental en ambientes transicionales (parte baja cerca al nivel del mar), ya que las arcillolitas presentan abundantes restos de plantas (fragmentos de hojas) y las areniscas marcas de olas, estratificación plano-paralela y algunas veces cruzada.

Tectónicamente, el sector esta influenciado local y regionalmente por la presencia de plegamientos y fallas que condicionan el comportamiento mecánico del escarpe (**Figura 3.2**), reflejado en la generación concentrada o dispersa de fracturamientos paralelos y perpendiculares a las fallas principales, representados en las familias de diaclasas presentes, tenidas en cuenta para los análisis de estabilidad.

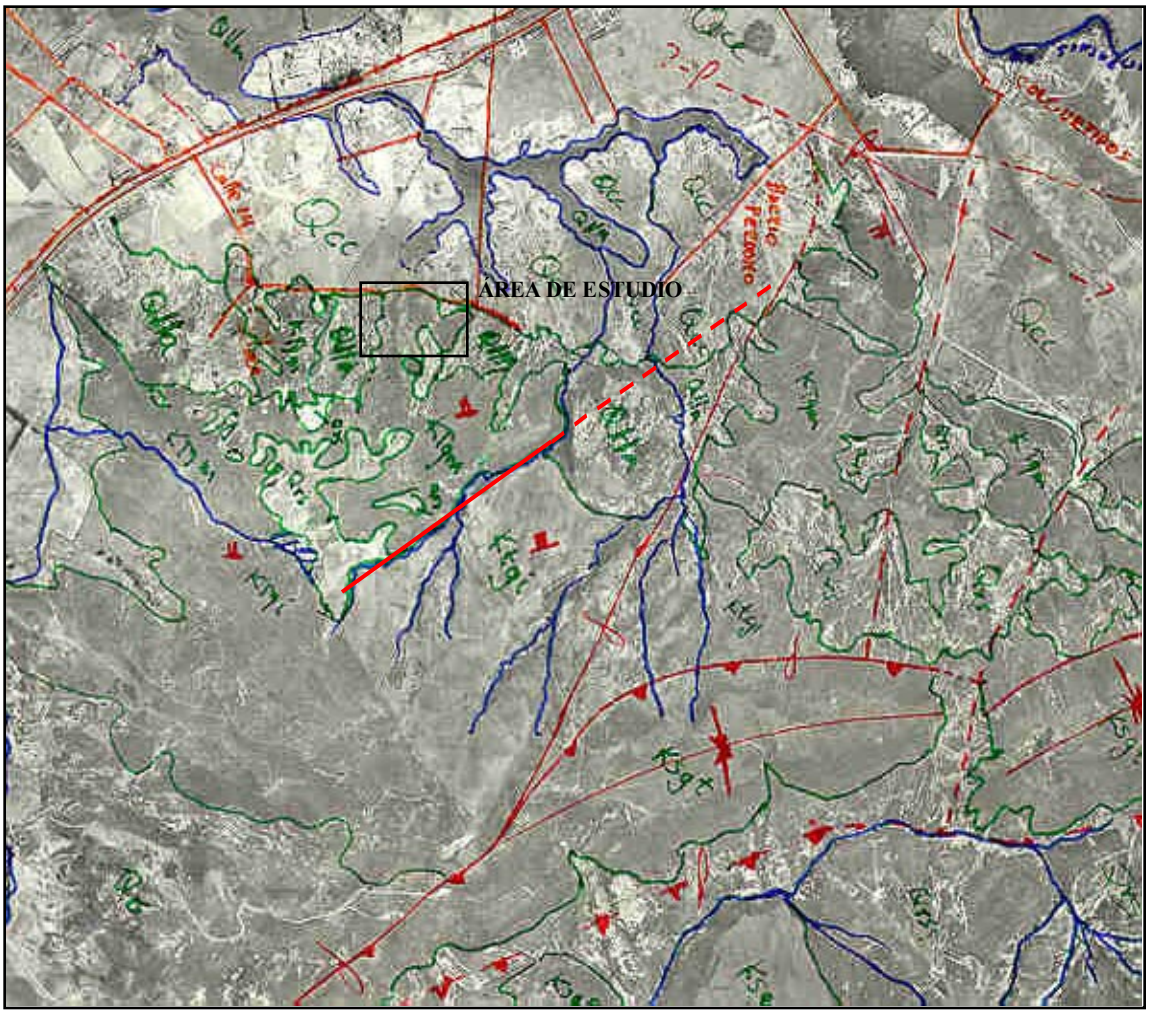
3.2.1.1 Estratigrafía

Estratigráficamente en el área se presentan rocas pertenecientes al Cretáceo-Terciario (Maestrichtiano) y cuaternario.

Formación Guaduas (KTg): representa al período Cretáceo-Terciario, su ambiente de depositación es continental de tipo transicional (lagos y pantanos cercanos a la línea de costa), constituida principalmente por una secuencia de arcillolitas multicolor, intercalada con limolitas y areniscas (Hettner 1892 en De Porta, 1974), que alcanzan un espesor total aproximado de 1.000 metros, que corresponde a una formación productora de carbón que en el área de estudio expone segmentos de sus miembros medio e inferior.

El contacto evidenciado en el área con la formación subyacente (Formación Arenisca de Labor y Tierna **Kgslt**, aflora fuera del área de estudio) es neto, mientras que con los depósitos suprayacentes de edad cuaternaria es discordante.

Formación Guaduas Conjunto Inferior (KTgi): está compuesto por sucesiones de arcillolitas con delgados niveles de carbón y arcillolitas grises a marrones, que se encuentran intercalados con areniscas cuarzosas bien estratificadas con marcas de olas y estratificación cruzada.



VUELO G-619/60 FOTO 100 **ESCALA 1:20.000**

CONVENCIONES TOPOGRAFICAS

VIAS	
QUEBRADAS	

CONVENCIONES GEOLOGICAS

FALLA INVERSA	
FALLA NORMAL	
FALLA CUBIERTA INFERIDA	
SINCLINAL	
BUZAMIENTO FOTOGEOLOGICO	

CUATERNARIO SUELO RESIDUAL	Qsr
CUATERNARIO ALUVIAL	Qlla
FORMACION GUADUAS MIEMBRO MEDIO	Ktgm
FORMACION GUADUAS MIEMBRO INFERIOR	Ktgi
FORMACION GUADALUPE LABOR Y TIERNA	Ksgt
FORMACION GUADALUPE PLAENERS	Ksgp

FIGURA 3.2 FOTOINTERPRETACION GEOLOGIA REGIONAL

Formación Guaduas Conjunto Medio (KTgm): está integrado por bancos de areniscas cuarzosa de grano fino a grueso, con espesor aproximado a los 10 metros, intercalados con niveles de arcillolitas grises-violáceos abigarradas de consistencia blanda y arcillolitas marrones a oscuras con abundantes fragmentos de hojas.

Depósito Fluvioglacial (Qfg): Corresponde a un depósito de origen fluvioglacial conformado por cantos y bloques subangulares a subredondeados de arenisca cuarcítica con tamaños superiores a un metro de diámetro que sobresalen en la topografía del sector, se encuentran matriz-soportados en un suelo de carácter limo arenoso de color negro y un nivel delgado de cenizas volcánicas.

Suelos Residuales (Qsr): son materiales de composición variada, desde arcillosa hasta arenosa, producidos por la meteorización química de las rocas subyacentes de conformación arenoarcillosa (Formación Guaduas, conjuntos medio e inferior), la unidad se localiza hacia la parte sur de la zona de estudio.

Depósitos de Pendiente Tipo Coluvión (**Qdlc**): constituidos por materiales heterogéneos producidos por el fracturamiento de la roca y la degradación de las laderas, se localizan hacia la parte media de la ladera que se descuelga hacia la zona plana.

Formación Sabana Terraza Baja (Qtb): corresponde a depósitos limo-arcillosos dejados por la divagación de los ríos Bogotá, Tunjuelito y afluentes. Constituyen la parte baja del cuadrángulo tomado de los registros de la DPAE para la geología regional del presente estudio.

3.2.1.2 Geología Estructural

Estructuralmente el sector se caracteriza por la influencia de un sistema de fallas normales de rumbo aproximado Este–Oeste y buzamiento hacia el norte (ver Mapa 2 Geología Regional, que contiene los respectivos perfiles geológicos). Dicho patrón condiciona el comportamiento del talud de explotación, prueba de ello es la presencia de discontinuidades (diaclasas) que presentan orientaciones muy parecidas al sistema de fallas.

Adicionalmente y sobre un radio de acción de 5 kilómetros (no cartografiados) alrededor de la zona de estudio se destacan por su influencia sistemas de fallas de tipo Inverso que afectan los conjuntos medio e inferior de la Formaciones Guaduas y Guadalupe, entre las fallas importantes se encuentran la de Terreros, de rumbo aproximado E-W y localizada al sur del cuadrángulo seleccionado; la falla de Mochuelo que discurre al NE y tiene rumbo NW-SE y la falla de Sucre situada al sur, alineada en sentido NW-SE. Complementariamente se asocian un sinnúmero de fallas satélites relacionadas con las últimas fases de la orogenia andina[1].

[1] Tomado de MAPA GEOLOGICO DE SANTA FE DE BOGOTA, D.C. Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá. Convenio UPES-INGEOMINAS. 1998.

3.2.2 Geología Local

3.2.2.1 Estratigrafía

Con base en la investigación de campo (apiques y trincheras) y en algunos principios básicos de la geología estructural se elaboró un modelo (aproximado) del subsuelo para la zona de estudio, que destaca la secuencia estratigráfica y la disposición estructural del macizo.

La proyección del frente del talud que se muestra en el **Mapa 3** (**Geología Local**) presenta el modelo Estratigráfico interpretado en una longitud de 170 m. Este modelo permite apreciar que la secuencia estratigráfica la cual presenta una serie bien definida de areniscas cuarzosas granodecrecientes de base a techo y arcillolitas abigarradas de consistencia blanda. La secuencia tiene un espesor de 20.30 m y está conformada de base a techo por cuatro (4) niveles de roca y dos unidades de depósitos recientes así:

Nivel de Arenisca Inferior ($KTgmss_1$): con un espesor visible de 3.60 m, está conformada por un banco de arenisca cuarzosa granodecreciente de base a tope, bien seleccionada, coloración parda amarillenta, compacta (cementada), con estratificación plano-paralela a masiva, siendo predominante la segunda y con resistencia moderada. Su mejor exposición se presenta en el sector occidental de la explotación hacia la base del escarpe. El contacto con el nivel $KTgmcl_1$, es fallado, constituyendo de esta manera un limite para la zonificación estructural, definitivo para llevar a cabo el análisis de estabilidad del frente de explotación.

Nivel de Arcillolita Inferior ($KTgmcl_1$): de 4.60 m de espesor. Corresponde a arcillolitas de coloración variada (grises, amarillas, rosadas y negras), se caracterizan por tener una estratificación plana (laminar) bien definida, delgados niveles de arenisca cuarzosa de grano muy fino y otros con incrustaciones ferruginosas. Hacia la base de esta unidad las arcillolitas negras y rosadas, presentan un alto contenido de restos de plantas (fragmentos de hojas y tallos) y algunos niveles caoliníticos presentando un tacto graso. Esta arcillolita se muestra representativamente en el frente de explotación (movimiento principal) y representa para la estabilidad del escarpe el soporte de la roca suprayacente pues aquí se están generando procesos acelerados de erosión diferencial.

Nivel de Arcillolita Superior ($KTgmcl_2$): corresponde a arcillolitas grises abigarradas que en la superficie expuesta toma una coloración violeta, en condiciones de humedad presentan una plasticidad alta y cuando están deshidratadas son deleznables. En el afloramiento de estudio, exclusivamente en el talud occidental, se presentan acuñamientos significativos generados por las fallas normales identificadas que tienen una orientación preferencial E-W, lo cual dificulta la determinación de su espesor real, sin embargo se calcula un promedio de 3.30 metros. Al igual que el nivel anterior, esta arcillolita presenta procesos de erosión diferencial que en definitiva condicionan la estabilidad de los paquetes suprayacentes de arenisca y al aglomerado, generando su descompresión y/o desconfinamiento.

Nivel de Arenisca Superior ($KTgmss_2$): constituida por areniscas cuarzosas de grano medio a grueso, cemento silíceo, color amarillo con tonalidades rojizas debido a la presencia de óxidos de hierro, dureza alta, estratificación masiva y cruzada hacia el tope, tiene un espesor de 3.30 metros. La sección más importante de esta unidad se expone en el talud sur de la cantera.

Depósito de roca Triturada (Qdrt): Constituida por bloques angulares de arenisca cuarzosa, de granulometría variable, coloración amarillenta, deleznables y arista promedio de 50 centímetros, conformando un depósito clastosoportado que tiene un espesor promedio de 4.0 metros, su origen se asocia probablemente a la meteorización física de la arenisca producida por los cambios bruscos de temperatura ligados al período glacial. Esta unidad se caracteriza por que en ella se generan los desprendimientos de bloques en la parte alta.

Depósito Fluvioglacial (Qfg): Corresponde a un depósito de origen fluvioglacial conformado por cantos y bloques (tamaños superiores a un metro de diámetro que sobresalen en la topografía del sector) subangulares a subredondeados de arenisca cuarcítica de granulometría variable, cemento silíceo, coloraciones que van desde blancas hasta rojizas; estos bloques se encuentran matriz-soportados en un suelo de carácter limo arenoso de color negro por su contenido de materia orgánica y un nivel delgado de cenizas volcánicas. Con espesor variable, sin embargo se estima su espesor máximo en 4.20 metros.

Las **Figuras A1 a A10** del **Anexo A** muestran las columnas levantadas en el talud y la **Figura 3.3** la columna estratigráfica detallada del área de estudio.

3.2.2.2 Depósitos de Origen Reciente y Antrópico

Cubriendo discordantemente la secuencia, se presentan depósitos recientes y antrópicos. Los primeros integrados principalmente por fragmentos arenosos de varios tamaños y detritos arcillosos, se localizan en el frente del escarpe conformando una ladera dinámica y potencialmente susceptible de sufrir fenómenos de remoción en masa. Los segundos encierran materiales seleccionados, escombros y basuras, los cuales no inciden directamente en las condiciones de estabilidad del área. A continuación se definen los depósitos presentes:

Depósitos de Escombros de Fragmentos Líticos (Qefl): corresponde a depósitos no consolidados de fragmentos rocosos de arenisca con tamaños que oscilan entre 0.5 y 3.0 metros, los cuales se encuentran apilados en el antiguo patio de explotación.

Depósitos de Detritos (Qdd): conformados por materiales areno arcillosos de tamaño variable, originados por la caída de bloques de la parte alta y su acumulación entremezclada con materiales arcillosos en la parte baja, presentando un espesor que oscila entre 1.0 y 2.0 m. Esta unidad se caracteriza por la generación de flujos de detritos asociados al incremento de la humedad de los materiales y la pendiente pronunciada en la cual se desarrollan.

Rellenos (Qre): compuestos por materiales seleccionados y compactados que conforman los rellenos de las vías y construcciones aledañas al área de estudio, principalmente hacia el borde nororiental, con espesores no superan los 1.50 m.

Depósitos de Escombros (Qe): compuestos por materiales mal seleccionados que corresponden a materiales de demolición, fragmentos rocosos y tierra.

Depósitos de Basuras (Qba): constituidos por materiales heterogéneos de origen doméstico.

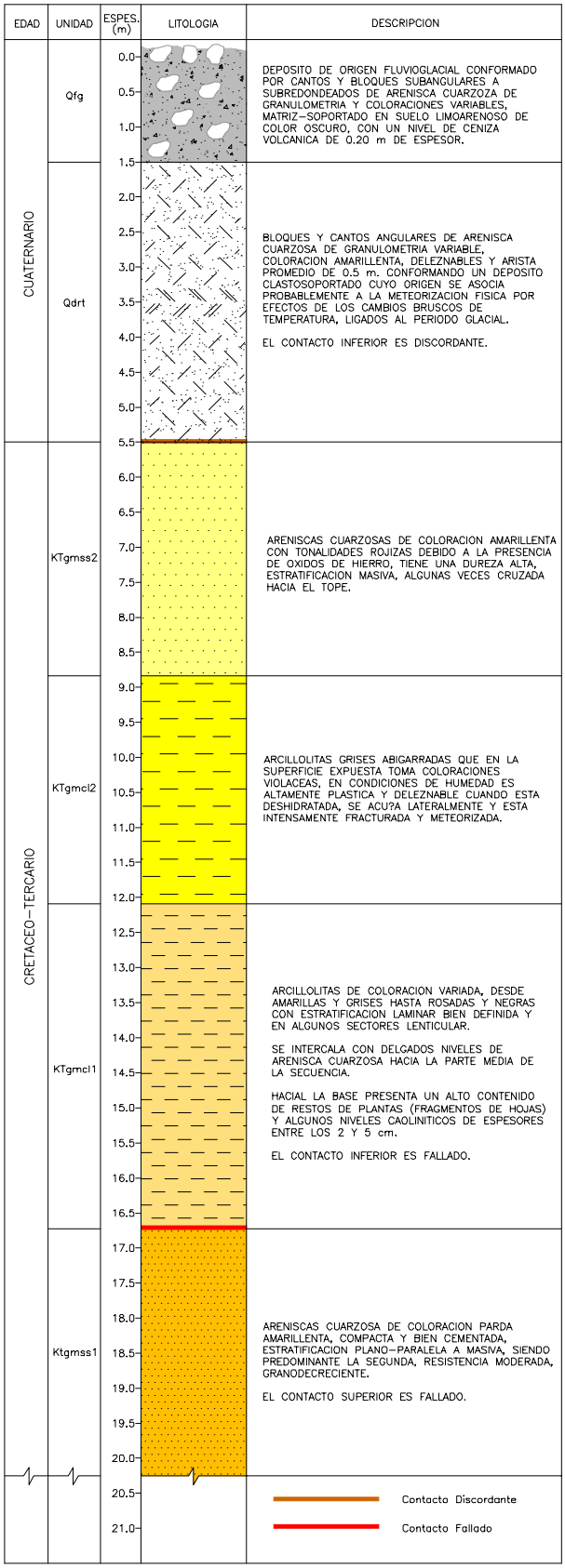
PROYECTO: CASALOMA HGA140

COLUMNA No. DETALLADA

ESPESOR: 20.30 m.

LOCALIZACION: FRENTE DE EXPLOTACION

ESCALA: 1:75



HGA140F3–3

DIRECCION DE ATENCION Y PREVENCION DE EMERGENCIAS

Figura 3.3

COLUMNA ESTRATIGRAFICA DETALLADA

3.2.2.3 Geología Estructural

La secuencia estratigráfica se encuentra fallada definiendo dos grandes bloques estructurales, uno al norte y otro al sur. El limite de los bloques está determinado por una falla normal con rumbo E-W y buzamiento hacia el sur, poniendo en contacto arcillolitas ($KTgmcl_1$) y areniscas ($KTgmss_1$) como se observa en el mapa 3 de Geología Local.

El anterior panorama redunda en el fuerte patrón de diaclasamiento y el errático comportamiento de los datos estructurales. Sin embargo, de acuerdo con los registros de campo se concluye que los macizos están afectados por cuatro sistemas de discontinuidades cuyas bandas están agrupadas así:

Estratificación Talud Occidental	(E1)	:	E-W/30N - N30W/10NE
Estratificación Talud Sur	(E1)	:	E-W/15N - N30E/10NW
Diaclasas Principales :	(D_2)	:	N30E/60SE - N70E/90SE
	(D_3)	:	E-W/65S - N60W/90
	(D_4)	:	N30E/70NW - N75W/90

Las diaclasas se caracterizan por presentar baja persistencia, espaciamiento moderado a bastante próximo, abertura desde cerrada hasta parcialmente abierta y el relleno es principalmente arcillo arenoso. La rugosidad de las paredes es lisa a ondulada suave.

El análisis detallado del comportamiento, homogeneidad e influencia de las discontinuidades sobre la estabilidad del macizo se realiza en la evaluación geotécnica del área.

3.3 GEOMORFOLOGIA

3.3.1 Geomorfología Regional

El sector estudiado se encuentra localizado sobre laderas irregulares, en el flanco occidental del sinclinal de Usme, distante siete kilómetros de su eje. La morfología es escarpada en los taludes de rocas resistentes que conforman contrapendiente estructural y taludes conformados en sitios de cantera de explotación de materiales; moderadamente a suavemente inclinada sobre laderas de pendiente estructural y depósitos recientes de origen coluvial; y semiplana a plana en las zonas de terraza aluvial (**Mapa 5 Geomorfología Regional**).

Las geoformas presentes son el producto de la compleja evolución tectónica del Terciario, de los procesos de erosión y acumulación, mediante la delimitación de fenómenos de remoción en masa y de la explotación de materiales rocosos. Las excavaciones antiguas han dejado como resultado el destape de las rocas aflorantes y la conformación de taludes de fuerte pendiente afectados por erosión diferencial y degradación de las arcillolitas.

Mediante la recopilación de información secundaria y el reconocimiento de campo, se identificaron cinco geoformas relacionadas con el relieve, función hídrica, materiales (rocas y suelos) y procesos denudativos, las cuales se han agrupado en unidades tomadas del mapa geomorfológico regional elaborado por Ingeocim Ltda para la DPAE en el año 1998, descritas a continuación:

- **Pendientes Estructurales (I B).** La morfología característica es de pendiente moderada a inclinada y drenaje subdendritico, conformando laderas de pendiente estructural, laderas irregulares y relieves montañosos de control estructural, en las cuales predominan secuencias de areniscas cuarzosas de grano fino a grueso, intercalados con niveles de arcillolitas grises-violáceos abigarradas de consistencia blanda y arcillolitas marrones a oscuras con abundantes fragmentos de hojas.

- **Crestas Redondeadas (I D).** Se caracteriza por tener una pendiente moderada a suavemente inclinada y drenaje subdendritico a subparalelo, al igual que en la unidad anterior, se presentan laderas irregulares y relieves montañosos de control estructural algo colinados y zonas semiplanas de suelos residuales de origen arenoarcilloso.

- **Terrenos Ondulados (II B).** La morfología presenta una pendiente fuertemente inclinada a escarpada, como parte de un relieve colinado de control estructural e influencia de una falla normal de rumbo E-W, que disloca las rocas arenosas y arcillosas aflorantes de los conjuntos medio e inferior de la Formación Guaduas.

- **Laderas de Acumulación (VA).** Cobija una morfología de pendiente suave a moderadamente inclinada, drenaje subparalelo, conformando laderas depositacionales constituidas de diversos materiales arenoarcillosos de tamaño variado (bloques y cantos), subangulares, producidos por el fracturamiento de la roca y la degradación de las laderas embebidos en matriz limo arcillosa.

- **Valles de Planicie (VI B).** Morfológicamente se caracteriza por una zona de pendiente plana a suavemente inclinada; corresponde a depósitos limo-arcillosos consolidados, dejados por la divagación del río Tunjuelito y sus afluentes.

3.3.2 Geomorfología Local

Si bien el área de estudio pertenece regionalmente a la unidad geomorfológica de pendiente estructural, localmente esta matizada por geoformas producto de procesos antrópicos y de remoción en masa, Caídas de bloques, Flujos de detritos, Deslizamientos Traslacionales y Erosión Concentrada, en unidades arenosas y arcillosas, (**Mapa 4 Morfodinámico**).

3.3.2.1 Unidad de Pendiente Estructural (PE)

La morfología característica es de pendiente moderada a inclinada, conformando laderas de pendiente estructural, en las cuales predominan secuencias de areniscas cuarzosas intercaladas con niveles de arcillolitas, por encima de esta columna se encuentra un depósito de origen fluvioglacial (Qfg), el cual se dispone en la misma dirección del buzamiento de la roca subyacente y se constituye desde el punto de vista morfodinámico como una unidad que se desestabiliza más fácilmente, dado el favorecimiento de la pendiente y la intervención antrópica del lugar. Esta unidad se localiza hacia el occidente y sur de la zona de estudio, ocupando aproximadamente el 60% del área total.

3.3.2.2 Unidad de Escarpe Inestable por Caída de Bloques (EICB)

Corresponde a la parte más alta del antiguo frente de explotación de la cantera, afecta las unidades litológicas presentes, principalmente los depósitos de roca triturada (Qdrt) y fluvioglacial (Qfg). Los

bloques desprendidos por el desconfinamiento de la masa, tienen volúmenes que oscilan entre 0.5 y 4 m^3, presentan forma rectangular y se movilizan sobre una pendiente aproximada de 70º. La unidad se localiza hacia los sectores sur y occidente de la cantera.

3.3.2.3 Unidad de Ladera Inestable por Falla Traslacional (LIFT)

Corresponde explícitamente a tres masas inestables, donde el mecanismo de falla semeja un deslizamiento planar con grieta de tracción, coincidiendo la profundidad máxima de esta última con el plano de estratificación de la roca, dando como resultado una superficie potencial de deslizamiento. La secuencia constitutiva de esta unidad son arcillolitas, areniscas, roca triturada y deposito fluvioglacial, localizados en el talud sur y occidental de la cantera.

3.3.2.4 Unidad de Ladera Inestable por Flujo de Detritos (LIFD)

Corresponde a la ladera menos inclinada del escarpe en donde la pendiente alcanza los 40º, se localiza en la parte media-baja del talud, hacia los bordes oriental y occidental de la zona. Está conformada por materiales descompuestos de areniscas y arcillolitas (unidades Qdrt, $KTgmss_2$, $KTgmcl_1$ y $KTgmcl_2$), con tamaño de grano que oscila entre grava gruesa y arena fina. Son producto de acción del agua y del desconfinamiento general de la masa.

3.3.2.5 Erosión Pluvial (EPC)

Este proceso se manifiesta de manera concentrada hacia el flanco oriental de la zona, donde las unidades arcillosas allí expuestas son las más afectadas ($TKgmcl_1$ y $TKgmcl_2$), la formación de surcos y cárcavas evidencian un alto grado de desarrollo, que contribuyen sustancialmente a la desestabilización del terreno y a la falta de cobertura vegetal. Hacia la parte norte de esta unidad, donde la cobertura y resistencia que ofrece la roca y el suelo aflorante es más alta que en el anterior sector, el proceso erosivo es de tipo laminar y actúa con menor intensidad que en otros sectores.

3.3.2.6 Procesos Morfodinámicos

3.3.2.6.1 Caída de Bloques

Este fenómeno domina la parte central del talud sur, asociado a la unidad geomorfológica EICB, donde se localizan las más amplias exposiciones de la unidad de roca triturada (Qdrt). Está favorecida por el bajo entrabamiento de los bloques que constituyen, el depósito, las altas pendientes de los cortes y al avanzado deterioro de los taludes. Los bloques movilizados son principalmente de areniscas, su tamaño es de mediano a grande con aristas entre 0.5 m y 1 m de ancho.

La longitud de viaje de los bloques “claves” oscila entre 15 y 20 m (de acuerdo con los desplazamientos medidos en campo) y su movilización es el resultado (en algunos casos) de la conformación progresiva de superficies libres, es decir, la caída de otros bloques, los empujes lateral de las unidades líticas producto del reacomodo, y la pérdida de soporte en la base.

3.3.2.6.2 Flujos de Detritos

Cobijan la base del frente de explotación, aunque se circunscriben principalmente sobre las exposiciones de la secuencia arcillosa (talud sur), están conformados por material descompuestos de

areniscas y arcillolitas (unidades Qdrt, $KTgmss_2$, $KTgmcl_1$ y $KTgmcl_2$), con tamaño de grano que oscila entre grava gruesa y arena fina. Son producto de acción del agua y del desconfinamiento general de la masa, se asocian a la unidad geomorfológica EIFD.

Los dos únicos fenómenos de este tipo poseen longitudes 38 y 23 m, el ancho promedio alcanza los 12m el espesor estimado no supera el metro (véanse las fichas CL03 y CL04) y pueden clasificarse como activos avanzados.

3.3.2.6.3 Deslizamientos Traslacionales

Tienen lugar en el talud central y en los flancos occidental y sur de la cantera, son procesos de actividad potencial y el mecanismo de falla semeja un deslizamiento planar con grieta de tracción, donde la superficie de deslizamiento coincide con el plano de estratificación y el ángulo de movilización oscila entre 15 y 25°. Las grietas producto del desconfinamiento se dibujan en el tope del talud con rumbo E-O, NW-SE, y NE-SW, están separadas de cara del mismo entre 3m y 8m; su profundidad oscila entre 4.5 y 6.0 metros (Fichas CL01 y CL02 del **anexo C**), están asociados a la unidad geomorfológica EIFT, (Mapa 4 Morfodinámico).

3.4 ASPECTOS GEOTÉCNICOS

3.4.1 Exploración del Subsuelo

La investigación geotécnica fue direccionada por las características de la zona donde se emplaza el barrio. Casa loma está construido en el dominio de un potente macizo rocoso, parcialmente descubierto, enmarcado por cortes cuasiverticales hasta de 15 m de altura, que permiten observar la secuencia estratigráfica en toda la longitud del frente de explotación y en áreas aledañas.

Todo este conjunto reveló la poca utilidad que tendrían las perforaciones frente a la mayor cantidad de información y claridad de interpretación que se podía obtener con el levantamiento de columnas estratigráficas. Máxime, si se toma en consideración la dominante influencia tectónica en la caracterización estructural de la zona y en el comportamiento del macizo rocoso. La investigación del subsuelo involucró, así, la exploración directa mediante trincheras (columnas estratigráficas) y apiques, y levantamientos estructurales. Con relación al primer tópico se levantaron ocho (8) columnas estratigráficas en todo el frente y dos (2) apiques, que permitieron formular el modelo estratigráfico del sector. Con el segundo tópico se pretendió facilitar la clasificación del macizo y determinar la influencia de las discontinuidades en la estabilidad de los taludes existentes.

Durante el levantamiento estructural se tomó información de las familias de discontinuidades, identificando orientación, separación, abertura, tipo de relleno, rugosidad y persistencia de las familias principales y secundarias. Con estos elementos se determinaron parámetros como el índice del tamaño del bloque, el control volumétrico de diaclasas (Jv), el RQD y el JRC, importantes en el estudio del comportamiento del macizo (véase numeral 3.4.3).

Esta última investigación reveló como rasgos característicos de la ladera: el homogéneo patrón estructural, expresado en la clara definición de las familias de diaclasas; el comportamiento relativamente homogéneo del patrón estratigráfico y por ende la casi directa correlación entre las trincheras.

Las **figuras A11 a A21** del anexo A muestran las secuencias estratigráficas tomadas en cada trinchera y apique, y destacan el tipo de material rocoso aflorante, sus características textuales y mineralógicas, la localización y estación estructural asociada. El **Mapa 6 (Exploración del Subsuelo)**, por su parte indica la distribución espacial, y la ubicación tanto de las columnas como de las estaciones de levantamiento estructural.

3.4.2 Ensayos de Laboratorio

El programa de ensayos se dirigió a la caracterización del material rocoso, a la estimación de la resistencia al corte en los planos de discontinuidad y la clasificación del macizo rocoso. Por ello se decidió una campaña de muestreo sistemático de los principales frentes de exposición del macizo a lo largo de ladera y, una completa revisión de la estabilidad y de los mecanismos de falla.

La caracterización del material rocoso se llevó a cabo sobre muestras irregulares de bloque, que fueron sometidas a pruebas índice de peso unitario, carga puntual, corte directo y compresión inconfinada. Los testigos ensayados correspondieron a unidades de roca de los bancos superiores de arenisca e inferiores de arcillolita. Así, entonces, se ensayaron areniscas cuarzosas de grano fino a medio y arcillolitas grisáceas.

Los valores del índice de carga comprendido entre 0.65 kg/cm^2 y 34 Kg/cm^2 muestran una banda amplia del esfuerzo a compresión simple desde 1.8 kg/cm^2 hasta 842 kg/cm^2 (**Tablas 3.1 y 3.2**) que confirman los bajos niveles de resistencia del material rocoso.

El espectro anterior fue concordantemente ratificado por los valores reportados de las pruebas de compresión simple, que cobijó como esfuerzo máximo (σc) 68 kg/cm^2 para la arcillolita y 86 kg/cm^2 en la arenisca.

Los ensayos de corte se efectuaron en muestras inalteradas a niveles del esfuerzo normal similares al de campo y a condiciones de humedad cercanas al contenido natural. Los testigos pertenecientes a la unidad Tkgmss2 arrojaron como parámetros de resistencia al corte: c = 9.53 ton/m^2 y $\varnothing$ = 28 (Tabla 3.2). En el **Anexo D** se presentan los resultados de las pruebas de corte y las envolventes de falla interpretadas.

Con el fin de estimar la resistencia al corte en los planos de discontinuidad, se realizaron ensayos de bloque deslizante y corte directo tomando como plano de movilización el plano de estratificación. Para el plano de resistencia mínima (considerada así en este trabajo) se obtuvo como parámetros de corte pico: c = 5.5 ton/m^2 y 9.5° ≤ Ø ≤ 18° (Tabla 3.2) y residuales $0 \leq c_r \leq 5$ ton / m^2 y $\varnothing_r$ = 8.8º.

Finalmente, todo ello facilitó gracias a la aplicación de los sistemas de Hoek (1995), Bieniawski (1976) y, las teorías de Hoek & Brown (1980) y Barton (1973), una adecuada clasificación del macizo rocoso, y una estimación de los parámetros de comportamiento básico del mismo.

3.4.3 Características del Subsuelo

A continuación se hace una breve descripción de algunas características geomecánicas de los materiales que componen la zona de estudio. Especialmente, de las componentes principales del macizo rocoso y el material objeto de estudio.

TABLA 3.1

ESTUDIO GEOTÉCNICO - BARRIO CASALOMA

ENSAYOS DE CARGA PUNTUAL

MUESTRA	g (T/m^3)	P (Kg-f)	D1 (cm)	W1 (cm)	W2 (cm)	De (cm)	Is (Kg/cm^2)	F	Is$_{50}$ (Kg/cm^2)	Is$_{50}$ (Kg/cm^2)	s'$_c$ (Kg/cm^2)	DESCRIPCION
M6-E1	1.992	20	3.7	5.6	5.2	4.9	0.82	1.00	0.81			Arcillolita limosa habana oscura, fisurada.
M6-E2	1.992	12	3.6	5.3	4.5	4.5	0.58	0.96	0.56			
M6-E3	1.992	10	3.5	4.8	3.9	4.2	0.58	0.92	0.53			
M6-E4	1.992	15	2.3	3.4	2.9	2.9	1.77	0.78	1.39			
M6-E5	1.992	16	3.6	4.9	4.7	4.6	0.74	0.97	0.72			
M6-E6	1.992	8	2.5	3.6	3.2	3.2	0.79	0.82	0.64			
M6-E7	1.992	9	3.4	4.7	3.5	3.9	0.59	0.89	0.53	0.74	18	
M8-E1	2.109	39	3.5	5.6	5.3	4.9	1.65	0.99	1.63			Arcillolita limosa habana amarilla con planos oxidados.
M8-E2	2.109	24	3.4	5.0	4.0	4.2	1.39	0.92	1.28			
M8-E3	2.109	59	4.7	6.5	5.7	5.8	1.73	1.07	1.85			
M8-E4	2.109	73	3.7	6.1	5.4	5.0	2.87	1.00	2.88			
M8-E5	2.109	54	2.9	4.5	3.4	3.5	4.38	0.85	3.73			
M8-E6	2.109	59	2.7	3.4	3.0	3.2	5.72	0.82	4.69			
M8-E7	2.109	44	3.2	4.1	4.0	4.0	2.70	0.91	2.45			
M8-E8	2.109	34	3.0	3.8	3.5	3.7	2.54	0.87	2.21	2.59	62	
M9-E1	2.074	18	3.4	4.1	3.7	4.0	1.14	0.90	1.03			Arcillolita habana con oxidaciones y trazos violetas.
M9-E2	2.074	9	2.4	4.0	3.5	3.3	0.84	0.83	0.70			
M9-E3	2.074	11	3.7	4.1	3.6	4.1	0.65	0.92	0.59			
M9-E4	2.074	12	3.5	5.6	4.5	4.5	0.60	0.95	0.57			
M9-E5	2.074	10	3.3	4.5	3.5	3.8	0.68	0.89	0.60			
M9-E6	2.074	19	3.7	6.0	4.7	4.7	0.86	0.97	0.83			
M9-E7	2.074	7	3.5	5.0	4.3	4.4	0.37	0.94	0.34			
M9-E8	2.074	10	3.6	5.0	3.5	4.0	0.62	0.91	0.56	0.65	16	
M11-E1	2.212	832	4.9	7.0	6.0	6.1	22.23	1.10	24.34			Arenisca de grano fino a medio, color habano oxidado.
M11-E2	2.212	955	3.6	6.0	4.2	4.4	49.61	0.94	46.77			
M11-E3	2.212	930	4.2	6.1	4.7	5.0	37.00	1.00	37.05			
M11-E4	2.212	881	3.5	5.5	4.0	4.2	49.42	0.93	45.80			
M11-E5	2.212	416	3.5	4.1	3.7	4.1	25.23	0.91	22.97			
M11-E6	2.212	460	3.1	4.2	3.8	3.8	31.59	0.89	27.97			
M11-E7	2.212	862	4.0	5.6	5.3	5.2	31.93	1.02	32.49			
M11-E8	2.212	529	2.6	3.9	3.7	3.5	44.04	0.85	37.34	34.34	824	

D:\Consultoria\Casaloma\Geotecnia\Laboratorio\CargaPuntual

TABLA 3.2
INVESTIGACION DEL SUBSUELO
CUADRO RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

PROYECTO	:	ZONIFICACIÓN DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA
LOCALIZACION	:	SANTAFE DE BOGOTA - BARRIO CASALOMA
CLIENTE	:	FONDO PARA LA PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS (FOPAE)

ENSAYOS EFECTUADOS AL MATERIAL ROCOSO

Fecha: Feb-00 Nivel freático: no

SONDEO	MUESTRA	PROFUND. (m)	DESCRIPCION	CLASIF. USC	PESO UNITARIO g (T/m³)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN COMP SIMPLE s_c (T/m²)	CARGA PUNTUAL Is (T/m²)	TRACCION BRASILERA (T/m²)	PARAMETROS DE RESISTENCIA (T/m²) C	f	Cr	f r	RECOBRO (%)
T2	2		Arcillolita amarilla, fracturada y meteorizada		2.00	68							
	6		Arcillolita gris violácea, abigarrada		1.99	18	7.4	43					
	8		Arcillolita gris amarillenta		2.10	62	25.90						
T5	9		Arenisca cuarzosa de grano fino, matriz arcillosa deleznable		2.07	16	6.5						
	11		Arenisca cuarzosa de grano fino, amarilla, fracturada, matriz arcillosa.		2.20	842	343.40						
	12		Arenisca cuarzosa de grano fino blanco amarillenta		2.19	86			9.53	28			

ENSAYOS EFECTUADOS SOBRE LOS PLANOS DE DISCONTINUIDAD

Fecha: Feb-00 Nivel freático: no

SONDEO	MUESTRA	PROFUND. (m)	DESCRIPCION	CLASIF. USC	PESO UNITARIO g (T/m³)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN COMP SIMPLE s_c (T/m²)	CARGA PUNTUAL Is (T/m²)	TRACCION BRASILERA (T/m²)	PARAMETROS DE RESISTENCIA (T/m²) C	f	Cr	f r	RECOBRO (%)
T2	2		Arcillolita amarilla, fracturada y meteorizada						6	9.5	5.3	8.8	
	6		Arcillolita gris violácea, abigarrada						5.5	17.8	0.34	17.8	
T5													

c:\consultoria\casaloma\geotecnia\laboratorio\cuadro resumen

3.4.3.1 Macizo Rocoso

3.4.3.1.1 Discontinuidades

Las discontinuidades de un macizo rocoso pueden ser descritas mediante la observación de afloramientos, mediante núcleos provenientes de perforaciones y por métodos de fotogrametría terrestre. En este trabajo, como ya fue destacado, se empleo la información obtenida de afloramientos (denominados aquí estaciones de levantamiento estructural), tomando como base los procedimientos sugeridos por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas, ISRM - 1981.

La medición de orientación en campo se efectúo no solo en el área de cantera, sino en los cortes aledaños con patrón estructural similar. Se obtuvo así datos estructurales con una cobertura de 6 estaciones. Este proceso encuentra explicación en la necesidad de definir claramente los patrones las familias de diaclasas, pues en Casaloma el disímil marco de exposición del macizo no permitió la toma de un número aceptable de registros.

La distribución espacial y la localización de las estaciones de levantamiento estructural se pueden apreciar en el Mapa 6 (Exploración del Subsuelo). El inventario de los datos obtenidos y las características de las discontinuidades asociadas a ellos, están compilados en las carteras de campo (**Anexo E**).

Los resultados de las mediciones se presentan por cada zona de investigación mediante diagramas de polos, utilizando la red de proyección equiarial. El procesamiento de los datos estructurales se llevó a cabo gracias a la aplicación del método del círculo flotante para concentraciones entre 1% y 11%. (**Figuras 3.4** a **3.6**).

El conteo general, Figura 3.4, evidencia una moderada dispersión (bandas hasta de 59º) y bajos niveles de concentración de polos (entre 0 % y 7.5 %). Los mas altos porcentajes sobre la circunferencia se aprecian en los bordes de los cuadrantes superiores y en el centro, oscilan desde 6 % hasta 7.5 % e indican que la mayoría de las diaclasas tienen rumbo NE y NW y son esencialmente cuasiverticales (buzamientos superiores a 70º).

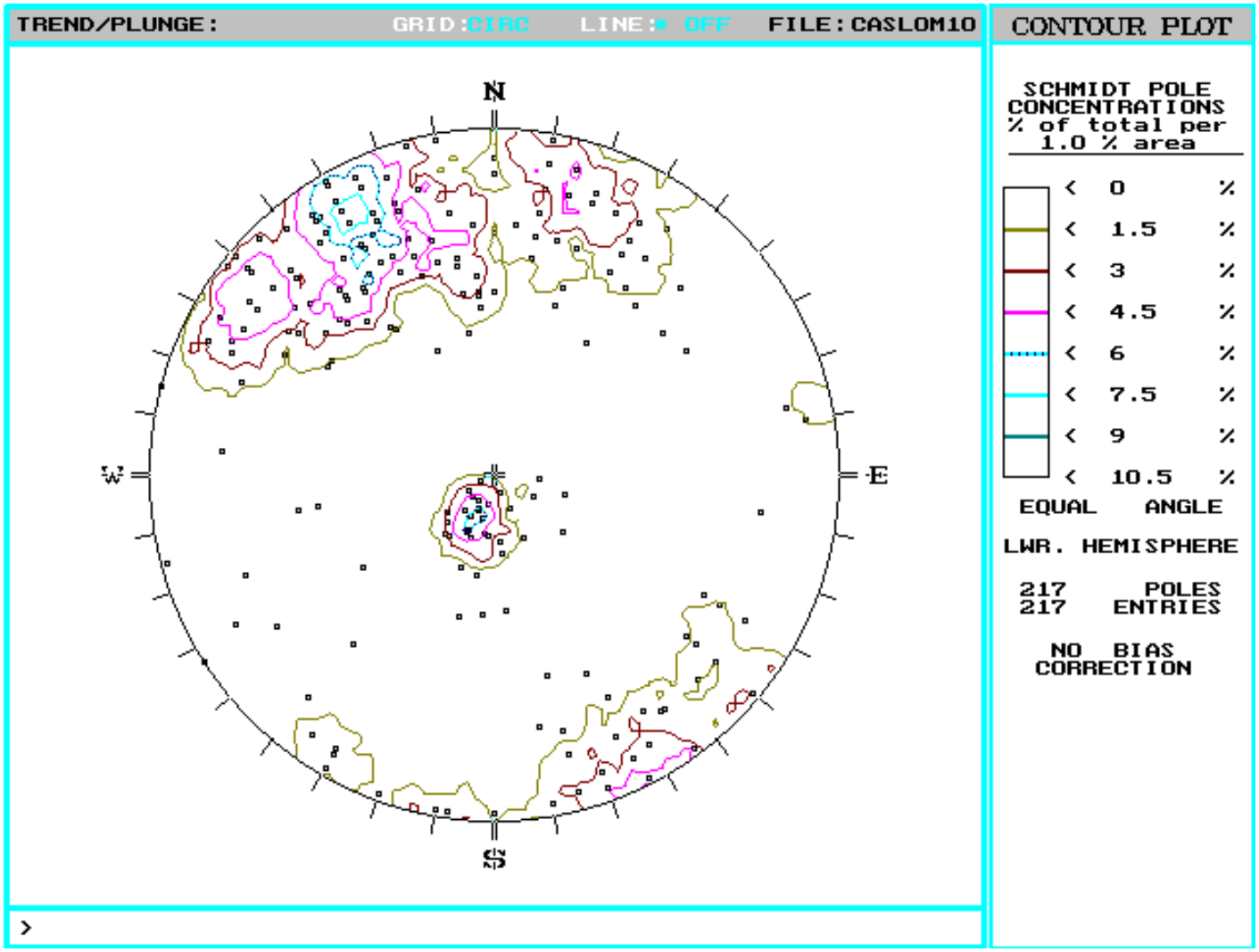
La estratificación, ubicada en el centro de la circunferencia, presenta variaciones en el rumbo desde la NW hasta E-W, y buzamientos desde horizontales hasta 33º, albergadas en dos bandas con percentiles de concentración de polos similares (de 3% a 4.5 %).

El heterogéneo contexto en la posición y distribución de las continuidades, obtenido en el diagrama general de frecuencias, sumado a la influencia de la tectónica local ejercida por los tres lineamientos de falla en la zona, permitieron suponer que el frente de explotación no pertenecía a una sola región estructural.

En este sentido y basado en el juicio del grupo técnico y en un trabajo sistemático con punto de partida en campo en el que se realizaron múltiples análisis de frecuencia para diferentes combinaciones de datos estructurales (asociados a las estaciones), fue posible zonificar el área de estudio en dos regiones estructurales.

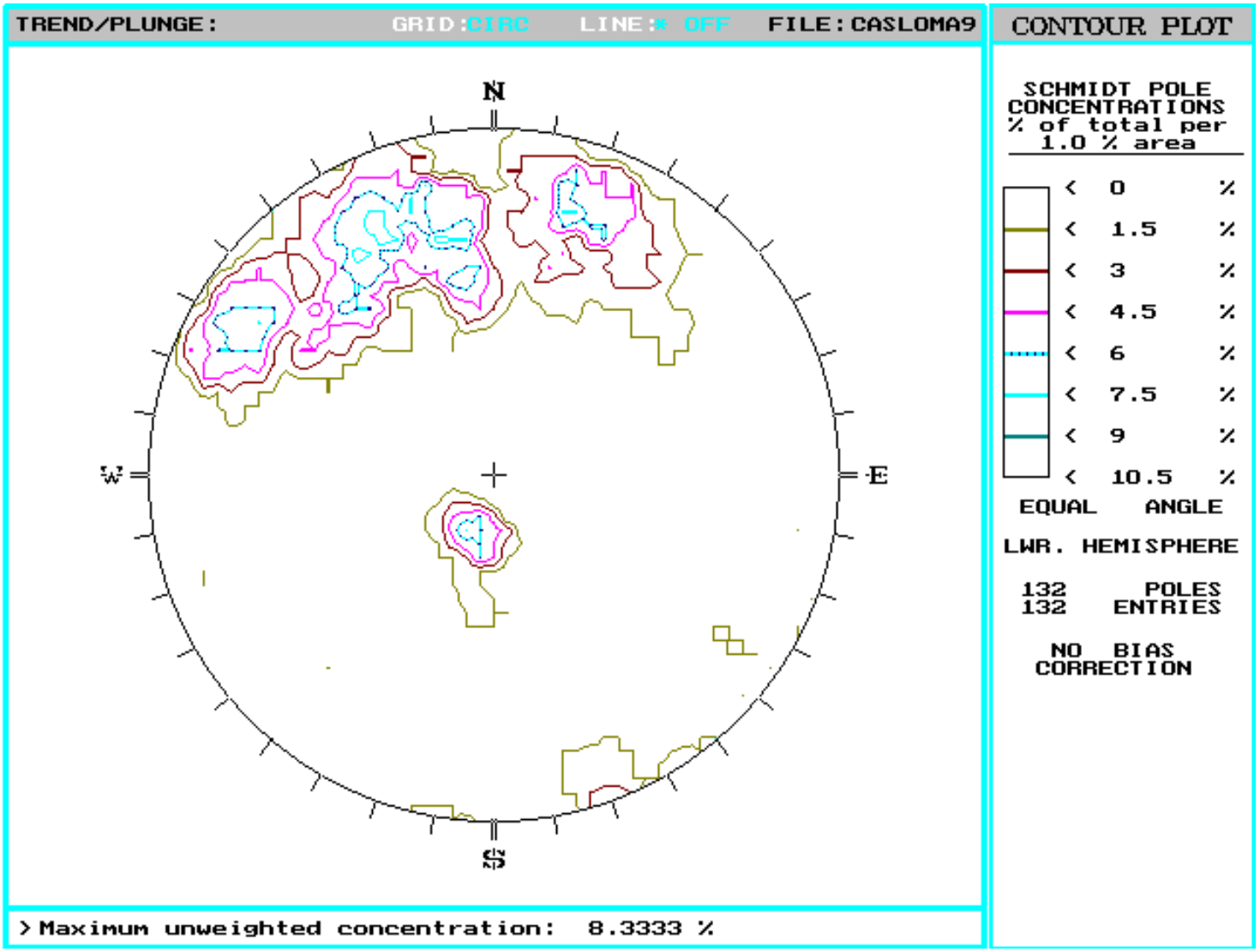
Figura 3.4

ANÁLISIS ESTRUCTURAL - CASALOMA



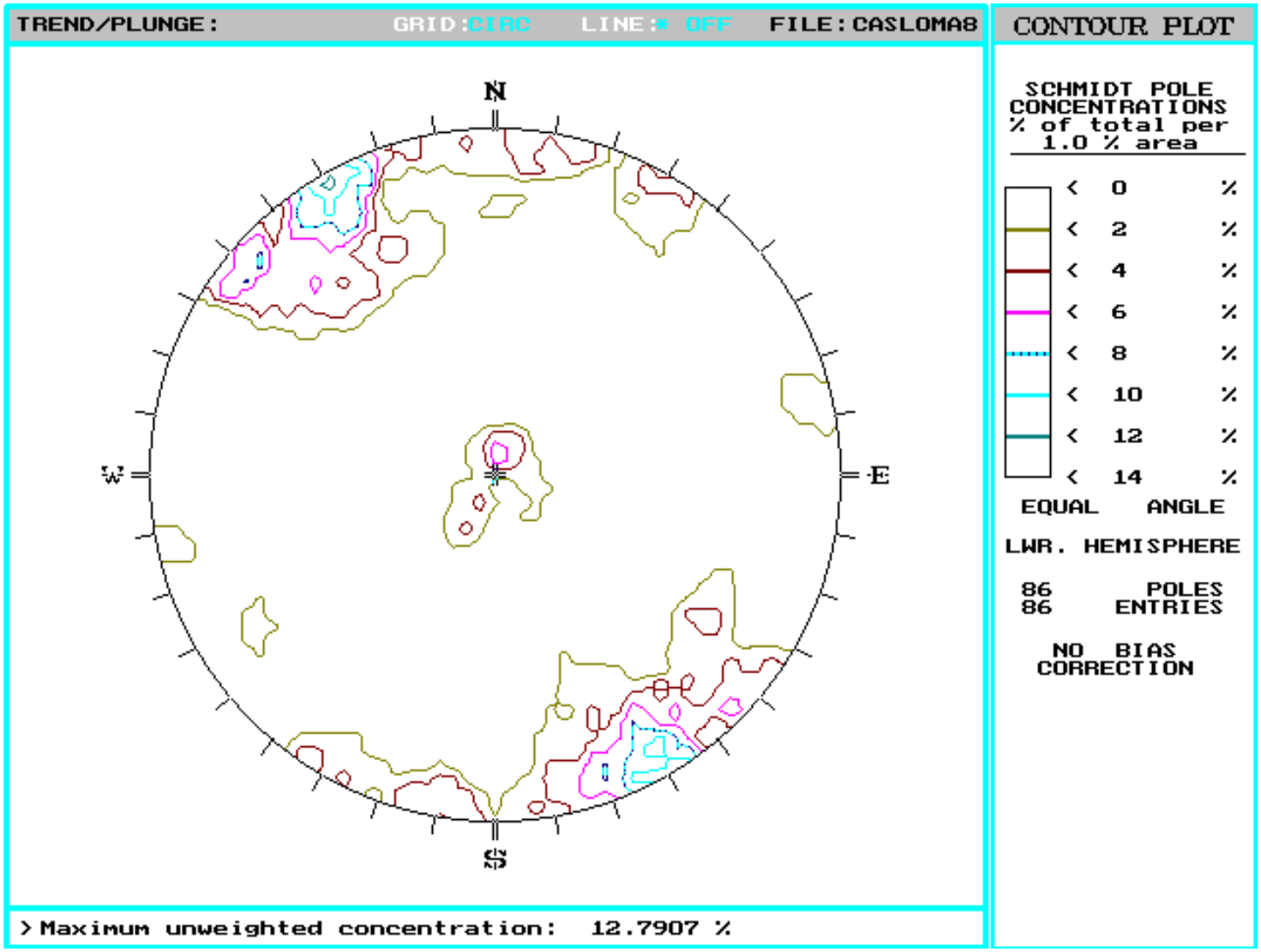
Datos tomados de Estaciones: Todas las estaciones (7 camb)
Fecha: Enero del 2000

Figura 3.5
ANÁLISIS ESTRUCTURAL - CASALOMA (Región Estructural 1)



Datos tomados de Estaciones: 1, 2, 5 y 6
Fecha: Enero del 2000

Figura 3.6
ANÁLISIS ESTRUCTURAL - CASALOMA (Región Estructural 2)



Datos tomados de Estaciones: 3, 4 y 7
Fecha: Enero del 2000

La primera región constituye en esencia el borde occidental del frente de explotación, hasta la zona de influencia del lineamiento de falla de este sector cuyo tren le sirve como limite. Encierra los taludes con la más alta pendiente estructural y posiblemente de mayor facturación relativa. La región estructural dos circunscribe el entalle sur del relieve, si bien tiene un patrón geométrico de diaclasas similar al de la región 1, la orientación de la estratificación da lugar a la división entre estas (Mapa 7).

El procesamiento de los datos para cada una de las regiones estructurales, ilustradas en las Figuras 3.5 a 3.6, mostró de esta manera una ligera dispersión y aceptables niveles de concentración de polos con porcentajes máximos oscilando desde 8 % hasta 12 %, suficientes para definir la tendencia general de las familias de discontinuidades, así.

		Región 1:		**Región 2:**
Estratificación	(E1):	N59W/24NE	(E1):	N58W/11NE
Diaclasas Principales	(D_2):	N61E/82SE	(D_2):	N61E/82SE
	(D_3):	N65E/89NW	(D_3):	N65E/89NW
	(D_4):	N75W/78SW	(D_4):	N75W/78SW

Las familias de diaclasas (D_2, D_3 y D_4), para todas las regiones estructurales, se caracterizan por presentar baja a media persistencia de 2m. a 6m. (**Figuras 3.7 a 3.9**), espaciamiento clasificado como moderado a separado (entre 0.20 m y 2.0 m), abertura desde cerrada hasta parcialmente abierta (0cm a 4cm.) y el relleno es principalmente arenoso. La estratificación en las areniscas es mediana a gruesa, con espesores de estratos entre 50 cm y 200 cm., y en la arcillolita de delgada a gruesa con espesores de 5 cm. a 250 cm.

La rugosidad de las paredes de las discontinuidades en términos descriptivos puede clasificarse, de acuerdo con la ISRM (1981), como tipo V o IV (Véase Anexo E), es decir ondulada suave y ondulada rugosa, respectivamente. El grado de meteorización de las paredes (indistinto del tipo de familia) es decolorado especialmente, puesto que se observan en los niveles de arenisca variaciones de color entre la roca fresca y la pared, asociadas a constituyentes minerales como el hierro.

3.4.3.1.2 Clasificación

La clasificación geomecánica de los macizos rocosos, está basada en la cualificación de diferentes características tanto de la masa en general como del material rocoso. Su objetivo fundamental consiste en estimar los parámetros de comportamiento del macizo.

Las características tomadas en consideración fueron: El RQD, la resistencia a compresión simple del material rocoso, el espaciamiento y las condiciones de las discontinuidades y la influencia del agua subterránea.

El RQD se estimó con base en la relación:

RQD = 115- 3.3 Jv para Jv > 4 o
RQD = 100 si Jv<4

FIGURA 3.7

ANALISIS DE FRECUENCIA FAMILIA DE DIACLASAS D2

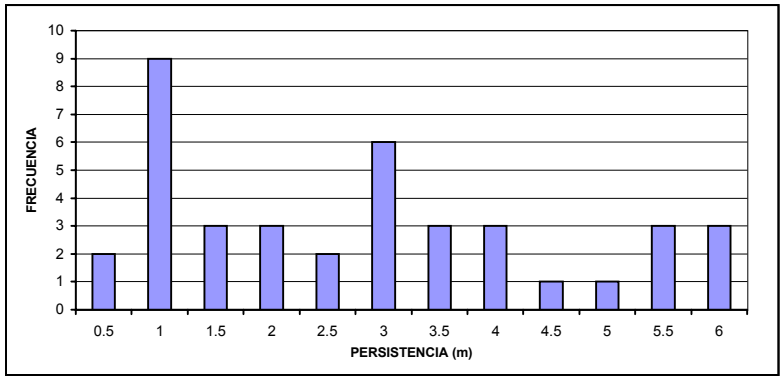
BARRIO CASALOMA

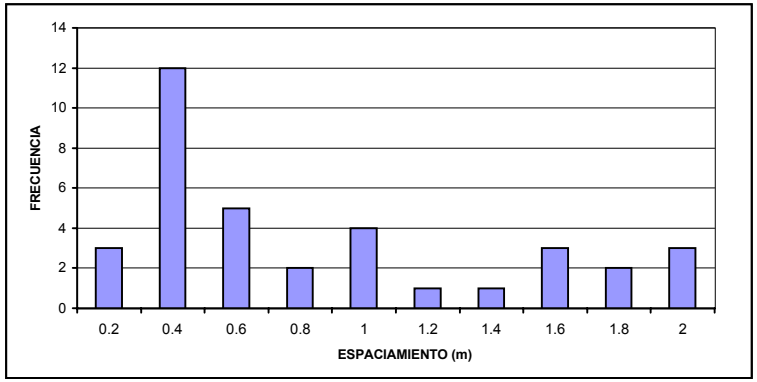
	PERSIS. (m)	ESPACIAM. (m)	ABERTURA (mm)
MEDIA	2.8	0.8	7.0
MODA	1.0	0.3	0.0
MEDIANA	3.0	0.50	5.0
DESVIACION ESTANDAR	1.75	0.58	8.17
MINIMO	0.5	0.10	0.0
MAXIMO	6.0	1.95	40.0
NUMERO DE DATOS	39	36	38

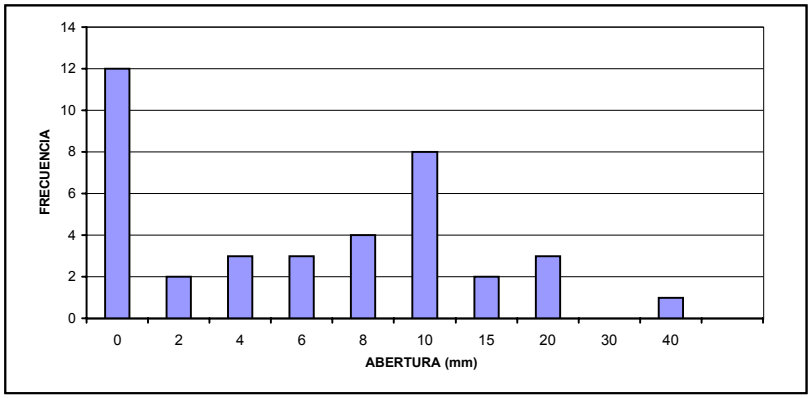
SIN RELLENO	=	16
RELLENO DE ARCILLA	=	6
RELLENO DE ARENA	=	15
RELLENO DE ARENA Y ARCILLA	=	1

PERSISTENCIA (m)	FRECUENCIA	ESPACIAMIENTO (m)	FRECUENCIA	ABERTURA (mm)	FRECUENCIA
0.5	2	0.2	3	0	12
1	9	0.4	12	2	2
1.5	3	0.6	5	4	3
2	3	0.8	2	6	3
2.5	2	1	4	8	4
3	6	1.2	1	10	8
3.5	3	1.4	1	15	2
4	3	1.6	3	20	3
4.5	1	1.8	2	30	
5	1	2	3	40	1
5.5	3				
6	3				

HISTOGRAMAS







C:Consultoria\Casaloma\Geotecnia\AnálisisEstadístico

FIGURA 3.8

ANALISIS DE FRECUENCIA FAMILIA DE DIACLASAS D3

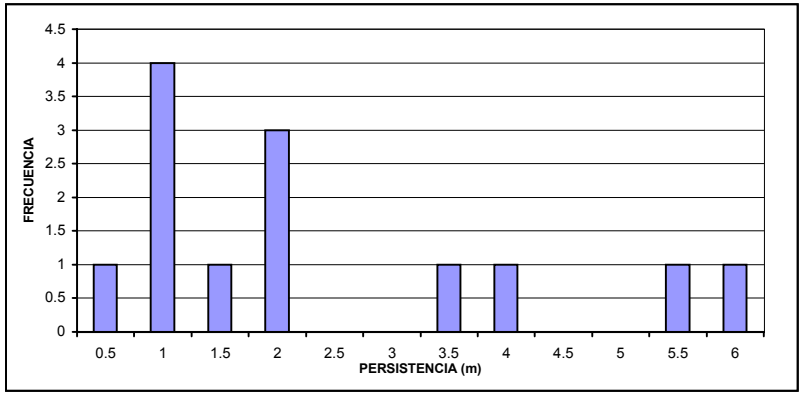
BARRIO CASALOMA

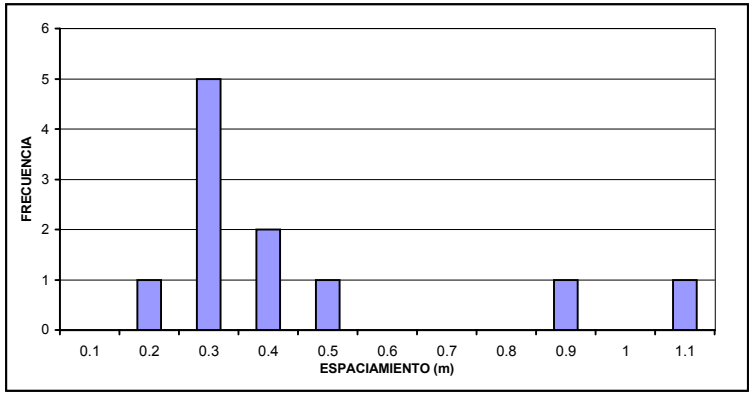
	PERSIS. (m)	ESPACIAM. (m)	ABERTURA (mm)
MEDIA	2.3	0.4	4.6
MODA	1.0	0.3	0.0
MEDIANA	1.8	0.30	2.0
DESVIACION ESTANDAR	1.9	0.29	8.14
MINIMO	0.2	0.2	0.0
MAXIMO	6.0	1.10	30.0
NUMERO DE DATOS	13.0	11	13

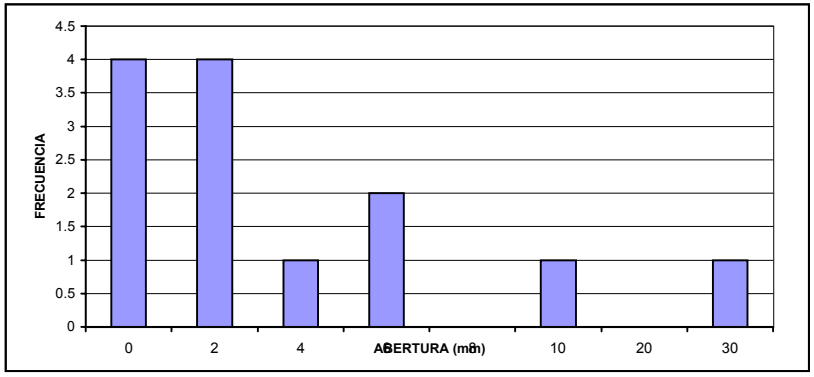
SIN RELLENO	=	6
RELLENO DE ARCILLA	=	1
RELLENO DE ARENA	=	6

PERSISTENCIA (m)	FRECUENCIA	ESPACIAMIENTO (m)	FRECUENCIA	ABERTURA (mm)	FRECUENCIA
0.5	1	0.1		0	4
1	4	0.2	1	2	4
1.5	1	0.3	5	4	1
2	3	0.4	2	6	2
2.5		0.5	1	8	
3		0.6		10	1
3.5	1	0.7		20	
4	1	0.8		30	1
4.5		0.9	1		
5		1			
5.5	1	1.1	1		
6	1				

HISTOGRAMAS







C:Consultoria\Casaloma\Geotecnia\AnálisisEstadístico

FIGURA 3.9

ANALISIS DE FRECUENCIA FAMILIA DE DIACLASAS D4

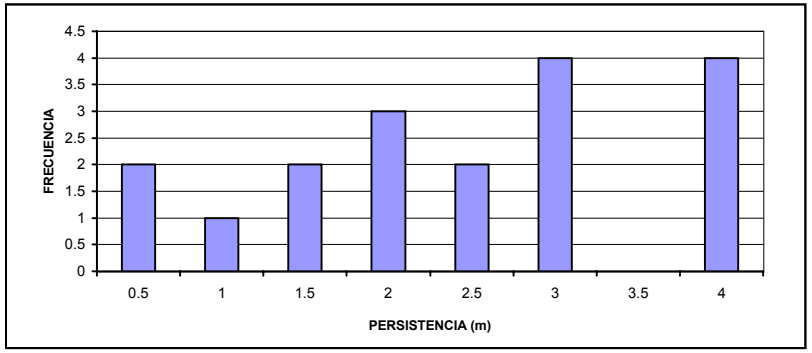
BARRIO CASALOMA

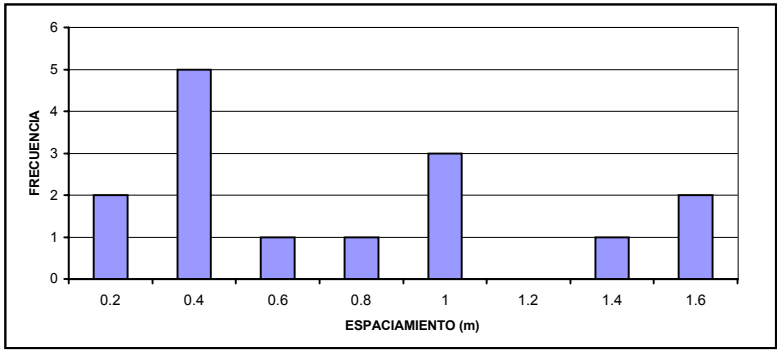
	PERSIS. (m)	ESPACIAM. (m)	ABERTURA (mm)
MEDIA	2.4	0.7	5.1
MODA	4.0	0.3	5.0
MEDIANA	2.5	0.50	5.0
DESVIACION ESTANDAR	1.20	0.48	5.17
MINIMO	0.4	0.20	0.0
MAXIMO	4.0	1.50	20.0
NUMERO DE DATOS	18	15	17

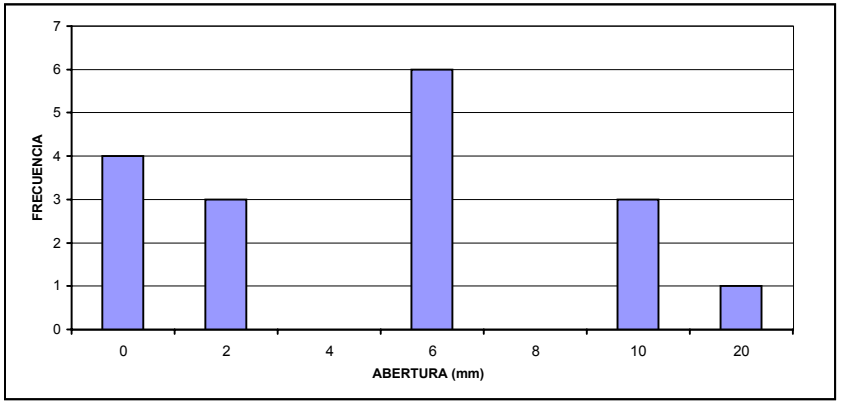
SIN RELLENO	=	6
RELLENO DE ARENA	=	7
RELLENO DE ROCA TRITURADA	=	3

PERSISTENCIA (m)	FRECUENCIA	ESPACIAMIENTO (m)	FRECUENCIA	ABERTURA (mm)	FRECUENCIA
0.5	2	0.2	2	0	4
1	1	0.4	5	2	3
1.5	2	0.6	1	4	
2	3	0.8	1	6	6
2.5	2	1	3	8	
3	4	1.2		10	3
3.5		1.4	1	20	1
4	4	1.6	2		

HISTOGRAMAS







C:Consultoría\Casaloma\Geotecnia\AnálisisEstadístico

Donde el Jv se define como el control volumétrico de diaclasas, y está basado en los espaciamientos promedio de las discontinuidades, expuestos al igual que las características de las diaclasas en el numeral anterior.

Si bien la resistencia a la compresión simple para los testigos ensayados posee un comportamiento relativamente homogéneo en todo el frente del talud indistinto de su litología, y no constituye por ende un discriminante importante como si lo es el patrón estructural en la clasificación del macizo, su incorporación se realizó asociando las muestras a las regiones estructurales, de forma tal que se pudiera dar un poco de sensibilidad al resultado.

Los sistemas de clasificación implementados se concentraron al: Rock Mass Rating RMR (Bienawsky, 1976) y Geological Stregth Index, GSI (Hoek, 1995), dada la directa correlación entre los sistemas. Sin embargo, el uso del sistema de clasificación de Bienawsky 1976, implicó asumir el macizo completamente seco.

Así, entonces, el macizo rocoso que compone los taludes está constituido por una secuencia de bancos de arenisca de grano medio a fino, de color amarillo, de estratificación gruesa, matriz arcillosa y baja resistencia a la compresión simple, y arcillolitas varicoloreadas en paquetes hasta de 8.0 m.

El macizo presenta Índices de Resistencia Geológica (GSI) equivalente al $RMR_{(76)}$ que oscila entre 56 para las exposiciones mas alteradas y fracturadas, pertenecientes esencialmente a la región estructural 2, y 63 para las más sanas, región 1.

Las **Tablas 3.3 y 3.4** contienen discriminados los parámetros de clasificación, los valores obtenidos para cada uno de ellos, el resultado de los índices RMR y GSI, con su descripción cualitativa (interpretación del resultado numérico).

Estos parámetros indican bien masas falladas con diferentes intersecciones de discontinuidades que dan lugar a bloques angulares, o bien masas rocosas algo alteradas formadas por bloques bien trabados de facetas angulares, con tres o más familias de discontinuidades de rugosidad suave.

3.4.3.2 Suelos

Corresponden a materiales areno arcillosos y arcillolimosos generados por la degradación (meteorización física y química) de la roca, en cuya fase de movimiento inicial conforman flujos de detritos y derrubios que se van acumulando paulatinamente a lo largo de la ladera, estos suelos se ven afectados principalmente por acción de la escorrentía favorecida por la pendiente. La profundidad de los cuaternarios (descrita a partir de las trincheras), incluyendo el deposito fluvioglacial, no sobrepasa el metro.

El limitado desarrollo de los horizontes y su constitución impidieron la ejecución de pruebas de campo y toma de muestras inalteradas; por lo tanto, se opto para la determinación de las propiedades geomecánicas, considerar tanto los registros de perforación cono los resultados de laboratorio obtenidos por Ingetec S.A. en 1998, en el Barrio Mirador de La Estancia. El proceso de extrapolación se funda en las similitudes morfométricas, genéticas y de conformación que existen entre los depósitos de dicha cantera y Casa Loma.

TABLA 3.3
CLASIFICACIÓN DE MACIZOS ROCOSOS - BARRIO CASALOMA
Bienaswky 1976

FAMILIA DE DIACLASAS		D2	D3	D4
s'_c (Kg/cm^2)	Valor	60.0	60.0	60.0
	Calificación/15	1	1	1
RQD (%)	Valor	90	90	90
	Calificación/20	20	20	20
S (m)	Valor	0.4	0.3	0.4
	Calificación/30	20	20	20
Estado de las discontinuidades	Descripción	Medianamente rugosas, separación < 1 mm., la pared es débil	Medianamente rugosas, separación < 1 mm., la pared es débil	Medianamente rugosas, separación < 1 mm., la pared es débil
	Calificación/25	12	12	12
Agua	Descripción	Seco	Seco	Seco
	Calificación/10	10	10	10
RMR	Calificación/100	63	63	63
	Descripción	**Macizo bueno**	**Macizo bueno**	**Macizo bueno**
GSI		63	63	63

C:\Consultoría\Casaloma\Geotecnia\Macizo\Rmr esp

TABLA 3.4
CLASIFICACIÓN DE MACIZOS ROCOSOS - BARRIO CASALOMA
Bienaswky 1976

FAMILIA DE DIACLASAS		D2	D3	D4
s'_c (Kg/cm^2)	Valor	60.0	60.0	60.0
	Calificación/15	1	1	1
RQD (%)	Valor	73	73	73
	Calificación/20	13	13	13
S (m)	Valor	0.4	0.3	0.4
	Calificación/30	20	20	20
Estado de las discontinuidades	Descripción	Medianamente rugosas, separación < 1 mm., la pared es débil	Medianamente rugosas, separación < 1 mm., la pared es débil	Medianamente rugosas, separación < 1 mm., la pared es débil
	Calificación/25	12	12	12
Agua	Descripción	Seco	Seco	Seco
	Calificación/10	10	10	10
RMR	Calificación/100	56	56	56
	Descripción	**Macizo regular**	**Macizo regular**	**Macizo regular**
GSI		56	56	56

C:\Consultoría\Casaloma\Geotecnia\Macizo\Rmr esp

La matriz de los cuaternarios se caracteriza por ser arcillo-limosa o limo-arenosa. La humedad natural oscila desde el 10% hasta el 21%, mientras que el limite liquido y el índice de plasticidad presentan intervalos de variación estrechos de 40% a 56% y de 13% a 19% respectivamente; el peso unitario es de 1.8 ton/m^3 (Apiques AP-ME01, AP-ME02 y AP-ME04 de Ingetec S.A.).

Los registros de perforación se emplearon para la estimación de los parámetros efectivos de resistencia con base en las pruebas de SPT (Anexo D). De este ejercicio se obtuvo que los depósitos poseen un ϕ' Mínimo de 26º y un Cc' de 0.24 ton/m^2. Los valores superan ampliamente los parámetros encontrados del ensayo de corte reportado por Ingetec S.A., donde $Cc' = 4.0$ ton/m^2 y $\phi' = 36.5$º, pero unos y otros pueden considerarse como valores extremos para describir el espectro de variación de los parámetros en los depósitos.

3.5 ANÁLISIS HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

El estudio hidrológico tiene como objetivos describir el régimen temporal y espacial de la precipitación media anual, determinar los aguaceros de corta duración con el fin de calcular los caudales máximos esperados para diseñar las obras de drenaje para la estabilización del talud en el barrio y determinar la influencia de la precipitación como agente detonante de los fenómenos de remoción en masa.
Para la realización del presente estudio se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Consulta de planchas topográficas y fotografías aéreas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi junto con estudios desarrollados en la zona.
- Consulta en el IDEAM de la información hidrológica existente del área.
- Consulta en la EAAB de las curvas IDF obtenidas con base en la información hidrológica de Bogotá para diferentes localidades.
- Análisis hidrológico e hidráulico del área de estudio.

3.5.1 Marco Hidrológico General

El área de estudio se encuentra localizada en la planicie de inundación del Río Tunjuelito conformada principalmente por paludales, debido a la disminución de su capacidad de transporte. En la zona del proyecto se identifican dos microcuencas del río Tunjuelito, las cuales presentan áreas inferiores a 1 km^2, son de forma alargada y se encuentran localizadas hacia la parte sur y sur-este de la zona de estudio. No obstante, la localización del área del proyecto hace parte de la zona de escorrentía directa del Río Tunjuelito por lo tanto el drenaje es vertido directamente a este cuerpo de agua.

Para el análisis hidrológico se estudiará solamente el elemento climatológico precipitación, ya que es el principal agente de la erosión hídrica y uno de los factores detonantes de los fenómenos de remoción en masa.

3.5.2 Caracterización Climática Regional

Con el objetivo de establecer el comportamiento climático de la zona de estudio se tomó la información de la estación Tipo CO (Climatológica Ordinaria) de San Jorge, por ser ésta la más cercana y encontrarse a una altura muy similar a la del área de ejecución del proyecto. En la **Tabla 3.5** se presentan las características de dicha estación.

TABLA 3.5
CARACTERISTICAS DE LA ESTACION CLIMATOLOGICA DE SAN JORGE

CODIGO	2120572
CUERPO DE AGUA	SOACHA
COORDENADAS	990.891 N – 987.784 W
ELEVACION (msnm.)	2900
MUNICIPIO	SANTA FE BOGOTA
PERIODO DE REGISTRO	1979 – 1999
DEPARTAMENTO	CUNDINANARCA

3.5.2.1 Precipitación

En la zona de estudio se presenta un régimen de precipitación caracterizado por lluvias de baja intensidad y larga duración. Lo cual obedece a la formación de cinturones de nubes generados por la condensación del aire húmedo procedente de la Amazonia, durante el movimiento regular de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT: sector de la parte tropical donde convergen las masas de aire o corrientes de aire húmedo provenientes de los hemisferios norte y sur), y de otro lado por las Ondas del Este, procedentes del océano Atlántico Venezolano y noreste colombiano (Catatumbo), lo que sucede especialmente hacia los meses de Julio, Agosto y Septiembre[2].

Dicha particularidad permite que exista una continuidad entre el invierno provocado por la ZCIT cuando baja en Abril-Mayo al Ecuador y cuando regresa hacia los meses de Octubre y Noviembre al Atlántico, generando en la zona andina un **Régimen bimodal** de precipitación.

En la estación San Jorge la precipitación promedio multianual alcanza un valor de 725.8 mm con una distribución temporal que tiene su primer período húmedo entre los meses de Marzo, Abril y Mayo, siendo Mayo el mes más lluvioso del período con 92.8 mm de precipitación media mensual multianual. Los meses de Octubre y Noviembre corresponden al segundo período de lluvias, siendo el mes de Octubre el más extremo con 89.5 mm de precipitación media mensual multianual. El período más seco se vive durante los meses de Diciembre a Febrero siendo Febrero el de menor precipitación media mensual multianual con 34.1 mm. (**Figura 3.10**).

[2] SILVA MEDINA, Gustavo. HIDROLOGIA BASICA. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería. 1984.

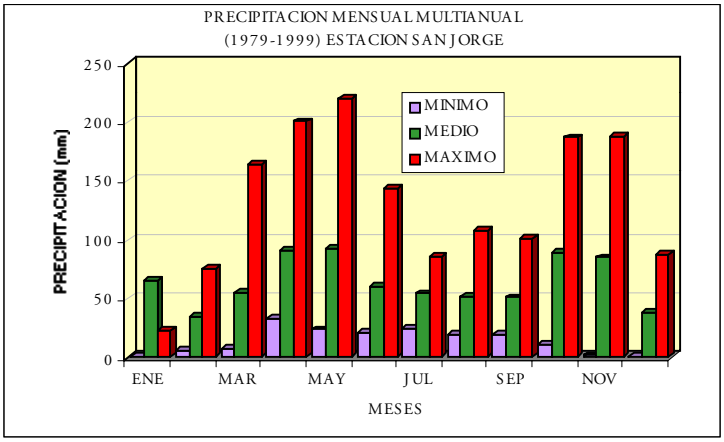


Figura 3.10. Precipitación Mensual Multianual área de influencia del proyecto

3.5.3 Cálculos Hidrológicos

Se realizó un estudio hidrológico con base en la información recolectada de las estaciones existentes en la zona del proyecto, en cuanto a lluvias, para estimar los valores más probables de caudal en el sitio de interés.

Para la evaluación de las áreas en estudio, que tienen extensiones menores a 1 Km², dadas las condiciones de las mismas, se definen como áreas pequeñas, característica que en sentido hidrológico indica que el caudal de escorrentía está influenciado principalmente por las condiciones físicas del suelo y la cobertura vegetal más que por las condiciones hidrológicas e hidráulicas de un cauce principal.

Los hietogramas de precipitación de diseño fueron generados por el método del bloque alterno utilizando las relaciones Intensidad-Duración-Frecuencia, suministradas por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. El hietograma de diseño producido por el método del bloque alterno especifica la profundidad de precipitación que ocurre en n intervalos de tiempo sucesivos de duración Δt sobre una duración total $Td = n\Delta t$.

Después de seleccionar el período de retorno de diseño, la intensidad es leída de las curvas IDF para cada una de las duraciones, y la profundidad de la precipitación correspondiente se encuentra al multiplicar la intensidad por la duración.

Tomando las diferencias entre los valores sucesivos de profundidad de precipitación, se determina la cantidad de precipitación que debe añadirse para cada unidad adicional de tiempo Δt. Estos bloques se ordenan a criterio del hidrólogo.

Los hietogramas de excesos fueron deducidos para diferentes períodos de retorno basados en las curvas IDF y la definición de la relación lluvia caudal mediante la aplicación del método de Ven Te Chow, el cual fue adaptado a las condiciones y características de la región en estudio.

Los estudios hidrológicos conllevan los siguientes aspectos para los cuales se describe a continuación la metodología empleada: Revisión de información, Generación de funciones de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), y finalmente el cálculo de caudales de diseño (Q_D) para determinados períodos de recurrencia (Tr).

3.5.4 Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia

La forma más común de determinar los eventos de lluvia a usarse en un diseño es utilizar una tormenta de diseño que involucre una relación entre la intensidad de la lluvia, la duración y las frecuencias o períodos de retorno apropiados para la obra y el sitio. En muchos casos existen curvas calibradas IDF disponibles para muchos lugares, que fueron elaboradas con base a información de estaciones pluviográficas, las cuales registran eventos de tormenta continuos en el tiempo.

La EAAB cuenta con un paquete computacional el cual contiene una base de datos para todo el Distrito Capital, donde los datos de entrada son las coordenadas del sitio o área de interés y el programa busca el nodo con las coordenadas más próximas, obteniéndose como datos de salida las ecuaciones de tipo potencial:

$$\mathbf{I = C_1\ (Duración + X_0)^{C2}}$$

Donde I es la intensidad de la lluvia en mm/hr

Duración que corresponde a la duración de la lluvia en minutos

C_1, X_0 y C_2 son constantes dadas para cada período de retorno Tr.

Las ecuaciones de las curvas IDF determinadas para el nodo de coordenadas 995.855 m Norte y 1.000.140 m Este, se presentan en la **Tabla 3.6**:

Tabla 3.6
ECUACIONES IDF $I = C_1\ (Duración + X_0)^{C2}$

Tr	C_1	X_0	C_2
10	3013.4	24.60	-0.97
25	3322.0	23.80	-0.95
50	3499.2	23.20	-0.94
100	3663.8	22.60	-0.93

Las curvas IDF generadas para la zona del proyecto pueden observarse en la **Figura 3.11**.

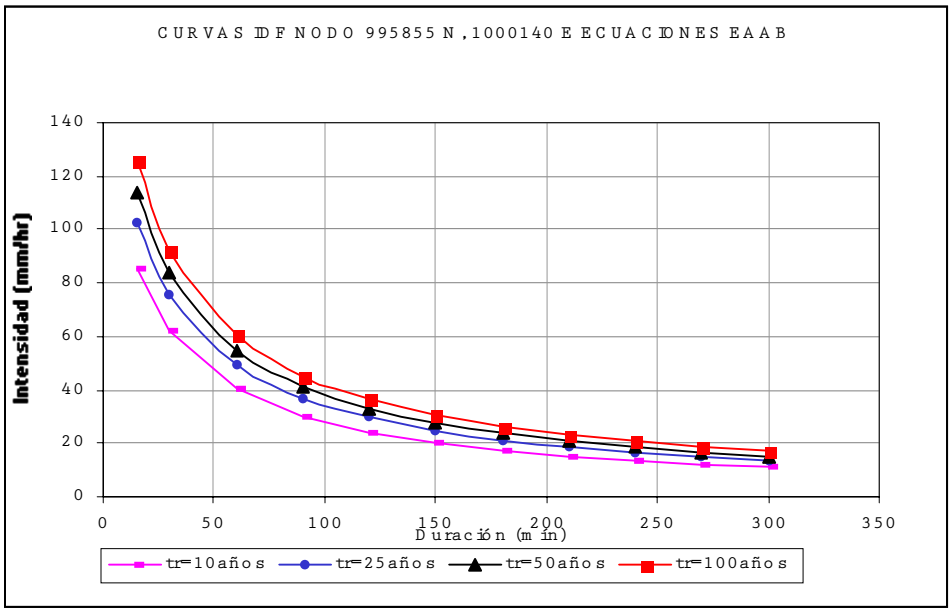


Figura 3.11. Curvas IDF

Utilizando el método del bloque alterno y tomando intervalos de tiempo de media hora para un aguacero de duración 4 horas, se obtiene el hietograma de precipitación total. Utilizando el método del Soil Conservation Service (1972) para el cálculo de las abstracciones de precipitación de una tormenta se obtiene la precipitación de excesos con las siguientes formulaciones:

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

$$S = \left(\frac{1000}{CN} - 10\right)$$

De los mapas de cobertura vegetal y usos del suelo consultados en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi e Ingeominas, se estima el valor del CN (número de curva según la tabla 5.5.2)[3]. Donde áreas abiertas residenciales del grupo hidrológico de suelos C da un valor de CN de 89 para suelos entre tierra y grava con altos contenidos de arcilla y poca infiltración.

S=(1000/89-10)=1.24

En las **Tablas 3.7**, **3.8**, **3.9** y en la **Figura 3.12** se resumen los hietogramas de precipitación total y precipitación efectiva.

[3] Hidrología aplicada de Ven Te Chow

1.24

Tabla 3.7

CALCULO DE HIETOGRAMA DE EXCESOS DE LLUVIA POR EL METODO DEL S.C.S. para Tr=25 años

tiempo en horas	Precipitación mm	Precipitación pulgadas	Precipitación acumulada pulgadas	abstracciones acumuladas en pulgadas		Exceso de lluvia acum pulgadas	hietograma Exceso de lluvia pulg
				Ia	Fa		
0	0	0	0	0	0	0	0
0.5	6.02	0.24	0.24	0.24	0	0	0
1	37.68	1.48	1.72	0.25	0.67	0.80	0.80
1.5	11.79	0.46	2.18	0.25	0.76	1.18	0.38
2	3.75	0.15	2.33	0.25	0.78	1.31	0.13
2.5	2.61	0.10	2.43	0.25	0.79	1.40	0.09
3	1.95	0.08	2.51	0.25	0.80	1.46	0.07
3.5	1.53	0.06	2.57	0.25	0.81	1.52	0.05
4	1.24	0.05	2.62	0.25	0.81	1.56	0.04
						S	1.56

1.24

Tabla 3.8

CALCULO DE HIETOGRAMA DE EXCESOS DE LLUVIA POR EL METODO DEL S.C.S. para Tr=50 años

tiempo en horas	Precipitación mm	Precipitación pulgadas	Precipitación acumulada pulgadas	abstracciones acumuladas en pulgadas		Exceso de lluvia acum pulgadas	hietograma Exceso de lluvia pulg
				Ia	Fa		
0	0	0	0	0	0	0	0
0.5	6.75	0.27	0.27	0.25	0.02	0	0
1	41.74	1.64	1.91	0.25	0.71	0.95	0.95
1.5	13.09	0.52	2.42	0.25	0.79	1.39	0.44
2	4.25	0.17	2.59	0.25	0.81	1.53	0.15
2.5	2.99	0.12	2.71	0.25	0.82	1.64	0.10
3	2.25	0.09	2.80	0.25	0.83	1.72	0.08
3.5	1.78	0.07	2.87	0.25	0.84	1.78	0.06
4	1.45	0.06	2.93	0.25	0.85	1.83	0.05
						S	1.83

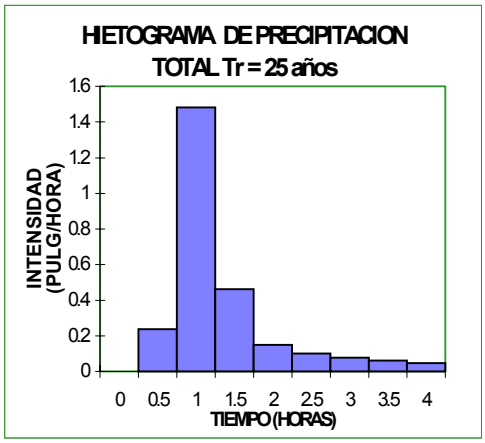
1.24

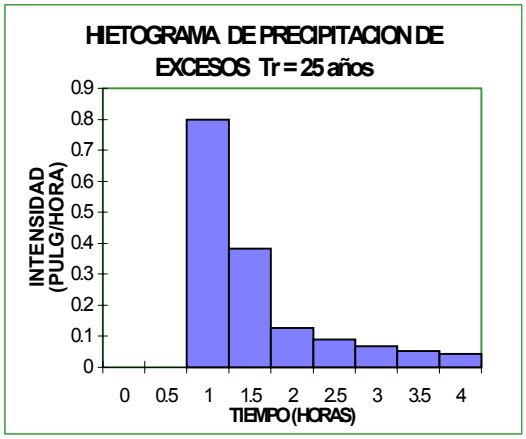
Tabla 3.9

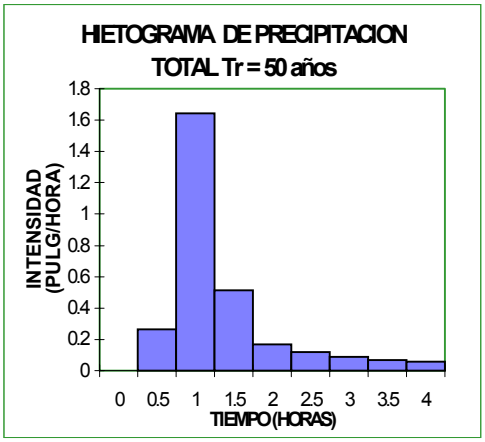
CALCULO DE HIETOGRAMA DE EXCESOS DE LLUVIA POR EL METODO DEL S.C.S. para Tr=100 años

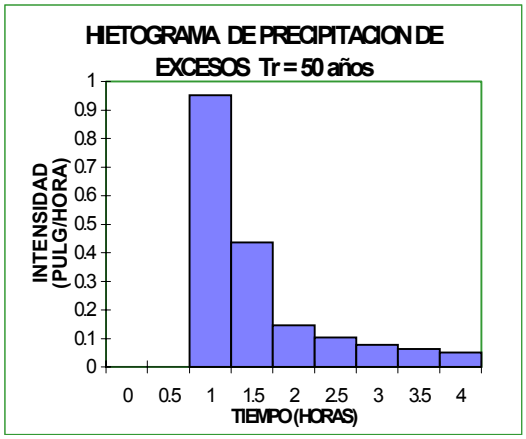
tiempo en horas	Precipitación mm	Precipitación pulgadas	Precipitación acumulada pulgadas	abstracciones acumuladas en pulgadas		Exceso de lluvia acum pulgadas	hietograma Exceso de lluvia pulg
				Ia	Fa		
0	0	0	0	0	0	0	0
0.5	7.52	0.30	0.30	0.25	0.05	0	0
1	45.96	1.81	2.11	0.25	0.74	1.11	1.11
1.5	14.45	0.57	2.67	0.25	0.82	1.61	0.49
2	4.78	0.19	2.86	0.25	0.84	1.77	0.17
2.5	3.39	0.13	3.00	0.25	0.85	1.89	0.12
3	2.58	0.10	3.10	0.25	0.86	1.99	0.09
3.5	2.05	0.08	3.18	0.25	0.87	2.06	0.07
4	1.69	0.07	3.24	0.25	0.88	2.12	0.06
						S	2.12

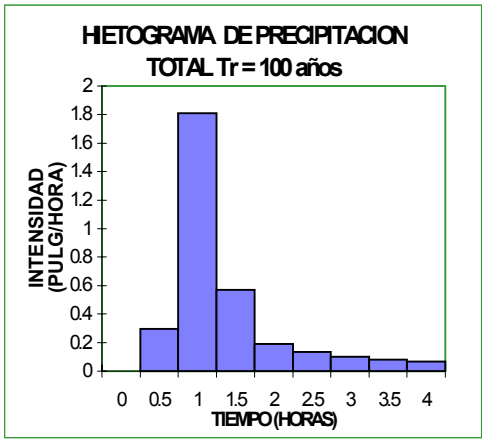
Figura 3.12

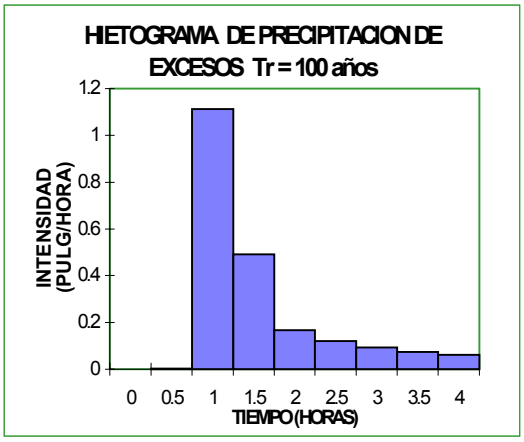

HIETOGRAMA DE PRECIPITACION
TOTAL Tr = 25 años
INTENSIDAD (PULG/HORA)
0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.4 1.6
0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4
TIEMPO (HORAS)


HIETOGRAMA DE PRECIPITACION DE EXCESOS Tr = 25 años
INTENSIDAD (PULG/HORA)
0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9
0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4
TIEMPO (HORAS)


HIETOGRAMA DE PRECIPITACION
TOTAL Tr = 50 años
INTENSIDAD (PULG/HORA)
0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.4 1.6 1.8
0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4
TIEMPO (HORAS)


HIETOGRAMA DE PRECIPITACION DE EXCESOS Tr = 50 años
INTENSIDAD (PULG/HORA)
0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1
0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4
TIEMPO (HORAS)


HIETOGRAMA DE PRECIPITACION
TOTAL Tr = 100 años
INTENSIDAD (PULG/HORA)
0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.4 1.6 1.8 2
0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4
TIEMPO (HORAS)


HIETOGRAMA DE PRECIPITACION DE EXCESOS Tr = 100 años
INTENSIDAD (PULG/HORA)
0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2
0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4
TIEMPO (HORAS)

3.5.5 Relación de Precipitación Crítica – Duración que Disparan Movimientos en Masa

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

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

Zona Suroccidental

$$Llcrit = 0.3609*Llan$$

Cerros Orientales

$$Llcrit = 12.6326+0.3609*Llan$$

Donde:

Llcrit = Lluvia crítica en mm
Llan = Lluvia anual en mm

Zona Suroccidental

$$D = 3.2829*Llcrit^{0.4157}$$

Cerros Orientales

$$D = 0.04923*Llcrit$$

Donde:
D = Duración en días

El sector de estudio corresponde a la zona suroccidental obteniéndose una precipitación crítica de 261.94 mm y una duración de 33 días.

De acuerdo con estos resultados, se puede concluir que los fenómenos de remoción en masa que ocurren en el sector no tienen como factor detonante principal la precipitación, ya que la probabilidad de ocurrencia de la precipitación crítica es muy baja.

3.6 INVENTARIO DE VIVIENDAS

Se realizó dentro del estudio, un inventario de viviendas para la evaluación de la vulnerabilidad que consistió en el diligenciamiento del formato que aparece en el **Anexo F**. La información contemplada en el formato incluye, entre otros, datos sobre: área del lote, área construida, valor estimado de los bienes y enseres, valor del predio, estado actual de la construcción, sistema estructural, daños, ingresos

familiares y cobertura de servicios. Todos tendientes a establecer la exposición y la resistencia de las construcciones y la capacidad de reacción de los habitantes en caso de presentarse algún proceso de inestabilidad que afecte sus viviendas.

La información fue transcrita a una base de datos estructurada en aplicación EXCEL, la cual se presenta en la **Tabla 3.10.** Cada predio se identifica por la letra de la manzana a que corresponde y un número dentro de la misma. El Mapa que se utilizó fue facilitado por la comunidad (Mapa de legalización de los barrios Mirador de la Estancia y Casa Loma).

El inventario contempló 37 predios, de los cuales sólo el 5% ocupan las áreas de mayor percepción de riesgo. El 13 % de las viviendas (5) son de recuperación y el porcentaje restante está integrado entre construcciones de uno y dos pisos, bien con sistema estructural de muros divisorios ó prefabricadas. La cobertura de servicios públicos básicos es aceptable, reflejo de ello es que sólo el 5 % de las residencias carecen de agua y luz, y cerca del 8% de los habitantes no poseen servicio de alcantarillado; además el 100% de las unidades residenciales no cuentan con servicio de gas y únicamente el 19 % no tienen línea telefónica.

El ingreso mensual básico por familia en la zona alcanza los 300.000 pesos, insuficiente para una subsistencia adecuada, máxime cuando en cuatro de las viviendas residen hasta dos familias.

En el anexo F se muestra el formato de acceso de datos para el procesamiento de visualización del inventario de viviendas.

TABLA 3.10
INVENTARIO DE VIVIENDAS

BARRIO CASALOMA **CASALOMA**

Ficha	Localidad	Barrio	Manzana	Lote	Orientación	Estado	Posición	Dirección	Propietario	Ocupación	Apartamentos	Familias	Residentes
1	Ciudad Bolívar	Casaloma	0	0	2	1	1	Carrera 93 No. 62F-15 sur	Socha María Helena	0	1	1	4
2	Ciudad Bolívar	Casaloma	0	0	2	2	1	Carrera 92 No. 62F-14 sur	Quintero Luis Alberto	1	0	0	0
3	Ciudad Bolívar	Casaloma	0	0	2	1	1	Cra 92 No. 62F-15 sur	Quintero Luis Alberto	0	1	1	7
4	Ciudad Bolívar	Casaloma	0	0	0	3	0	Carrera 91 no. 62F- 08 sur	Sánchez Félix	1	0	0	0
5	Ciudad Bolívar	Casaloma	0	0	2	1	2	Carrera 91 No. 62F-12 sur	Reyes Adela	0	1	1	10
6	Ciudad Bolívar	Casaloma	0	0	2	1	2	Carrera 91 No. 62F-50 sur	Toro Esperanza	0	1	0	0
7	Ciudad Bolívar	Casaloma	0	0	2	2	1	Carrera 75 No. 62F- 54 sur	Guaje Pedro José	0	1	1	4
8	Ciudad Bolívar	Casaloma	0	0	1	1	2	Calle 62G sur No.90-18	Sánchez Celestina	0	2	3	14
9	Ciudad Bolívar	Casaloma	0	0	2	1	1	Carrera 90 No. 62F-53 sur	Bravo Molina Fernando	0	1	1	4
10	Ciudad Bolívar	Casaloma	0	0	1	1	1	Carrera 90 No. 62G-02 sur	Méndez Alba Irene	0	1	1	3
11	Ciudad Bolívar	Casaloma	0	0	0	1	0	Carrera 90 No. 62G-04 sur	Conde Fany	1	0	0	0
12	Ciudad Bolívar	Casaloma	0	0	1	2	2	Carrera 90 No. 62G-06 sur	Salazar Rojas Carlos	0	1	1	4
13	Ciudad Bolívar	Casaloma	0	0	1	2	2	Carrera 90 No. 62G-08 sur	Cáceres Adela	0	1	1	7
14	Ciudad Bolívar	Casaloma	1	2	2	1	2	Carrera 90 No. 62G-10 sur	Buitrago Parra Stella	0	1	1	4
15	Ciudad Bolívar	Casaloma	0	0	1	2	1	Carrera 90 No. 62G-12 sur	Aguilar Ana Clavis	0	1	1	4
16	Ciudad Bolívar	Casaloma	0	0	2	1	1	Carrera 90 No. 62G-19 sur	Sánchez Céspedes María Rubiela	0	1	1	2
17	Ciudad Bolívar	Casaloma	0	0	2	2	2	Carrera 90 No. 62G-17 sur	Trujillo Víctor	0	1	1	6
18	Ciudad Bolívar	Casaloma	0	0	1	3	2	Carrera 90 No. 62G-13 sur	Camacho Elizabeth	1	0	0	0
19	Ciudad Bolívar	Casaloma	0	0	2	1	1	Carrera 90 No. 62G-08 sur	Franco María Inés	0	1	3	11
20	Ciudad Bolívar	Casaloma	0	0	1	2	2	Carrera 90 No. 62G- sur	Vásquez Alfonso	0	1	1	1
21	Ciudad Bolívar	Casaloma	0	0	0	0	0	Carrera 90 No. 62G-12 sur	Pinto Celis Julio Roberto	0	1	1	3
22	Ciudad Bolívar	Casaloma	0	0	0	2	2	Carrera 90 No. 62G-07 sur	Castiblanco Orlando	0	0	0	0
23	Ciudad Bolívar	Casaloma	0	0	2	1	2	Carrera 90 No. 62G-16 sur	Vargas Orlando	0	1	1	4
24	Ciudad Bolívar	Casaloma	0	0	1	1	1	Carrera 90 No. 62G- sur	Sánchez Félix	0	1	1	5

BARRIO MIRADOR DE LA ESTANCIA **MIRADOR DE LA ESTANCIA**

1	Ciudad Bolívar	la Estancia	28	31	2	2	1	Calle 62H Bis sur No. 91-83	Peña Pablo	1	1	0	0
2	Ciudad Bolívar	la Estancia	28	30	1	2	2	Calle 62H Bis sur No. 91-79	Melo Marina	0	1	1	3
3	Ciudad Bolívar	la Estancia	28	29	2	2	2	Calle 62H Bis No. 91-75 sur	Lozada Aminta	0	2	1	4
4	Ciudad Bolívar	la Estancia	28	28	1	1	2	Calle 62H Bis sur No. 91-71	Torres Julio	0	1	1	6
5	Ciudad Bolívar	la Estancia	28	27	1	1	1	Calle 62 Bis sur No. 91 Bis - 67	Marcos Leonel	0	1	1	2
6	Ciudad Bolívar	la Estancia	0	0	2	1	1	Calle 62H Bis No. 91-59 sur	Henry	0	1	1	3
7	Ciudad Bolívar	la Estancia	28	24	1	1	2	Calle 62H Bis sur No. 91-55	Cárdenas María Teresa	0	1	2	4
8	Ciudad Bolívar	la Estancia	28	23	0	3	2	Calle 62H Bis sur No. 91-51	0	1	0	0	0
9	Ciudad Bolívar	la Estancia	28	22	1	1	2	Calle 62H Bis sur No. 91-47	Florentino	0	1	1	0
10	Ciudad Bolívar	la Estancia	0	0	2	1	2	Calle 62H Bis sur No. 91-43	Peña Rozo Elmer	0	2	2	5
11	Ciudad Bolívar	la Estancia	28	20	1	2	2	Calle 62H Bis sur No. 91-39	Romero Luz Marina	0	1	1	4
12	Ciudad Bolívar	la Estancia	28	19	1	1	2	Calle 62H Bis sur No. 91-35	Sánchez José Miguel	0	1	1	3
13	Ciudad Bolívar	la Estancia	0	0	2	1	2	Calle 62H Bis sur No. 91-31 sur	Fierro Leonardo Ninco	0	2	1	6

TABLA 3.10
INVENTARIO DE VIVIENDAS

CASALOMA

Dirección	Area	Pisos	Edad	Tipo	Placa piso	Techo	Cubierta	Sistema estructural	Calidad	Daño	Muros	Columnas	Vigas	Nudos pórticos	Muros de cortante
Carrera 93 No. 62F-15 sur	40	1	3	1	0	1	1	5	2	No	0	0	0	0	0
Carrera 92 No. 62F-14 sur	50	0	2	5	1	4	5	1	2	No	0	0	0	0	0
Cra 92 No. 62F-15 sur	40	1	4	1	1	3	5	1	2	No	0	0	0	0	0
Carrera 91 no. 62F- 08 sur	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Carrera 91 No. 62F-12 sur	72	1	4	1	4	3	3	6	2	4	0	3	0	0	0
Carrera 91 No. 62F-50 sur	72	1	0	1	1	1	5	1	1	No	0	0	0	0	0
Carrera 75 No. 62F- 54 sur	60	1	4	1	1	3	3	1	2	No	0	0	0	0	0
Calle 62G sur No.90-18	72	2	2	2	1	3	1	1	1	No	0	0	0	0	0
Carrera 90 No. 62F-53 sur	40	1	4	1	1	3	1	5	1	No	0	0	0	0	0
Carrera 90 No. 62G-02 sur	36	1	2	1	1	3	1	5	1	No	0	0	0	0	0
Carrera 90 No. 62G-04 sur	36	1	0	1	1	3	1	5	1	No	0	0	0	0	0
Carrera 90 No. 62G-06 sur	36	1	2	1	1	4	1	1	1	No	0	0	0	0	0
Carrera 90 No. 62G-08 sur	36	1	5	1	4	3	4	6	3	No	0	0	0	0	0
Carrera 90 No. 62G-10 sur	60	1	4	1	4	3	3	6	2	No	0	0	0	0	0
Carrera 90 No. 62G-12 sur	36	1	3	1	1	4	1	1	1	No	0	0	0	0	0
Carrera 90 No. 62G-19 sur	15	1	2	1	4	3	3	1	2	No	0	0	0	0	0
Carrera 90 No. 62G-17 sur	20	0	5	1	3	3	4	6	3	No	0	0	0	0	0
Carrera 90 No. 62G-13 sur	72	0	0	0	0	0	0	1	0	No	0	0	0	0	0
Carrera 90 No. 62G-08 sur	36	1	3	1	1	3	1	5	2	No	0	0	0	0	0
Carrera 90 No. 62G- sur	25	0	3	1	4	3	4	6	3	No	0	0	0	0	0
Carrera 90 No. 62G-12 sur	36	1	1	1	1	3	3	1	2	No	0	0	0	0	0
Carrera 90 No. 62G-07 sur	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
Carrera 90 No. 62G-16 sur	36	1	3	1	1	3	1	5	1	No	0	0	0	0	0
Carrera 90 No. 62G- sur	36	1	4	1	1	4	1	5	1	No	0	0	0	0	0

MIRADOR DE LA ESTANCIA

Calle 62H Bis sur No. 91-83	36	1	1	1	1	3	3	1	1	No	0	0	0	0	0
Calle 62H Bis sur No. 91-79	60	1	3	1	1	3	3	1	1	No	0	0	0	0	0
Calle 62H Bis No. 91-75 sur	72	2	2	1	1	1	5	1	1	No	0	0	0	0	0
Calle 62H Bis sur No. 91-71	60	1	2	1	1	3	3	1	1	No	0	0	0	0	0
Calle 62 Bis sur No. 91 Bis - 67	60	1	3	1	1	3	3	1	1	No	0	0	0	0	0
Calle 62H Bis No. 91-59 sur	72	1	2	1	1	3	1	1	1	No	0	0	0	0	0
Calle 62H Bis sur No. 91-55	60	1	3	1	1	3	3	1	1	No	0	0	0	0	0
Calle 62H Bis sur No. 91-51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Calle 62H Bis sur No. 91-47	60	1	3	1	1	3	3	1	1	No	0	0	0	0	0
Calle 62H Bis sur No. 91-43	72	2	2	1	1	3	1	1	1	No	0	0	0	0	0
Calle 62H Bis sur No. 91-39	36	1	2	1	1	3	3	1	1	No	0	0	0	0	0
Calle 62H Bis sur No. 91-35	60	1	2	1	1	3	3	1	1	No	0	0	0	0	0
Calle 62H Bis sur No. 91-31 sur	72	2	2	1	1	1	5	1	1	No	0	0	0	0	0

TABLA 3.10
INVENTARIO DE VIVIENDAS

CASALOMA

Dirección	Escaleras	daPisos	daCubierta	Tab_inf	Tab_div	Tab_ext	Inst_elec	Plomería	Daño	Suelo	Inestabilidad	Medidas	Agua	Alcantarillado	Energía	Gas	Teléfono	Pavimento
Carrera 93 No. 62F-15 sur	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2
Carrera 92 No. 62F-14 sur	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2
Cra 92 No. 62F-15 sur	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	1	0	1	1	1	2	1	2
Carrera 91 no. 62F- 08 sur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2
Carrera 91 No. 62F-12 sur	0	3	3	0	0	3	0	0	3	2	5	0	1	1	1	2	1	2
Carrera 91 No. 62F-50 sur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	1	2
Carrera 75 No. 62F- 54 sur	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2
Calle 62G sur No.90-18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	1	2
Carrera 90 No. 62F-53 sur	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2
Carrera 90 No. 62G-02 sur	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2
Carrera 90 No. 62G-04 sur	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2
Carrera 90 No. 62G-06 sur	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	2	1	2	1	2
Carrera 90 No. 62G-08 sur	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2
Carrera 90 No. 62G-10 sur	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2
Carrera 90 No. 62G-12 sur	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2
Carrera 90 No. 62G-19 sur	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2
Carrera 90 No. 62G-17 sur	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	2	2	2	2
Carrera 90 No. 62G-13 sur	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2
Carrera 90 No. 62G-08 sur	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2
Carrera 90 No. 62G- sur	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	2	1	1	2	2	2
Carrera 90 No. 62G-12 sur	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2
Carrera 90 No. 62G-07 sur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Carrera 90 No. 62G-16 sur	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2
Carrera 90 No. 62G- sur	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2

MIRADOR DE LA ESTANCIA

Calle 62H Bis sur No. 91-83	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2
Calle 62H Bis sur No. 91-79	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2
Calle 62H Bis No. 91-75 sur	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2
Calle 62H Bis sur No. 91-71	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2
Calle 62 Bis sur No. 91 Bis - 67	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2
Calle 62H Bis No. 91-59 sur	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2
Calle 62H Bis sur No. 91-55	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2
Calle 62H Bis sur No. 91-51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Calle 62H Bis sur No. 91-47	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2
Calle 62H Bis sur No. 91-43	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	2	1	2	1	2
Calle 62H Bis sur No. 91-39	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2
Calle 62H Bis sur No. 91-35	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2
Calle 62H Bis sur No. 91-31 sur	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2

TABLA 3.10
INVENTARIO DE VIVIENDAS

CASALOMA

Dirección	Ingresos	Bienes	Inmueb_prop	Inmueb_cat	Peligro	Fotografías	Fecha	Inspector	Observaciones
Carrera 93 No. 62F-15 sur	250	1500	3000	0	edan afectar la vivienda	0	01-16-00	0	0
Carrera 92 No. 62F-14 sur	0	0	0	0	0	0	01-16-00	0	0
Cra 92 No. 62F-15 sur	600	1500	3000	0	De pronto por caída de	0	01-16-00	0	0
Carrera 91 no. 62F- 08 sur	0	0	0	0	0	0	01-16-00	0	0
Carrera 91 No. 62F-12 sur	300	1000	4500	0	Si, por la caída de bloqu	0	01-16-00	0	0
Carrera 91 No. 62F-50 sur	0	0	0	0	0	0	01-16-00	0	0
Carrera 75 No. 62F- 54 sur	0	1000	12000	0	si por la caída de bloque	0	01-16-00	0	0
Calle 62G sur No.90-18	300	3000	20000	0	Sí, por caída de bloques	0	01-16-00	0	0
Carrera 90 No. 62F-53 sur	500	2000	9000	0	No	0	01-16-00	0	0
Carrera 90 No. 62G-02 sur	100	200	7000	0	Se considera que la vivi	0	01-16-00	0	0
Carrera 90 No. 62G-04 sur	0	0	0	0	0	0	01-16-00	0	0
Carrera 90 No. 62G-06 sur	300	1000	10000	0	No se presentan riesgos	0	01-16-00	0	0
Carrera 90 No. 62G-08 sur	250	100	6000	0	Ninguno	0	01-16-00	0	0
Carrera 90 No. 62G-10 sur	0	0	6000	0	0	0	01-16-00	0	0
Carrera 90 No. 62G-12 sur	250	1000	7000	0	El propietario considera	0	01-16-00	0	0
Carrera 90 No. 62G-19 sur	80	300	4500	0	Sí, por caída de bloques	0	01-16-00	0	0
Carrera 90 No. 62G-17 sur	0	0	4000	0	Sí, por la caída de bloqu	0	01-16-00	0	0
Carrera 90 No. 62G-13 sur	0	0	0	0	0	0	01-16-00	0	0
Carrera 90 No. 62G-08 sur	900	300	8000	0	No	0	01-16-00	0	0
Carrera 90 No. 62G- sur	0	0	0	0	0	0	01-16-00	0	0
Carrera 90 No. 62G-12 sur	500	1000	12000	0	Sí, por caída de bloques	0	01-16-00	0	0
Carrera 90 No. 62G-07 sur	0	0	0	0	0	0	01-16-00	0	Casa vacía, en construcción
Carrera 90 No. 62G-16 sur	350	1500	8000	0	No	0	01-16-00	0	0
Carrera 90 No. 62G- sur	255	0	0	0	0	0	01-16-00	0	0

MIRADOR DE LA ESTANCIA

Calle 62H Bis sur No. 91-83	0	0	0	0	0	0	01-16-00	0	Casa en construcción en ladrillo
Calle 62H Bis sur No. 91-79	0	0	0	0	0	0	01-16-00	0	0
Calle 62H Bis No. 91-75 sur	400	4000	15000	0	No	0	01-16-00	0	0
Calle 62H Bis sur No. 91-71	0	0	0	0	0	0	01-16-00	0	0
Calle 62 Bis sur No. 91 Bis - 67	50	2000	20000	0	0	0	01-16-00	0	0
Calle 62H Bis No. 91-59 sur	0	0	0	0	No	0	01-16-00	0	0
Calle 62H Bis sur No. 91-55	250	200	15000	0	0	0	01-16-00	0	0
Calle 62H Bis sur No. 91-51	0	0	0	0	0	0	01-16-00	0	0
Calle 62H Bis sur No. 91-47	0	0	0	0	0	0	01-16-00	0	0
Calle 62H Bis sur No. 91-43	255	5000	18000	0	0	0	01-16-00	0	0
Calle 62H Bis sur No. 91-39	300	500	10000	0	0	0	01-16-00	0	0
Calle 62H Bis sur No. 91-35	0	0	0	0	0	0	01-16-00	0	0
Calle 62H Bis sur No. 91-31 sur	500	2000	30000	0	Sí, por estar cerca de la	0	01-16-00	0	0

CAPITULO 4

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y EVALUACIÓN DE AMENAZA ACTUAL

4. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y EVALUACIÓN DE AMENAZA ACTUAL

4.1 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

Previo al análisis de estabilidad y con el fin de facilitar la labor de asignación de la probabilidad de falla, se establecieron zonas de comportamiento geotécnico similar tanto en conformación como en la dinámica de las laderas. Los parámetros tomados en cuenta para la definición de las áreas homogéneas fueron: el tipo de ladera, el material constitutivo, la condición estructural el área de aporte de aguas y los procesos morfodinámicos que influyeron en ellas.

Con relación a la primera variable, dado que la morfología actual y la evolución de los procesos de remoción en masa están en directa relación con el papel del hombre sobre el medio físico, se consideró apropiado dividir las laderas de acuerdo con la mayor o menor influencia antrópica en ellas, en: Naturales (LN) y de Modelado Antrópico (LA).

En lo que respecta al segundo parámetro, el trabajo de diferenciación no fue fácil, pues la conformación general de la cantera es muy similar. La secuencia estratigráfica es homogénea y esta constituida por intercalaciones de bancos de arenisca y arcillolitas suprayacidas en el tope por espesos depósitos de origen hidrogravitacional, y en la base por delgados montes de detritos. Existe tan solo dos sutiles diferencias en el frente de explotación que fueron el soporte para la división del terreno: la primera radica en la mayor presencia de bancos arcillosos en el costado sur, frente al dominio arenoso del borde oriental; y la segunda se dibuja en el marcado desarrollo de depósitos de detritos que cubren el macizo de algunas áreas de aporte, en la pata de la cantera.

La condición estructural, tratada en el numeral 3.4.3.1.1, ratificó la diferencia del comportamiento entre el límite oriental y la franja sur del frente de explotación. Además dejo entrever el papel que juega la traza principal de falla en las características geomecánicas de los bancos arcillosos (en el sur del área). Este lineamiento de rumbo E-W, no sólo conlleva variaciones locales en la estratificación (especialmente del buzamiento) de dichos bancos sino que su actividad e influencia en el patrón hidrogeológico alteran y cizallan los niveles de roca produciendo deformaciones importantes que hacen presumir que el material trabaja con sus parámetros residuales o muy cerca de ellos.

El parámetro 4: áreas de aporte, fue pilar, junto con los procesos morfodinámicos en el señalamiento de los linderos de las zonas homogéneas. Corresponde a las superficies de evacuación del agua de escorrentía superficial y su demarcación fue estrictamente topográfica.

Por último, para la variable procesos morfodinámicos, se establecieron cuatro grandes fenómenos de importancia:

- Deslizamientos traslacionales en suelo-roca
- Deslizamientos rotacionales en suelo
- Caída de roca
- Deslizamientos traslacionales en suelo.

La erosión se consideró una constante en todo el frente de explotación por lo cual no fue incorporada dentro del análisis.

De acuerdo con el marco teórico expuesto, se obtuvieron cinco (5) zonas homogéneas para el área de estudio (**Mapa 8**), definidas así:

LARE — Ocupa el borde oriental del área de estudio y conjuga laderas antrópicas conformadas por macizos rocosos, con relevancia arenosa de moderada a alta meteorización, con procesos de erosión pluvial moderados y fenómenos potenciales avanzados de remoción en masa.

Los depósitos de pie de ladera son delgados y espacialmente dejan al descubierto el macizo; los procesos de inestabilidad se clasifican como: deslizamientos traslacionales en suelo-roca, que semejan mecanismos de falla planar con grieta de tracción, deslizamientos traslacionales de suelo y caída de rocas.

LAFE — Está ubicada en el perímetro sur de la zona, y encierra laderas de origen antrópico, integradas superficialmente por depósitos de origen fluvio-glaciar y de detritos arcillosos, que descansan en secuencias arcillosas, retrabajadas por procesos de erosión acentuados y, fenómenos de remoción en masa locales activos y potenciales de tipo caída de bloques y deslizamientos traslacionales en suelo.

LAFME — Circunscribe el marco central del flanco sur de explotación, está compuesto por superficies de modelado antrópico desarrolladas en macizos rocosos altamente meteorizados y depósitos de origen fluvio-glaciar; afectados por erosión acentuada y procesos potenciales de falla planar con grieta de tracción. Esta zona encierra la masa activa más grande del marco de estudio, con cerca de 2500 m^3 de volumen y uno de los procesos de remoción en masa que requiere mayor atención en la evaluación de amenaza.

LNMD — Está emplazada en el extremo suroccidental del barrio y es tal vez el último relicto del paisaje natural. Los materiales corresponden a depósitos fluvio-glaciares y macizos rocosos dominantemente arcillosos. Los procesos de erosión son leves y los fenómenos de remoción en masa son antiguos, de pequeña magnitud y de actividad dormida.

LADE — Describe la porción plana del frente de explotación, dibujada por rellenos heterogéneos influenciados por erosión pluvial moderada.

4.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

En el análisis de estabilidad de taludes en roca, tal vez el factor más importante a ser considerado es el patrón geométrico de los planos de debilidad que componen el macizo. La relación geométrica entre las discontinuidades y la orientación del talud determinará si parte de él está libre de deslizarse o caer. Por tanto, la primera etapa en la evaluación de estabilidad se enfocó al análisis direccional de los modos de falla a lo largo de los planos de debilidad estructural en los marcos de presentación de los macizos rocosos, y a la determinación del modo probable de falla, a partir de la aplicación del análisis cinemático, (Goodman, 1989 y Hoek and Bray, 1974).

Para el análisis cinemático, se consideró en forma conservativa, como ángulo de fricción de los planos de discontinuidad, el ángulo de fricción básico de la arenisca a lo largo del plano de diaclasa D_3 ($Ø \simeq 30°$), puesto que representa el modelo más desfavorable para los taludes del frente de explotación.

En una segunda etapa, se modelaron con la ayuda de los métodos de equilibrio limite para cada zona homogénea los modos de falla observados en campo así: Falla de bloque con grieta de tracción, en la principal exposición del cuaternario fluvioglacial, deslizamientos rotacionales para el cuerpo superior de roca triturada, caída de rocas para las capas del tope de la secuencia estratigráfica en la cantera y deslizamientos traslacionales en los depósitos de detritos.

En los modelos estáticos se realizaron diferentes "corridas" con el fin de estructurar un análisis paramétrico (Mora, 1990 y Hoek 1974, 1996), al que se le superpusieron los valores físico - mecánicos obtenidos en el laboratorio para de esta manera tener una percepción del grado de estabilidad.

4.2.1 Análisis Cinemático

En este análisis se evaluaron los modos probables de falla para múltiples orientaciones de las laderas naturales entallados principalmente en roca (zonas homogéneas LAFME, LAFE y LARE (véase **Mapa. 8**). De esta forma, se consideraron en los taludes del límite sur orientaciones dominantes entre N89ºW / 68ºNE a N10ºW / 30ºNE. Y para los cortes del costado norte, rumbos promedio desde N07ºE hasta N62ºE y buzamientos entre 63° y 76° al SE (**Tabla 4.1** y el **Mapa 6**).

El abanico de las laderas estudiadas se circunscribe en las regiones estructurales (1 y 2) por ser ellas las que cobijan el alto relieve en el frente de explotación (véanse **Mapas 3** y **6**).

Bajo las condiciones geométricas mencionadas para los taludes, los cuales representan las superficies libres de movilización, y del patrón estructural reseñado en el numeral 3.4.3.1, el análisis cinemático permite concluir que para la totalidad de las laderas no existe configuración de falla planar o en cuña. Este fenómeno tiene explicación por tres fundamentos básicos así:

- Algunas de las laderas no se encuentran direccionalmente paralelas a las familias promedio de discontinuidades.

TABLA 4.1

RESUMEN DEL ANALISIS DE ESTABILIDAD CINEMÁTICO PARA LOS TALUDES DOMINANTES BARRIO CASALOMA

	ORIENTACIÓN		CONDICIÓN ESTRUCTURAL			ANÁLISIS CINEMÁTICO (Hoek-1978)			ANÁLISIS DE BLOQUE CRÍTICO	
TALUD	RUMBO	INCLINACION	REGIÓN ESTRUCTURAL	FAMILIAS PROMEDIO DE DISCONTINUIDADES	INTERSECCIONES PROMEDIO	FALLA PLANAR	FALLA EN CUÑA	FALLA POR VOLTEO	BLOQUE MOVIL	POSIBILIDAD DE MOVILIZACIÓN
L1	N62W	73NE				195/78		335/89		
L2	N24W	69NE		E_1: N59W/24NE	I_1: N26W/20NE					
L3	N16E	76SE	1	D_2: N61E/82SE	I_2: N25W/20NE					
L4	N62E	72SE		D_3: N65E/89NW	I_3: N16E/6SE			335/89		
L5	N75E	68SE		D_4: N75W/78SW	I_4: N25W/24NE			335/89		
L6	N61E	63SE			I_5: N70W/78SW			335/89		
L7	N45E	73SE			I_6: N32W/71SW			335/89		
L8	N41W	63NE								
L9	N07E	63SE								
L10	N27E	72SE								
L11	N32W	45NE								
L12	N-S	63W								
L13	N87W	58NE						195/78		
L14	N32W	73NE								
L15	N12E	73SE								
L16	N10W	30NE								
L17	N48W	63NE						195/78		
L18	N64W	68NE						195/78		
L19	N87W	59NE						195/78		
L20	N32E	45NW		E_1: N58W/11NE	I_1: N26W/20NE			151/82		
L21	N25W	38SW		D_2: N61E/82SE	I_2: N25W/20NE					
L22	N38E	55NW	2	D_3: N65E/89NW	I_3: N16E/6SE			151/82		
L23	N73W	63NE		D_4: N75W/78SW	I_4: N25W/24NE			195/78		
L24	N66E	72NW			I_5: N70W/78SW			151/82		
L25	N89W	63NE			I_6: N32W/71SW			195/78		
L26	N60W	60NE						195/78		
L27	N31W	49NE								
L28	N80W	51NE						195/78		
L29	N48E	45NW						151/82		
L30	N06E	63NW								
L31	N47E	27NW								
L32	N24W	27NE								
L33	N58W	18NE								
L34	N51W	34NE								

- Los buzamientos de los planos estructurales, desfavorablemente orientados (p.e. con rumbo paralelo a las laderas) son superiores a las inclinaciones de las laderas.

- Los azimutes de buzamiento de las cuñas muestran variaciones superiores a los 90° con relación a los azimutes de buzamiento de las superficies libres.

- El buzamiento de las cuñas potencialmente inestables, es menor tanto a la inclinación de los cortes como al ángulo de fricción interna de los planos de movilización.

La ladera con orientación N62ºW e inclinación de 73° al NE es la única que presenta posibilidad cinemática de falla planar por el plano D_2 = 195º/78º (Región Estructural 1).

De otra parte, para casi todo el contacto de las laderas en la cantera existe configuración cinemática de falla por volteo a lo largo de los planos 335º/90º, si se trata de la región estructural 1 y, 195º/78º y 151º/82º si corresponde a la región 2. Este mecanismo de falla, empero, presenta serios inconvenientes para su desarrollo. El primero de ellos está relacionado con la baja persistencia modal de las discontinuidades y el segundo, parte de la composición estratigráfica del frente de explotación dominada, en superficie, por bancos espesos (hasta 7 m) de depósitos de roca con alto grado de meteorización física o desintegración.

Los resultados mencionados pueden entenderse como una confirmación de las condiciones de estabilidad y de comportamiento de las laderas en el área de estudio, puesto que no se observa ningún tipo de evidencia de falla planar o en cuña. Los fenómenos de remoción en masa más importante son: la falla de bloques con grieta de tracción y la caída de rocas.

4.2.2 Análisis Estático

Con este tópico el autor pretende, para los taludes potencialmente inestables en el frente de explotación, más que obtener valores absolutos del factor de seguridad para condiciones unitemporales, como puede ser el caso de un talud seco sin sismo, ilustrar el espectro de posibilidades (análisis de sensibilidad) para el que aquéllos pueden mantenerse estables o fallar.

El significado del factor de seguridad tiene (opinión del autor) mayor relevancia cuando se expresa en términos de probabilidad de falla, que cuando se deja como un valor numérico sin dar una explicación física. De otro lado, el factor de seguridad reportado en estudios geotécnicos está ligado normalmente con las condiciones más críticas, no siempre válidas, y no con las más probables a las que podría someterse una ladera, máxime si tiene en cuenta la difícil y dispendiosa tarea de obtenerlas.

Bajo los lineamientos anteriores, y con el fin de adelantar esta tarea, se definieron secciones de análisis (B-B', C-C', D-D', E-E' y H-H') por zona homogénea de acuerdo con la probable dirección de movilización de las masas potencialmente inestables (véanse **Mapas 3** y **8**), y se asume entonces que el grado de estabilidad de cada una de ellas es equivalente para la región (zona homogénea) a la cual pertenece. (Véanse Figuras A-22 a A-29 del Anexo A).

El lector pudo apreciar gracias al análisis cinemático, el papel secundario del patrón estructural en las condiciones de inestabilidad actual de los taludes. No obstante, contrario a tal apreciación, existen en todo el marco de la zona de estudio, masas activas en estado crítico donde los planos de discontinuidad tienen alguna influencia especialmente en procesos de caídas de rocas y de falla planar.

En general, los taludes en condiciones de estabilidad marginal entallan casi la totalidad del frente de explotación (zonas homogéneas LAFME, LARE y LAFE (**Mapa 8**). Los mecanismos de falla semejan bien modelos de falla en bloque, deslizamientos traslacionales superficiales y caída de roca, donde los materiales involucrados son: depósitos – friccionantes (Qddf) y arcillolitas ($Tkgmcl_2$) para la primera zona, macizos superficialmente meteorizados y altamente fracturados en la segunda, y rellenos antrópicos y depósitos de detritos para la última. Así:

- En cuadro central del frente de explotación, específicamente entre los taludes L-20 y L-27 (Véase **Mapas 3** y **6**) y en los cierres norte y sur de la zona homogénea LARE (taludes L12 a L16) se aprecian bloques potencialmente inestables en la más amplia exposición del cuaternario (Qfg y Qddf), cuyo mecanismo de falla no responde a la relación geométrica entre las discontinuidades y las orientaciones de los taludes.

  Los deslizamientos entre estos cortes se producen de manera similar a la falla planar con grieta de tracción, y el plano de movilización está controlado por la estratificación. El puente, es decir el desplazamiento, se realiza por entre los fragmentos de arenisca (Qddf) o siguiendo la superficie de contacto con la arcillolita ($Tkgmcl_2$), en ángulos inferiores a los 11º, según los registros estructurales obtenidos en campo.

  Por lo tanto para el análisis estático de estas laderas se adoptó este tipo de fenómeno de remoción en masa como mecanismo principal de rotura y, como método de evaluación el presentado por Norrisahnd and Wyllie (1996), que es una versión generalizada del tratamiento de falla planar desarrollado por Hoek y Bray (1974).

  Los perfiles B-B', D-D' y F-F' (**Mapa 3** y **Anexo A**) ilustran la geometría de los taludes estudiados. La altura de los cortes (**H**) varía desde 7.0 m. hasta 11.80 m., la pendiente de la cara del talud (ϕ_f) es del orden de los 70º ($60º < \phi_f < 75º$), con ángulos máximos en el tope (ϕ_s) cercanos a los 25º. El buzamiento del plano de movilización (ϕ_p) oscila entre 6° y 11°. Las grietas de tracción muestran orientación promedio N - S, están separadas de la cara del talud entre dos y tres metros (2.00 m. < **b** < 7.00 m.) y sus profundidades, **Z**, oscilan desde los 2.50 m. hasta los 4.20 m (corte F-F').

  - De otro lado, para los taludes esculpidos en los espesos mantos de los depósitos fluvioglacial (Qfg) [corte H-H'] y de roca triturada (Qdrt) [cortes B-B', C-C', E-E' y G-G'] se supuso con base en su carácter homogéneo, que los modelos probables de falla eran el deslizamiento rotacional y la caída de bloques.
- La selección del primer mecanismo (superficie de falla circular) redundó en el hecho de que no se contaba con elementos de juicio, ni evidencias de campo suficientes que permitieran definir el tipo de falla a esperar en el depósito.

– Por último, como los pies de laderas están definidos por cuerpos delgados de detritos sueltos, que descansan en potentes niveles de arcillolita; se consideró que estos depósitos se movilizan bajo patrones de falla traslacional, donde la superficie preferencial de deslizamiento se encuentra en el contacto suelo – roca.

Definidos los tipos de falla por estudiar, el siguiente paso consistió en formular un análisis paramétrico para cada uno de los taludes en estudio según los principales mecanismos (i. e. Falla planar y rotacional). Es decir, determinar los valores de cohesión y del ángulo de fricción a movilizar para obtener un factor de seguridad equivalente a la unidad. El efecto seudoestático de sismicidad y la respuesta de las presiones hidrostáticas fueron evaluados considerando diversos niveles de aceleración y de posición de la tabla de agua.

Las **Figuras 4.1** a **4.7** muestran los resultados obtenidos del análisis paramétrico. En estas gráficas, las envolventes superiores corresponden a condiciones críticas inalcanzables (niveles extremos de agua y sismo), puesto que demandan la movilización de parámetros de resistencia excesivos, que no poseen los materiales de la zona de estudio, para mantenerse estable.

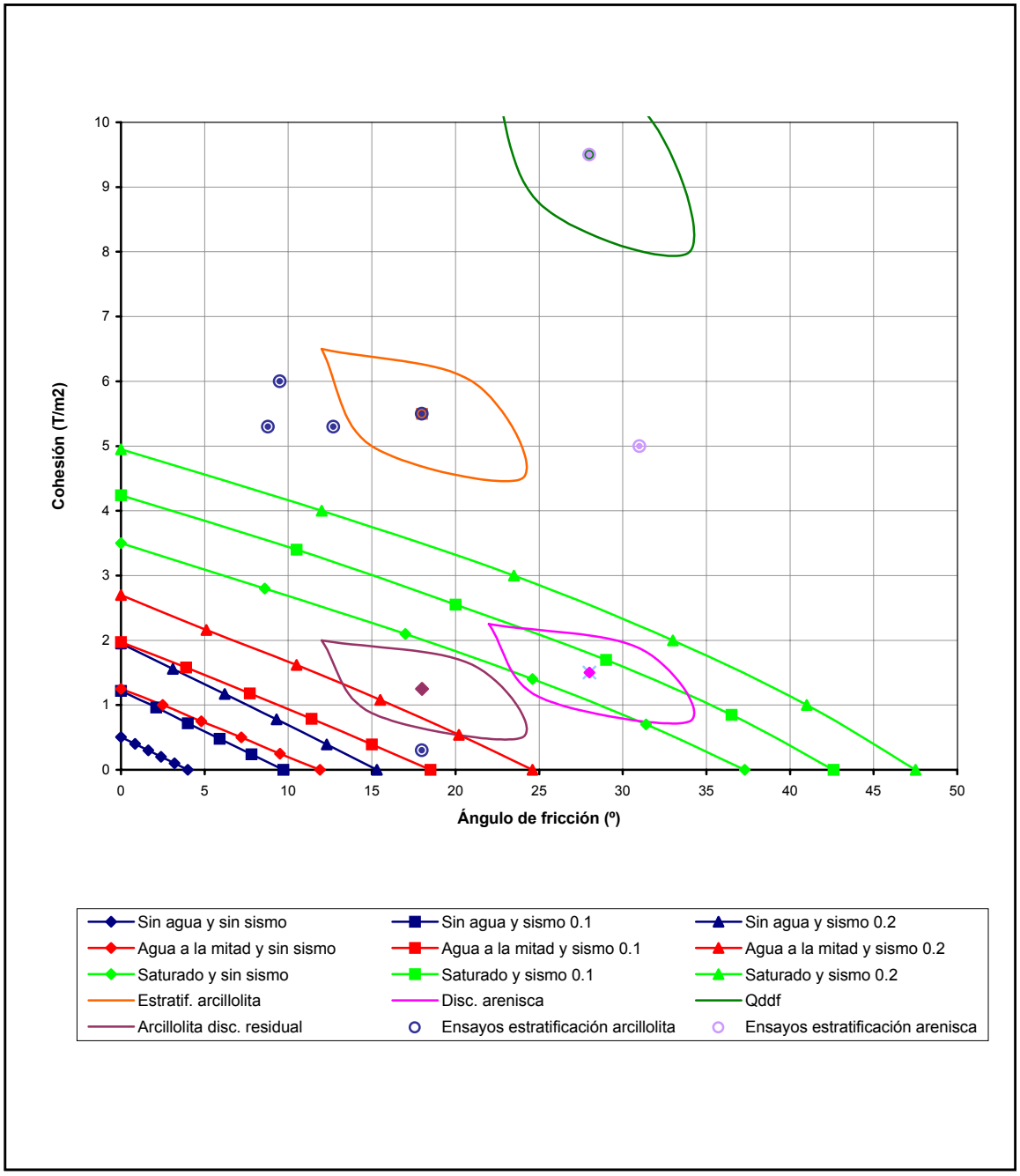
Al superponer los parámetros de resistencia, tanto de las discontinuidades (estratificación) como del material rocoso prefallado (arenisca), en las curvas de los análisis paramétricos para modelos de falla planar, se puede apreciar que la condición de estabilidad para los taludes de las secciones B-B', D-D y F-F' para el dominio de los parámetros básicos de la discontinuidad sería aceptable. Ellos permanecerían estables aún para niveles extremos de agua en la grieta de tracción y de la aceleración sísmica.

En este sentido sólo podrían esperarse fallas de las laderas, en un modelo de disminución progresiva de los parámetros de resistencia en el plano de deslizamiento y para una posición permanente de la tabla de agua en la superficie del terreno. La anterior apreciación se encuentra en contraposición con las evidencias de actividad de las masas. Por lo tanto se concluyó que los materiales para estos casos exhiben parámetros cercanos a los residuales y que la superficie potencial de falla se localizaría en el contacto con la arcillolita. La condición de estabilidad de los cortes para esta última circunstancia, cambia sustancialmente, la falla se produciría entonces si la grieta de tracción está parcialmente llena (Z_w = ½ H) y se presenta un evento sísmico.

El comportamiento del frente de explotación (secciones C-C', E-E'y G-G') para mecanismos de deslizamiento rotacional y considerando la superficie de falla a la altura del banco del cuaternario (antiguo Qddr), muestra innegable grado de estabilidad aún cuando el material está parcialmente saturado (r_u = 0.30, nivel probable de agua) y haya sismo (véanse **Figuras 4.5** a **4.7**). No sucede lo mismo si se estudia el proceso de caída de rocas (en el depósito). La estabilidad de las unidades líticas es marginal y su recurrencia es permanente.

FIGURA 4.1

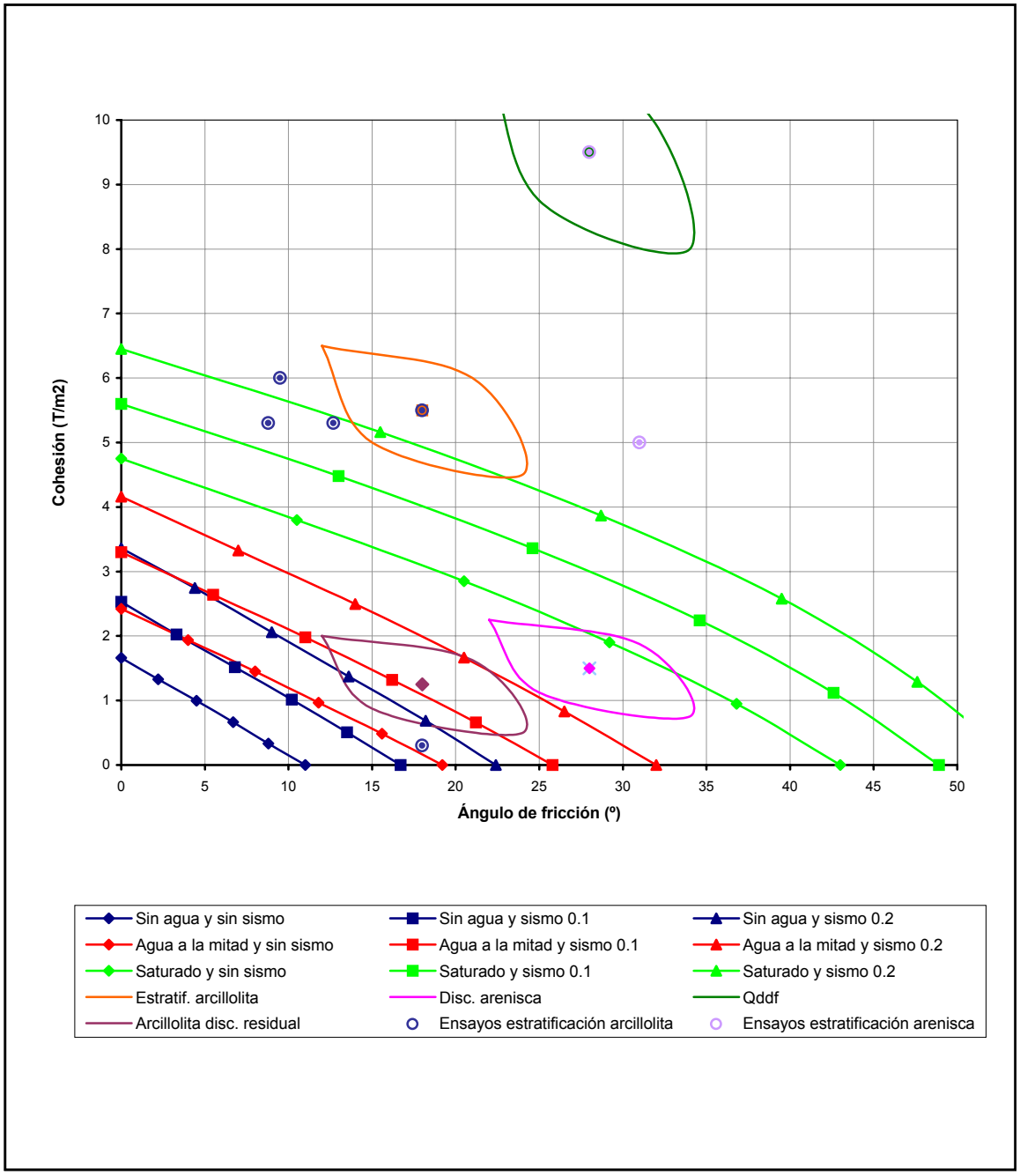
ANÁLISIS PARAMÉTRICO
MODELO DE FALLA PLANAR CON GRIETA DE TRACCIÓN
CASALOMA SECCIÓN DE ANÁLISIS B-B'



D:\Consultoria\Casaloma\Geotecnia\Cap4\Figuras\Análisis parametrico\B-B'.XLS

FIGURA 4.2

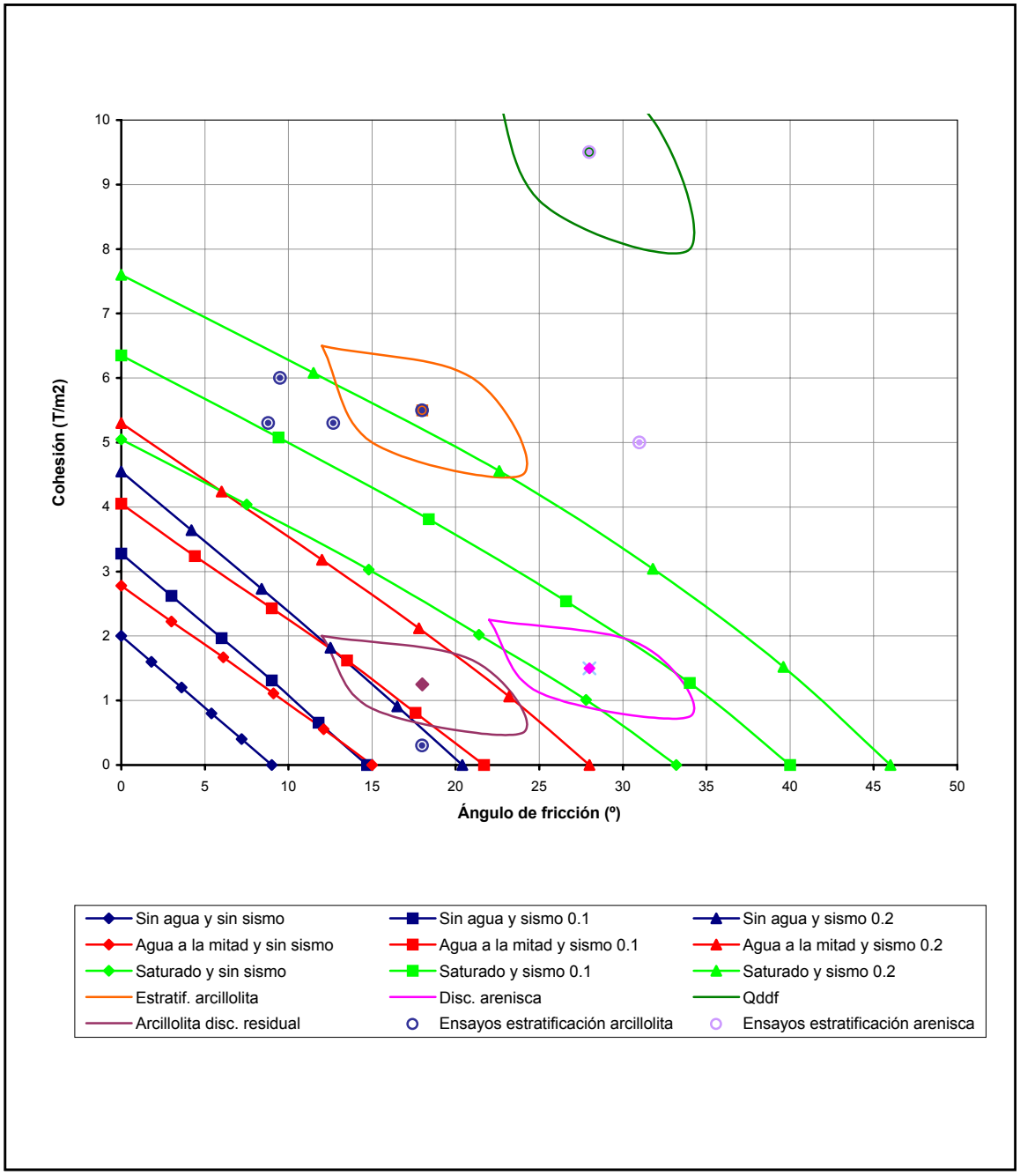
ANÁLISIS PARAMÉTRICO
MODELO DE FALLA PLANAR CON GRIETA DE TRACCIÓN
CASALOMA SECCIÓN DE ANÁLISIS D-D'



D:\Consultoria\Casaloma\Geotecnia\Cap4\Figuras\Análisis parametrico\D-D'.XLS

FIGURA 4.3

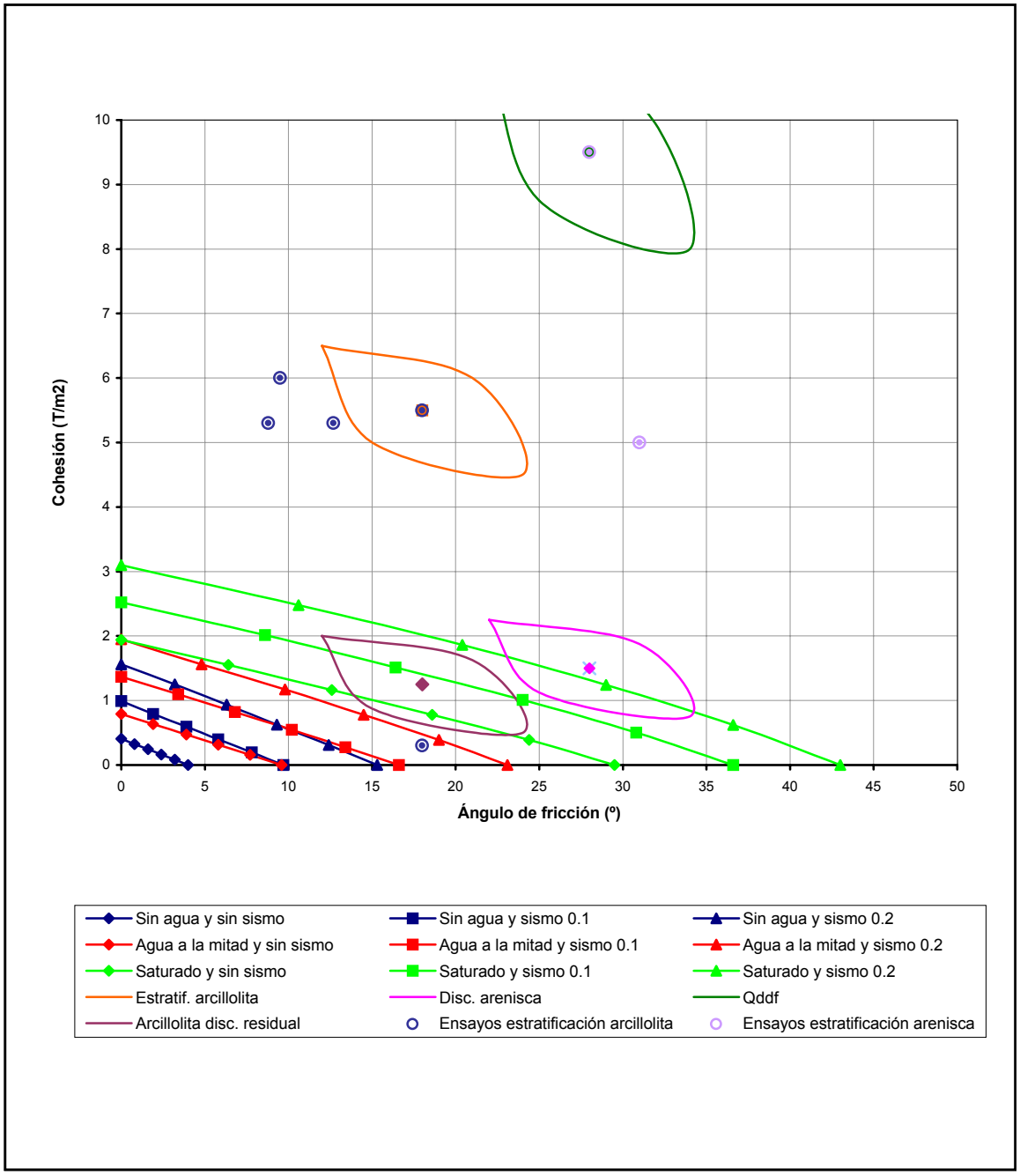
ANÁLISIS PARAMÉTRICO
MODELO DE FALLA PLANAR CON GRIETA DE TRACCIÓN
CASALOMA SECCIÓN DE ANÁLISIS F-F'



D:\Consultoria\Casaloma\Geotecnia\Cap4\Figuras\Análisis parametrico\F-F'.XLS

FIGURA 4.4

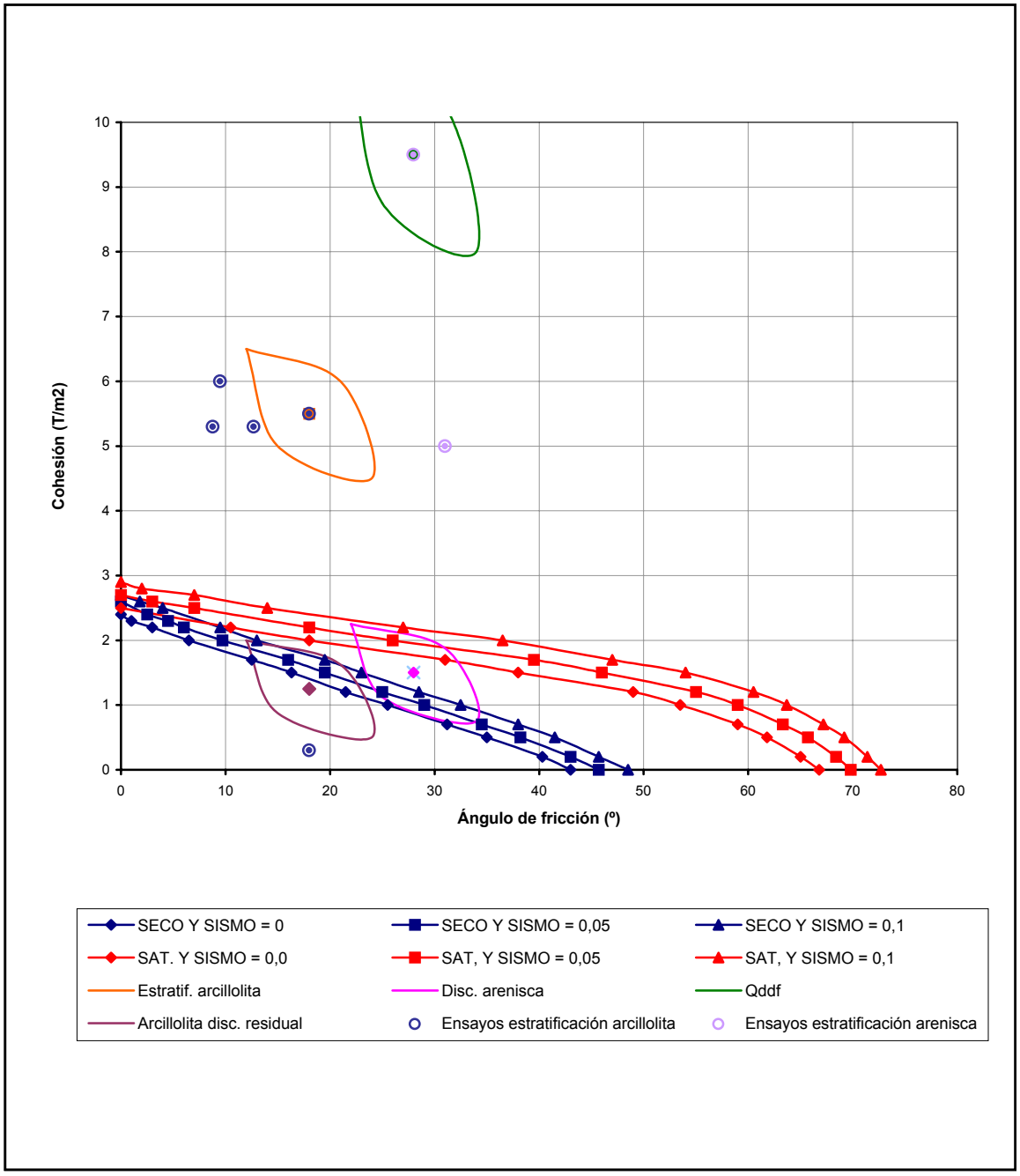
ANÁLISIS PARAMÉTRICO
MODELO DE FALLA PLANAR CON GRIETA DE TRACCIÓN
CASALOMA SECCIÓN DE ANÁLISIS G-G'



D:\Consultoria\Casaloma\Geotecnia\Cap4\Figuras\Análisis parametrico\G-G'.XLS

FIGURA 4.5

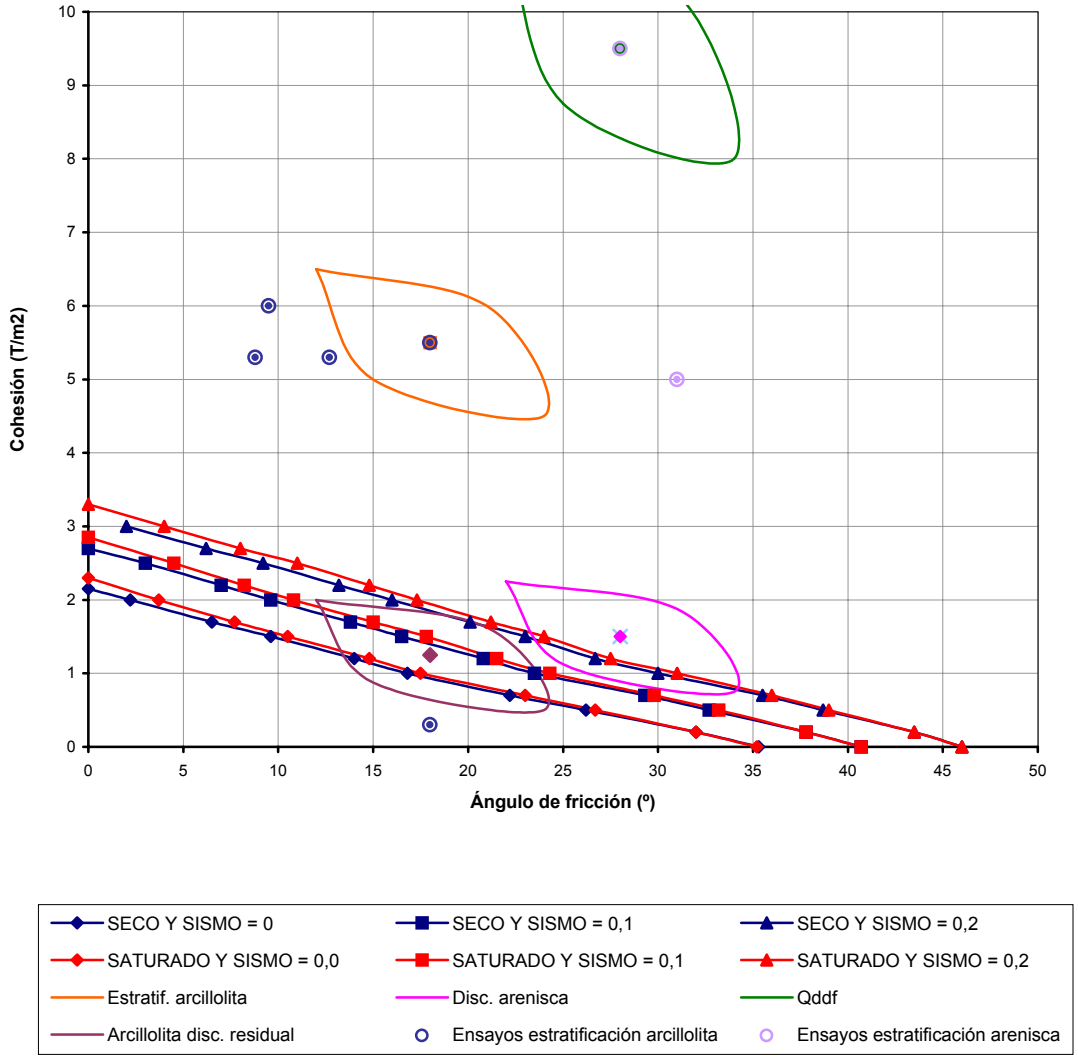
ANÁLISIS PARAMÉTRICO
MODELO DE FALLA ROTACIONAL
CASALOMA SECCIÓN DE ANÁLISIS C-C'



D:\Consultoria\Casaloma\Geotecnia\Cap4\Figuras\Análisis parametrico\4.5 C-C'.xls

FIGURA 4.6

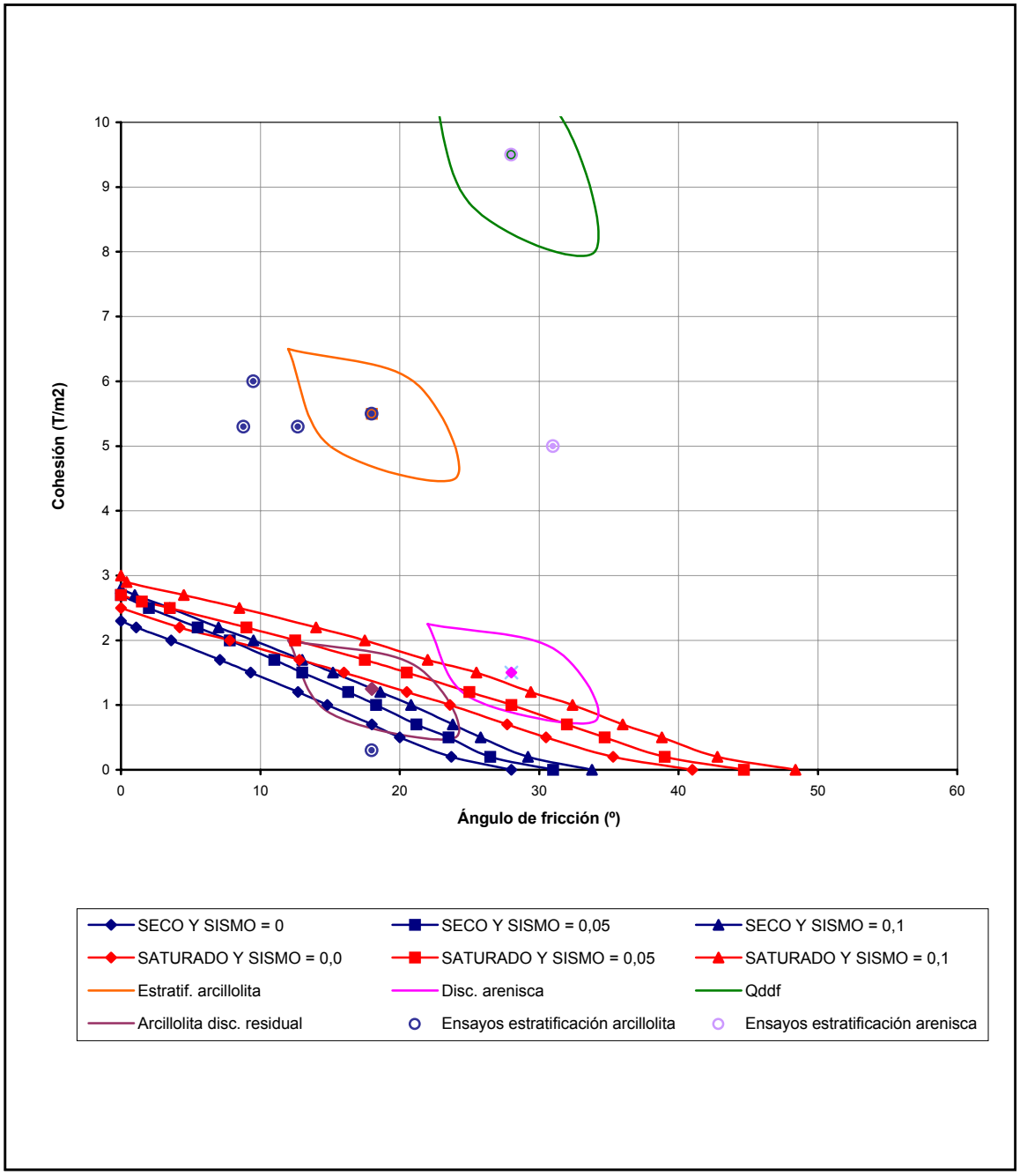
ANÁLISIS PARAMÉTRICO
MODELO DE FALLA ROTACIONAL
CASALOMA SECCIÓN DE ANÁLISIS E-E'



D:\Consultoria\Casaloma\Geotecnia\Cap4\Figuras\Análisis parametrico\4.6 E-E'.xls

FIGURA 4.7

ANÁLISIS PARAMÉTRICO
MODELO DE FALLA ROTACIONAL
CASALOMA SECCIÓN DE ANÁLISIS H-H'



D:\Consultoria\Casaloma\Geotecnia\Cap4\Figuras\Análisis parametrico\4.7 H-H'.xls

Los factores de seguridad se encuentran cercanos a la unidad, y su activación se produce para estados secos sin sismo y con pequeños niveles de contacto entre los bloques. Cabe destacar que este fenómeno es tal vez el de mayor dominio espacial en la cantera.

Por último, los depósitos de pie de ladera (Qddf y Qddg) arrojan evidencias de condiciones de falla (F. S. <= 1.3). La activación de las masas podría tener lugar cuando éstos se encuentren parcialmente saturados o bajo la estimulación de cualquier efecto sísmico. En el caso de producirse la movilización, sus consecuencias seguramente serían leves, pues las masas potenciales son pequeñas (en volumen) y su desplazamiento no afectaría ningún elemento físico cercano. De esta manera para el caso en estudio surgen desde ya dos alternativas de tratamiento: eludir el problema o aprovechar la bondad de los depósitos y retirarlos.

La **Tabla 4.2,** presenta un resumen del análisis de estabilidad en términos de factores de seguridad para cada uno de los cuerpos potencialmente activos, de acuerdo con los mecanismos de falla descritos anteriormente y dentro del intervalo probable de parámetros de cada material y niveles extremos de agua y sismo, que corroboran las conclusiones señaladas en los párrafos anteriores obtenidos del análisis .

4.3 EVALUACIÓN DE AMENAZA ACTUAL

La estimación de la amenaza, entendida como probabilidad de falla, puede hacerse mediante análisis cuantitativo o por métodos puramente empíricos. En el primer caso, la amenaza es función de múltiples factores que controlan la estabilidad de una ladera, ya sean internos o externos, los cuales están expresados como variables aleatorias, debido a que no son parámetros constantes y en ocasiones son desconocidos. En el segundo caso, los componentes se evalúan subjetivamente y se asignan rangos de intensidad.

Debido a la escala de trabajo del proyecto (1:1000) y al nivel de detalle de la investigación geotécnica, se contempló el uso de un método cuantitativo (técnica determinística) para la evaluación de amenaza. Para ello se siguieron los lineamientos de probabilidad de falla presentados por Hoek (1996) en el curso teórico - práctico “Decisiones prácticas y riesgos aceptables en ingeniería de rocas” y la aproximación probabilística del método de estimación de punto (PEM) propuesto por Rosenblueth (1975). Este último marco empleado como sistema de verificación.

La evaluación de amenaza requiere como insumos: conocer los mecanismos de falla, en este sentido se recurrirá a los que fueron tratados en el numeral 4.1.2 (análisis de estabilidad), y las funciones de probabilidad de las variables involucradas. Dichos elementos coligados con el método de análisis de estabilidad más conveniente, permiten determinar las curvas de probabilidad para cada uno de los taludes en estudio

Si bien el análisis en principio se realizó para los casos individuales, la probabilidad condicional de falla obtenida en cada uno fue elemento fundamental en la definición de las curvas de probabilidad de falla de la zona de estudio por tipos de mecanismo de falla. Estas gráficas constituyeron el último eslabón de la cadena que condujo a la elaboración de los Mapas de Amenaza.

TABLA 4.2

RESUMEN DE PROBABILIDAD DE FALLA PARA DIFERENTES TALUDES

VARIABLES DE ANALISIS				SECCION DE ANALISIS									
				B-B-01-3	B-B-01-4	B-B-02-2	D-D-01-4	D-D-02-2	F-F-01-3	F-F-02-2	G-G-01-3	G-G-02-2	H-H
Fricción	Cohesion (T/m^2)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Sin	11.63	10.34	4.59	3.49	3.12	4.86	3.81	12.11	3.73	2.68
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Sin	7.76	7.01	2.93	2.3	1.92	3.15	2.34	8.24	2.34	2.09
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Sin	9.65	7.36	3.52	2.59	2.5	4.26	3.06	9.65	2.93	2.27
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Sin	5.78	4.03	1.87	1.39	1.3	2.55	1.59	5.78	1.54	1.69
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Con	4.76	4.24	2.66	2.28	2.03	2.94	2.31	4.96	2.31	2.16
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Con	3.18	2.88	1.7	1.5	1.25	1.91	1.42	3.38	1.45	1.7
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Con	3.94	3.01	2.03	1.68	1.62	1.71	1.85	3.94	1.8	1.82
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Con	2.36	1.65	1.08	0.91	0.84	1.54	0.96	2.36	0.95	1.36
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Sin	1.17	1.16	0.67	0.9	0.61	1.4	1.07	1.71	0.82	2.4
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Sin	0.82	0.85	0.48	0.65	0.42	0.94	0.72	1.23	0.58	1.93
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Sin	0.89	0.73	0.45	0.58	0.43	1.14	0.78	1.19	0.55	1.99
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Sin	0.53	0.42	0.25	0.33	0.24	0.69	0.42	0.71	0.31	1.52
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Con	0.97	0.95	0.58	0.75	0.52	1.08	0.85	1.3	0.67	1.93
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Con	0.67	0.7	0.41	0.54	0.36	0.73	0.57	0.94	0.48	1.56
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Con	0.73	0.6	0.38	0.48	0.36	0.88	0.61	0.9	0.44	1.59
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Con	0.44	0.35	0.22	0.28	0.2	0.53	0.33	0.54	0.25	1.23

		SECCION								
		B-B-01-3	B-B-01-4	B-B-02-2	D-D-01-4	D-D-02-2	F-F-01-3	F-F-02-2	G-G-01-3	G-G-02-2	H-H
Valores paramétricos empleados en cada sección	ϕ_{max}	34	24	34	24	24	24	24	24	24	34
	ϕ_{min}	22	12	22	12	12	12	12	12	12	22
	C_{max}	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	3.0
	C_{min}	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.5	2.0

D:\Consultoria\Casaloma\Informe final\4.2 y 4.3.xls

Las variables aleatorias o fuentes de incertidumbre para los mecanismos de rotura seleccionados (señalado en el numeral 4.3.1), están relacionadas con los cambios espaciales de los materiales geológicos, coeficientes de resistencia al corte; y con las condiciones ambientales: aceleración del terreno para un sismo dado y el nivel del agua en la grieta de tracción.

Cada variable aleatoria fue descrita por una función de probabilidad a partir de una media (μ_x) y la desviación estándar (σ_x). Así, para los coeficientes de resistencia, c, ϕ, las medias fueron tomadas como el centro del elipsoide de parámetros representado en las Figuras 4.1 a 4.4 del análisis de sensibilidad. En este sentido se adoptaron como valores promedio en (**Figuras 4.8 a 4.12**):

Por su parte, la desviación estándar se definió como la diferencia promedio entre los extremos y el centroide de la elipse, con lo que resultó una desviación de 5° y 6º para el ángulo de fricción y de 0.5 a 0.75 ton/m^2 en la cohesión, según fuere el caso a analizar.

	μ_c	σ_c	μ_ϕ	σ_ϕ
Planos de Discontinuidad Arenisca ($Tkgmss_2$)	0.5	±0.5	28	±6
Planos de Discontinuidad Arcillolita ($Tkgml_1$)	1.25	±0.75	18	±6
Depósito de roca triturada (Qdrt)	0.5	±0.5	28	±6
Depósito de detritos (Qddf y Qddg)	0.0	±0.0	25	±5
Depósito Fluvioglacial (Qfg)	2.5	±0.5	28	±6

La función de densidad de probabilidad para la profundidad del agua en los casos de falla planar con grieta de tracción se ajustó a una distribución exponencial truncada, donde la profundidad promedio del agua es equivalente a la mitad de la altura de la grieta de tracción. Por último, la frecuencia de ocurrencia del sismo fue tomada de la curva de recurrencia sísmica de Colombia presentada en el Manual de Amenaza Sísmica, para una confiabilidad del 90%; de ella se obtiene que los coeficientes de aceleración sísmica oscilan entre 0 y 0.1 (con valor promedio de 0.05), para períodos de retorno entre 0 y 60 años, estos períodos se suponen representativos para la vida útil de las obras proyectadas en el presente estudio.

En lo que atañe a la ladera suroriental correspondiente a la unidad LMND (falla rotacional) del depósito cuaternario (Qfg), el efecto pseudoestático de la sismicidad y la respuesta de las presiones hidrostáticas, fueron evaluadas considerando diversos valores de aceleración sísmica (0-0.10) y diferentes niveles de la tabla de agua en la ladera, desde seco hasta totalmente saturado.

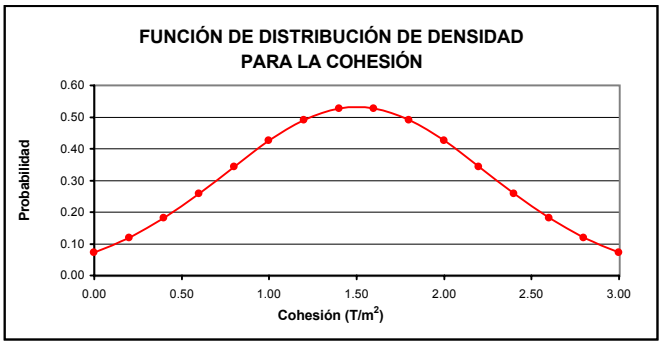
Fijos los comportamientos de las fuentes incertidumbre, las funciones de probabilidad de las variables se constituyeron en elementos fundamentales para la determinación de la función de probabilidad de falla de cada unos de los taludes potencialmente inestables estudiados en el numeral 4.1.4. En este sentido se realizaron múltiples corridas, contemplando para el método de Hoek (1996) sólo los valores de las variables en el intervalo $\mu_x - \sigma_x$ y $\mu_x + \sigma_{x,}$, con el fin de determinar el factor de seguridad (en cada caso) o para escenarios extremos de los parámetros de resistencia (C_{min}, ϕ_{min}, C_{max}, ϕ_{max}, entre otros) y de acuerdo con la acción individual o conjunto de los detonantes, si se trata del método de Rosenblueth (1995).

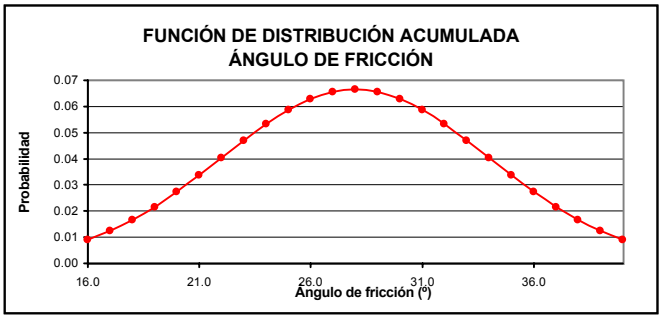
Con los factores de seguridad (F.S) obtenidos se calcularon las curvas de densidad, a partir de las cuales se obtuvo la probabilidad de falla. Definida como la relación entre el área bajo la curva para niveles del F.S menores a la unidad, y el área total de la curva.

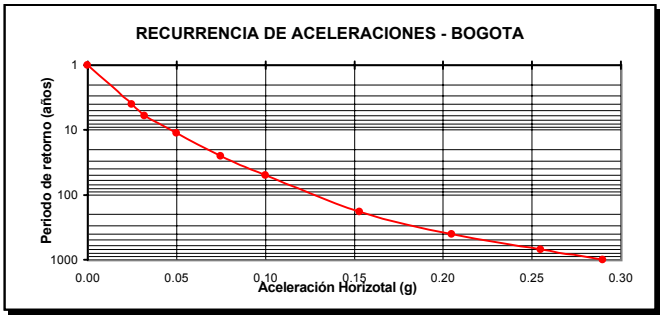
FIGURA 4.8

DISTRIBUCIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA PARA LA ESTRATIFICACIÓN DE LA ARENISCA

Variables aleatorias	Valor más probable	Desv. Estándar
Cohesión (Ton/m^2)	1.50	0.75
Ángulo de fricción interna (º)	28.00	6.00
Grado de saturación	0.30	0.30
Aceleración sísmica	0.05	0.05





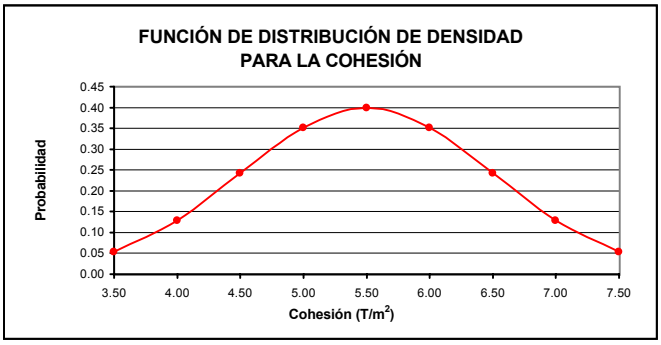


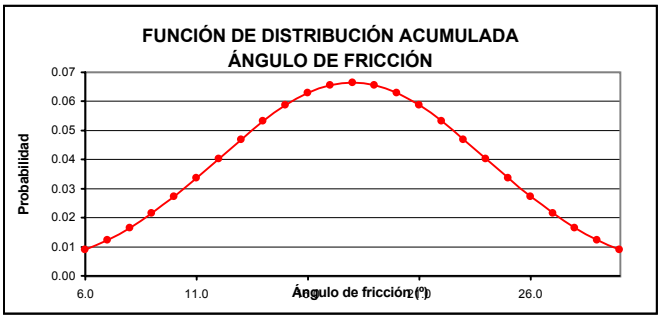
D:\Consultoria\Sotavento\Geotecnia\Cap4\Figuras\4.7 - 4.12.xls

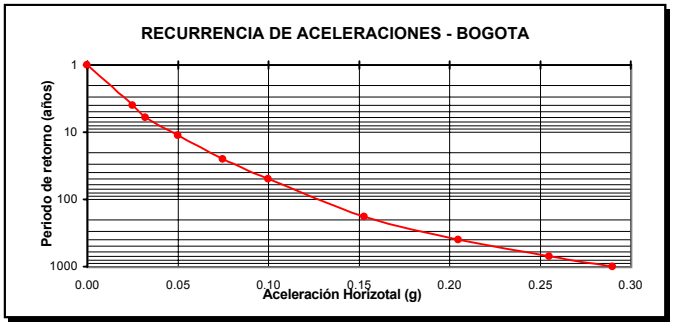
FIGURA 4.9

DISTRIBUCIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA PARA LA ESTRATIFICACIÓN DE LA ARCILLOLITA SINGULAR

Variables aleatorias	Valor más probable	Desv. Estándar
Cohesión (Ton/m^2)	5.50	1.00
Ángulo de fricción interna (º)	18.00	6.00
Grado de saturación	0.30	0.30
Aceleración sísmica	0.05	0.05





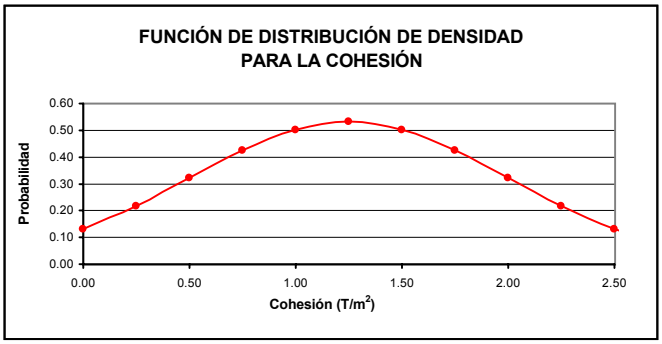


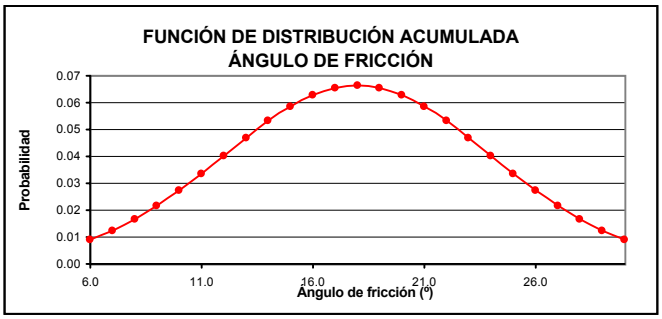
D:\Consultoria\Sotavento\Geotecnia\Cap4\Figuras\4.7 - 4.12.xls

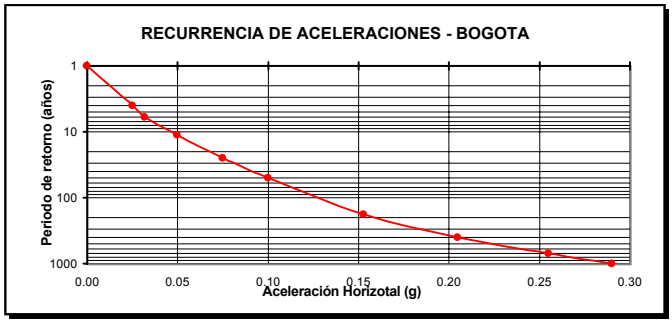
FIGURA 4.10

DISTRIBUCIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA PARA LA ARCILLOLITA RESIDUAL

Variables aleatorias	Valor más probable	Desv. Estándar
Cohesión (Ton/m^2)	1.25	0.75
Angulo de friccion interna (°)	18.00	6.00
Grado de saturación	0.30	0.30
Aceleración sísmica	0.05	0.05





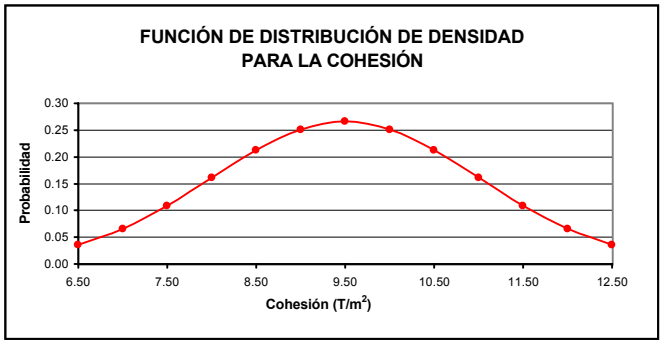


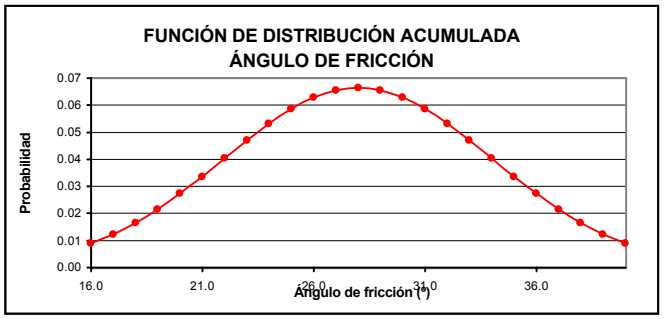
D:\Consultoria\Sotavento\Geotecnia\Cap4\Figuras\4.7 - 4.12.xls

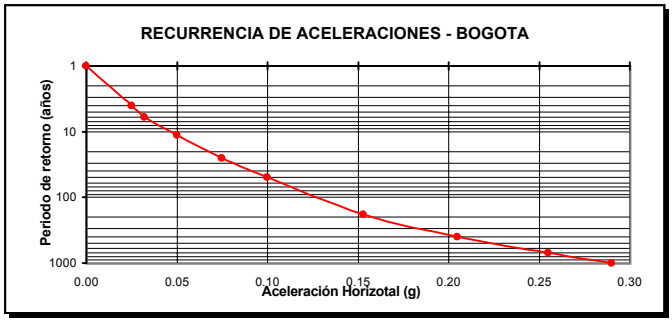
FIGURA 4.11

DISTRIBUCIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA PARA ELQddf

Variables aleatorias	Valor más probable	Desv. Estándar
Cohesión (Ton/m^2)	9.50	1.50
Ángulo de fricción interna (°)	28.00	6.00
Grado de saturación	0.30	0.30
Aceleración sísmica	0.05	0.05





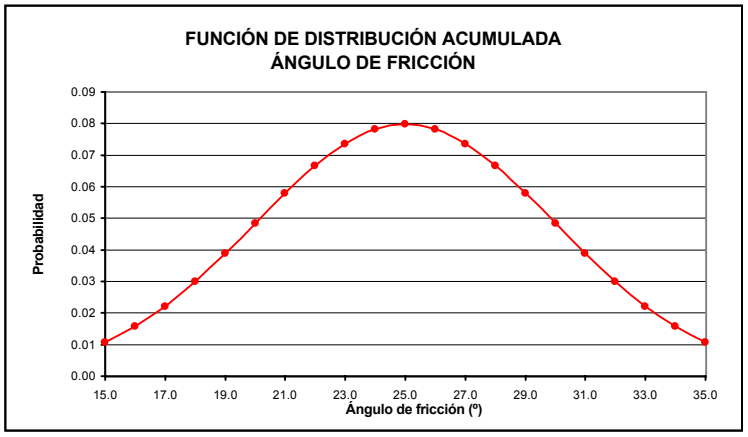


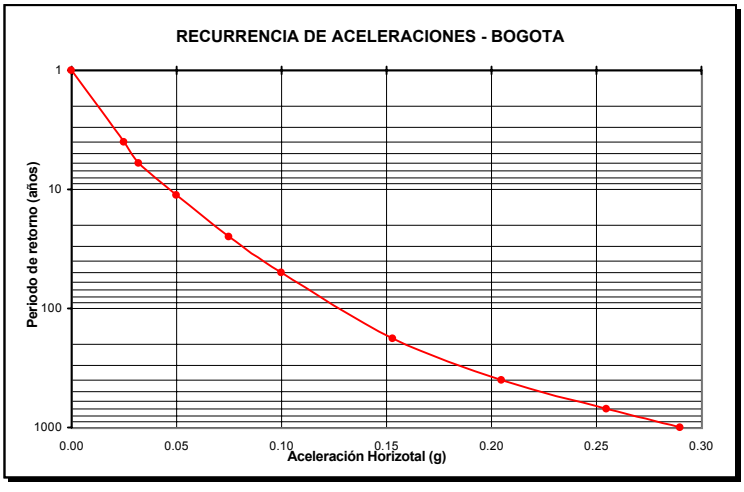
D:\Consultoria\Sotavento\Geotecnia\Cap4\Figuras\4.7 - 4.12.xls

FIGURA 4.12

DISTRIBUCIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA PARA EL Qddr

Variables aleatorias	Valor más probable	Desv. Estándar
Cohesión (Ton/m^2)	0.00	0.00
Ángulo de fricción interna (º)	25.00	5.00
Grado de saturación	0.30	0.30
Aceleración sísmica	0.05	0.05





D:\Consultoria\Sotavento\Geotecnia\Cap4\Figuras\4.7 - 4.12.xls

Las funciones de distribución del factor de seguridad, y de la probabilidad acumulada para cada talud (cortes B-B', C-C', D-D', E-E', F-F', G-G' y H-H') y condición de estudio se presentan en las **Figuras 4.13** a **4.30** y en la **Tabla 4.3**. Las gráficas indican que se ejecutó un número suficiente de interacciones, para las diferentes combinaciones de variables.

De los resultados obtenidos, se puede apreciar que la probabilidad de falla de los taludes B-B', D-D', F-F' y G-G´ en mecanismo de falla planar con grieta de tracción, varían desde el 15% hasta el 33%, (**Figuras 4.13 a 4.20**). Ésta representa un nivel de amenaza medio a medio alto que confirma la conclusión presentada en el numeral 4.1.2 donde se exponía la aceptable condición de estabilidad de los mismos. Tal vez la única excepción es la sección D-D', cuya probabilidad de falla oscila de 33% a 44%, según la superficie de falla se localice en el interior del depósito de roca o en el contacto con la arcillolita, y pone de manifiesto la condición de media – alta amenaza.

Los cortes C-C', E-E' y G-G', para la misma combinación de parámetros de los taludes anteriores, pero simulando modelos de falla rotacional, poseen una probabilidad condicional de falla inferior al 15%. Este resultado pone de manifiesto la baja posibilidad de desarrollo de este mecanismo de inestabilidad en el depósito de roca triturada, frente a la caída de rocas, la cual arrojó probabilidades condicionales entre 40% y 50%, como se aprecia en las figuras 4.21 a 4.27.

El comportamiento de las laderas entalladas en el cuaternario reciente, Qddf, y Qddg, para las secciones C-C' y E-E' muestra un valor de amenaza alto. La probabilidad condicional de falla se encuentra alrededor del 60% (**Figuras 4.28 y 4.29**).

El perfil H-H' (zona homogénea LMND) caracterizada por depósitos fluvioglaciales (Qfg) de 5 a 6 m de espesor, presenta probabilidad condicional de falla muy baja (Figura 4.30). Basados en los resultados mencionados, se resalta la apremiante condición de movilización del talud D-D' y de los depósitos de detritos, razón por la cual se sugiere el retiro de las masas potencialmente inestables. No obstante, dado que los cuerpos poseen amplias franjas para su movilización puede optarse por convivir con el problema. Esta alternativa puede tener claro está, implicaciones directas sobre elementos móviles como personas y animales, que la hacen poco atractiva.

La **Tabla 4.3** presenta una compilación de las funciones de distribución de falla obtenidas por el método de estimación de punto para los taludes estudiados, de acuerdo con los valores extremos de los parámetros de resistencia (c y ϕ) y por el método de Montecarlo; en ellas se pueden corroborar claramente las apreciaciones reseñadas en los párrafos anteriores. Similar situación acontece con los bloques móviles provenientes del cuaternario superior (Qdrt), razón por la que surge como primera alternativa, ante la imposibilidad de reducir el nivel de amenaza, conformar una zona de amortiguamiento limitando la distancia de viaje de los bloques, bien con una malla o bien otro elemento de disipación de energía.

Con el ánimo de determinar la probabilidad de falla para cualquier talud del frente de explotación según el tipo de proceso de remoción en masa, conocido su factor de seguridad, se estimó la mejor interpolación entre las dos variables. Para ello se calculó el factor de seguridad de los taludes con el valor medio de las variables aleatorias al que se le asignó la probabilidad condicional en el ambiente actual.

FIGURA 4.13

FUNCIONES DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA
MODELO DE FALLA PLANAR CON GRIETA A TRACCIÓN
SECCIÓN B-B'1-3
PLANO DE FALLA EN EL CONTACTO CUATERNARIO - ROCA

Cohesión (T/m2)

Valor medio - Desviación estándar	0.00
Valor medio	0.50
Valor medio + Desviación estándar	1.00

Ángulo de fricción interna (º)

Valor medio - Desviación estándar	22.00
Valor medio	28.00
Valor medio + Desviación estándar	34.00

Nivel de agua en la grieta (m)

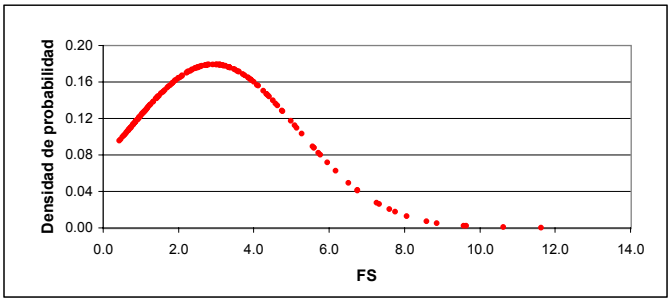
Seco	0.00
A 1/5 de la altura de la grieta	0.95
A 2/5 de la altura de la grieta	1.90
A 2,5/5 de la altura de la grieta	2.37
A 4/5 de la altura de la grieta	3.79
A 5/5 de la altura de la grieta	4.74

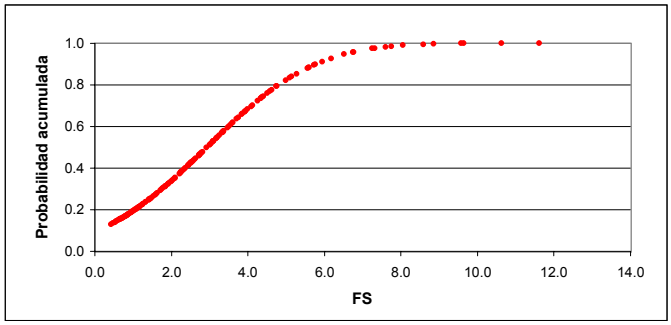
Aceleración sísmica

Sin sismo	0.00
Sismo leve	0.05
Sismo más fuerte	0.10

Para un FS=	1.00
La probabilidad acumulada es	0.19

No. Datos	162.00
Promedio	2.94
Desviación estándar	2.23
Máximo	11.63
Mínimo	0.44





D:\Consultoria\Casaloma\Geotecnia\Cap4\Figuras\esta\EstCap4.xls

FIGURA 4.14

FUNCIONES DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA
MODELO DE FALLA PLANAR CON GRIETA A TRACCIÓN
SECCIÓN B-B'2-2
PLANO DE FALLA EN EL CONTACTO ARCILLOLITA - ARENISCA

Cohesión (T/m2)

Valor medio - Desviación estándar	0.50
Valor medio	1.25
Valor medio + Desviación estándar	2.00

Ángulo de fricción interna (º)

Valor medio - Desviación estándar	12.00
Valor medio	18.00
Valor medio + Desviación estándar	24.00

Nivel de agua en la grieta (m)

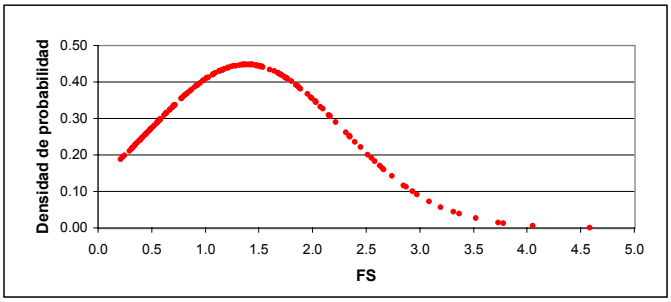
Seco	0.00
A 1/5 de la altura de la grieta	1.43
A 2/5 de la altura de la grieta	2.86
A 2,5/5 de la altura de la grieta	3.57
A 4/5 de la altura de la grieta	5.71
A 5/5 de la altura de la grieta	7.14

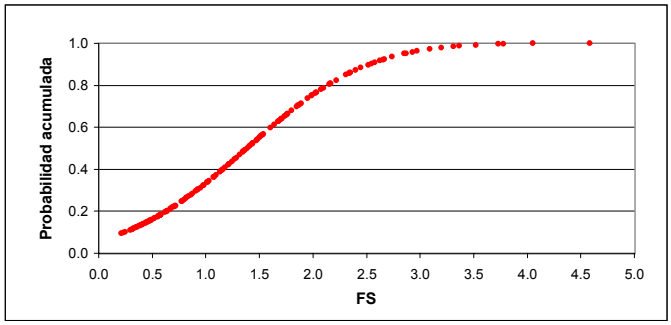
Aceleración sísmica

Sin sismo	0.00
Sismo leve	0.05
Sismo más fuerte	0.10

Para un FS=	1.00
La probabilidad acumulada es	0.33

No. Datos	162.00
Promedio	1.39
Desviación estándar	0.89
Máximo	4.59
Mínimo	0.22





D:\Consultoria\Casaloma\Geotecnia\Cap4\Figuras\esta\EstCap4.xls

FIGURA 4.15

FUNCIONES DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA
MODELO DE FALLA PLANAR CON GRIETA A TRACCIÓN
SECCIÓN D-D'1-4
PLANO DE FALLA EN EL CONTACTO CUATERNARIO - ROCA

Cohesión (T/m2)

Valor medio - Desviación estándar	0.50
Valor medio	1.25
Valor medio + Desviación estándar	2.00

Ángulo de fricción interna (º)

Valor medio - Desviación estándar	12.00
Valor medio	18.00
Valor medio + Desviación estándar	24.00

Nivel de agua en la grieta (m)

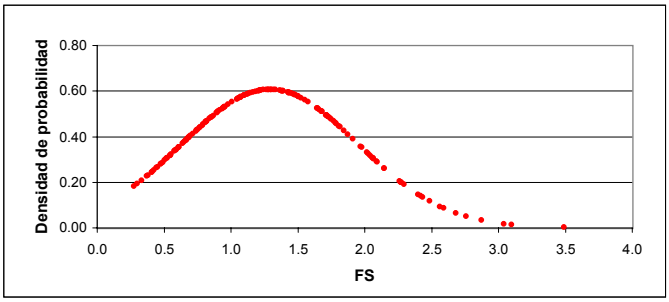
Seco	0.00
A 1/5 de la altura de la grieta	1.17
A 2/5 de la altura de la grieta	2.33
A 2,5/5 de la altura de la grieta	2.91
A 4/5 de la altura de la grieta	4.66
A 5/5 de la altura de la grieta	5.83

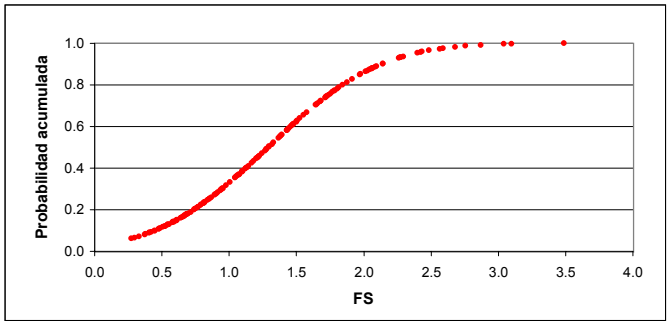
Aceleración sísmica

Sin sismo	0.00
Sismo leve	0.05
Sismo más fuerte	0.10

Para un FS=	1.00
La probabilidad acumulada es	0.33

No. Datos	162.00
Promedio	1.30
Desviación estándar	0.66
Máximo	3.49
Mínimo	0.28





D:\Consultoria\Casaloma\Geotecnia\Cap4\Figuras\esta\EstCap4.xls

FIGURA 4.16

FUNCIONES DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA
MODELO DE FALLA PLANAR CON GRIETA A TRACCIÓN
SECCIÓN D-D'2-2
PLANO DE FALLA EN EL CONTACTO ARCILLOLITA - ARENISCA

Cohesión (T/m2)

Valor medio - Desviación estándar	0.50
Valor medio	1.25
Valor medio + Desviación estándar	2.00

Ángulo de fricción interna (º)

Valor medio - Desviación estándar	12.00
Valor medio	18.00
Valor medio + Desviación estándar	24.00

Nivel de agua en la grieta (m)

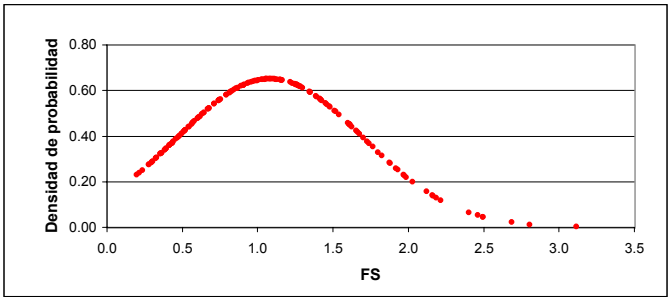
Seco	0.00
A 1/5 de la altura de la grieta	1.73
A 2/5 de la altura de la grieta	3.47
A 2,5/5 de la altura de la grieta	4.34
A 4/5 de la altura de la grieta	6.94
A 5/5 de la altura de la grieta	8.67

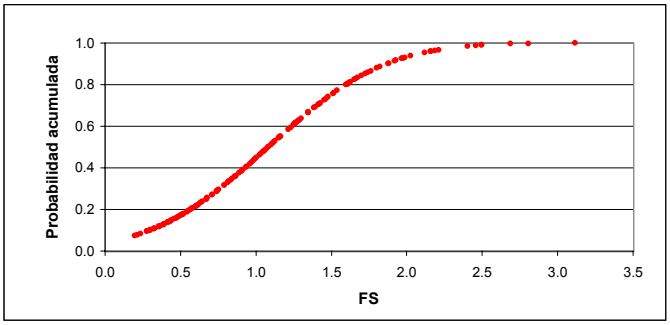
Aceleración sísmica

Sin sismo	0.00
Sismo leve	0.05
Sismo más fuerte	0.10

Para un FS=	1.00
La probabilidad acumulada es	0.44

No. Datos	162.00
Promedio	1.09
Desviación estándar	0.61
Máximo	3.12
Mínimo	0.20





D:\Consultoria\Casaloma\Geotecnia\Cap4\Figuras\esta\EstCap4.xls

FIGURA 4.17

FUNCIONES DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA
MODELO DE FALLA PLANAR CON GRIETA A TRACCIÓN
SECCIÓN F-F'1-3
PLANO DE FALLA EN EL CONTACTO CUATERNARIO - ROCA

Cohesión (T/m2)

Valor medio - Desviación estándar	0.00
Valor medio	0.50
Valor medio + Desviación estándar	1.00

Ángulo de fricción interna (º)

Valor medio - Desviación estándar	22.00
Valor medio	28.00
Valor medio + Desviación estándar	34.00

Nivel de agua en la grieta (m)

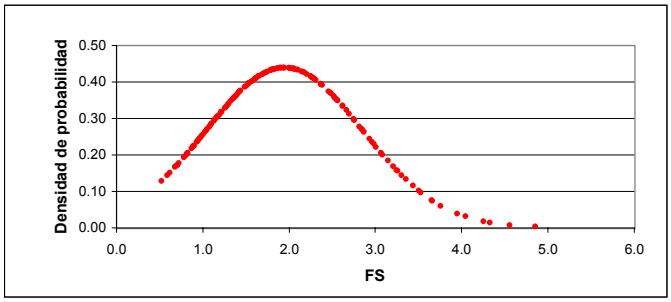
Seco	0.00
A 1/5 de la altura de la grieta	1.44
A 2/5 de la altura de la grieta	2.88
A 2,5/5 de la altura de la grieta	3.60
A 4/5 de la altura de la grieta	5.76
A 5/5 de la altura de la grieta	7.20

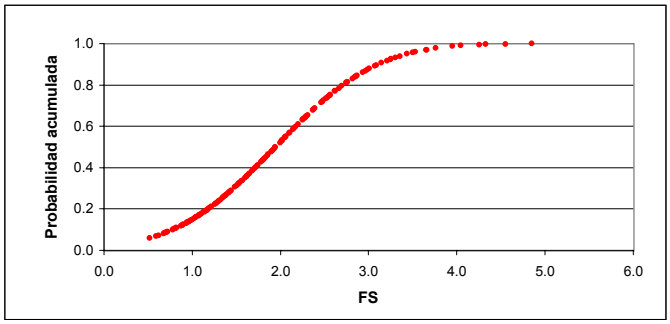
Aceleración sísmica

Sin sismo	0.00
Sismo leve	0.05
Sismo más fuerte	0.10

Para un FS=	1.00
La probabilidad acumulada es	0.15

No. Datos	162.00
Promedio	1.95
Desviación estándar	0.91
Máximo	4.86
Mínimo	0.53





D:\Consultoria\Casaloma\Geotecnia\Cap4\Figuras\esta\EstCap4.xls

FIGURA 4.18

FUNCIONES DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA
MODELO DE FALLA PLANAR CON GRIETA A TRACCIÓN
SECCIÓN F-F'2-2
PLANO DE FALLA EN EL CONTACTO ARENISCA - ARCILLOLITA

Cohesión (T/m2)

Valor medio - Desviación estándar	0.50
Valor medio	1.25
Valor medio + Desviación estándar	2.00

Ángulo de fricción interna (º)

Valor medio - Desviación estándar	12.00
Valor medio	18.00
Valor medio + Desviación estándar	24.00

Nivel de agua en la grieta (m)

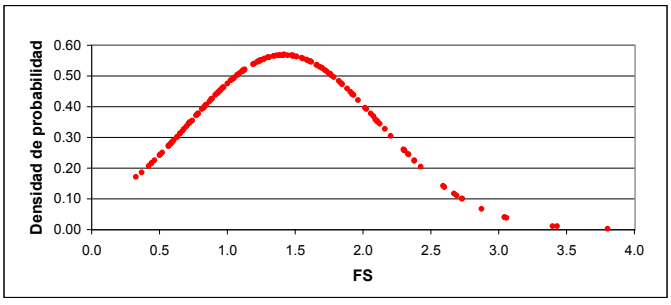
Seco	0.00
A 1/5 de la altura de la grieta	1.77
A 2/5 de la altura de la grieta	3.53
A 2,5/5 de la altura de la grieta	4.42
A 4/5 de la altura de la grieta	7.07
A 5/5 de la altura de la grieta	8.83

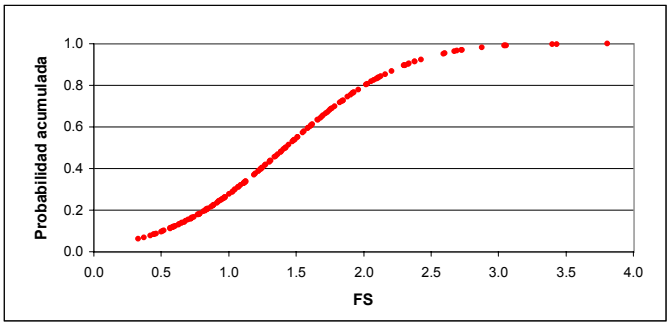
Aceleración sísmica

Sin sismo	0.00
Sismo leve	0.05
Sismo más fuerte	0.10

Para un FS=	1.00
La probabilidad acumulada es	0.27

No. Datos	162.00
Promedio	1.42
Desviación estándar	0.70
Máximo	3.81
Mínimo	0.33





D:\Consultoria\Casaloma\Geotecnia\Cap4\Figuras\esta\EstCap4.xls

FIGURA 4.19

FUNCIONES DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA
MODELO DE FALLA PLANAR CON GRIETA A TRACCIÓN
SECCIÓN G-G'1-3
PLANO DE FALLA EN EL CONTACTO CUATERNARIO - ROCA

Cohesión (T/m2)

Valor medio - Desviación estándar	0.00
Valor medio	0.50
Valor medio + Desviación estándar	1.00

Ángulo de fricción interna (º)

Valor medio - Desviación estándar	22.00
Valor medio	28.00
Valor medio + Desviación estándar	34.00

Nivel de agua en la grieta (m)

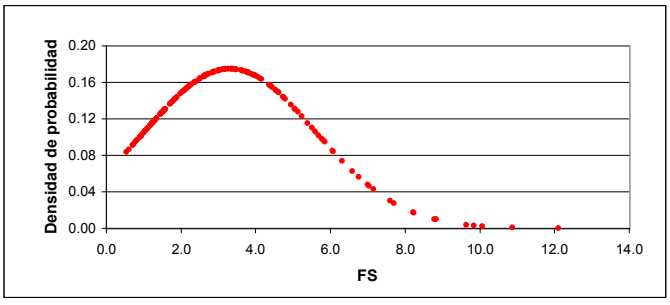
Seco	0.00
A 1/5 de la altura de la grieta	0.91
A 2/5 de la altura de la grieta	1.83
A 2,5/5 de la altura de la grieta	2.28
A 4/5 de la altura de la grieta	3.65
A 5/5 de la altura de la grieta	4.57

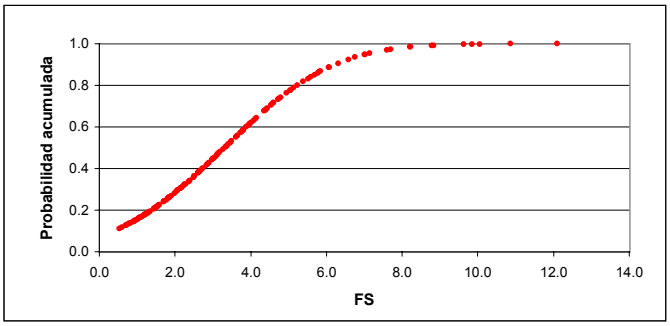
Aceleración sísmica

Sin sismo	0.00
Sismo leve	0.05
Sismo más fuerte	0.10

Para un FS=	1.00
La probabilidad acumulada es	0.15

No. Datos	162.00
Promedio	3.32
Desviación estándar	2.28
Máximo	12.11
Mínimo	0.54





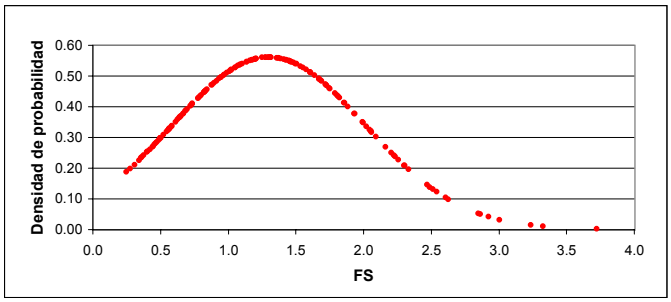
D:\Consultoria\Casaloma\Geotecnia\Cap4\Figuras\esta\EstCap4.xls

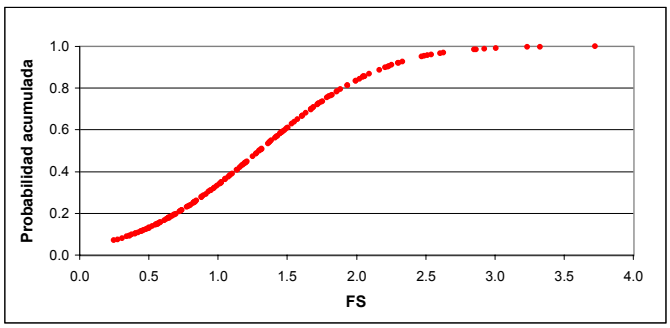
FIGURA 4.20

FUNCIONES DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA
MODELO DE FALLA PLANAR CON GRIETA A TRACCIÓN
SECCIÓN G-G'2-2
PLANO DE FALLA EN EL CONTACTO ARENISCA - ARCILLOLITA

Cohesión (T/m2)		
	Valor medio - Desviación estándar	0.50
	Valor medio	1.25
	Valor medio + Desviación estándar	2.00
Ángulo de fricción interna (º)		
	Valor medio - Desviación estándar	12.00
	Valor medio	18.00
	Valor medio + Desviación estándar	24.00
Nivel de agua en la grieta (m)		
	Seco	0.00
	A 1/5 de la altura de la grieta	2.00
	A 2/5 de la altura de la grieta	3.99
	A 2,5/5 de la altura de la grieta	4.99
	A 4/5 de la altura de la grieta	7.98
	A 5/5 de la altura de la grieta	9.98
Aceleración sísmica		
	Sin sismo	0.00
	Sismo leve	0.05
	Sismo más fuerte	0.10
	Para un FS=	1.00
	La probabilidad acumulada es	0.33

No. Datos	162.00
Promedio	1.30
Desviación estándar	0.71
Máximo	3.73
Mínimo	0.25

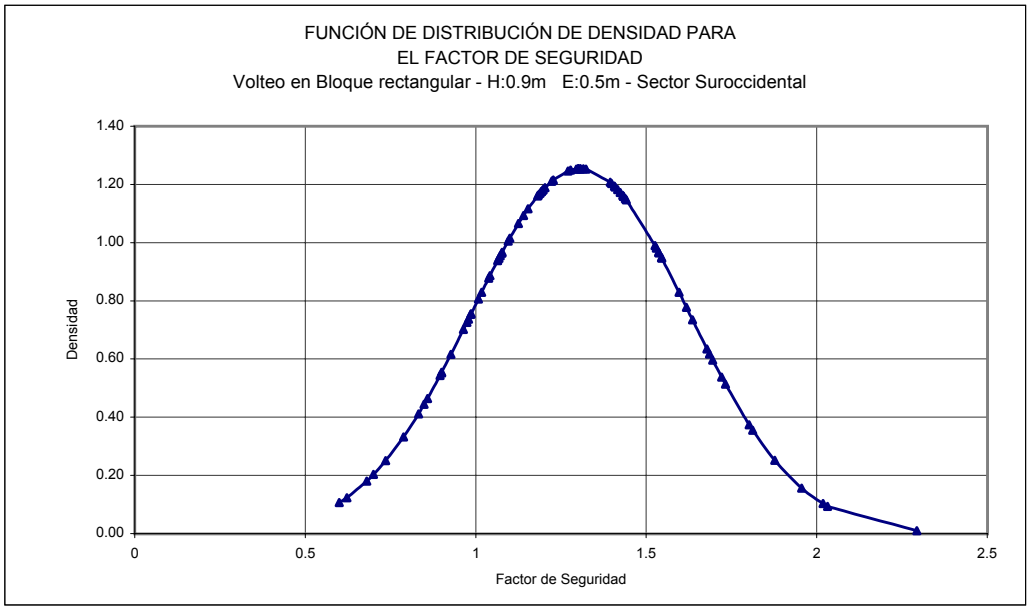


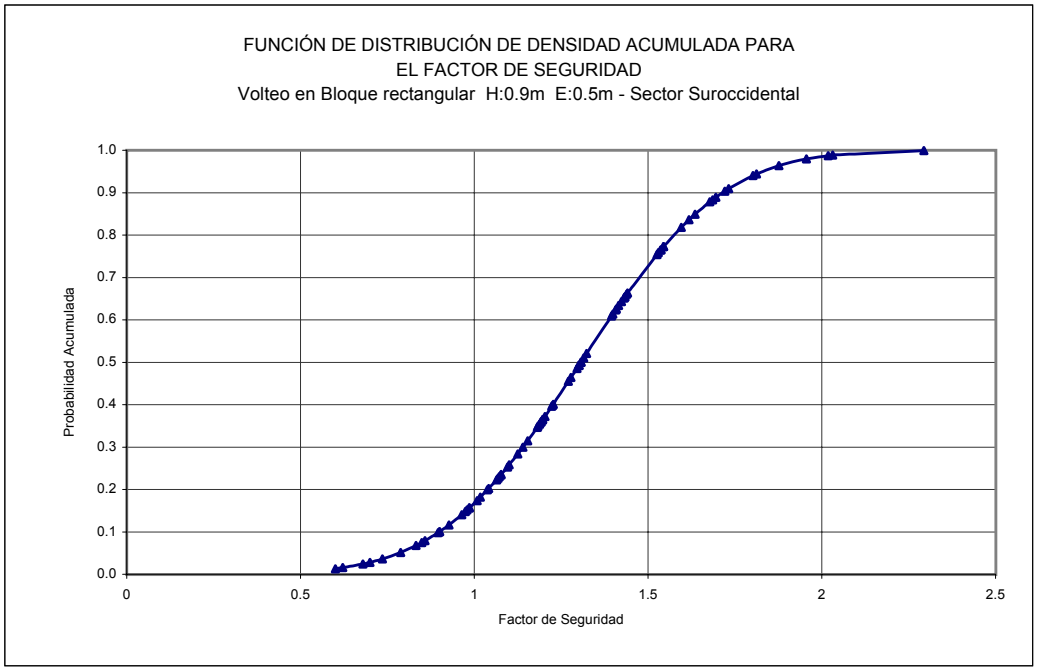


D:\Consultoria\Casaloma\Geotecnia\Cap4\Figuras\esta\EstCap4.xls

FIGURA 4.21

ANALISIS DE FRECUENCIA DE FACTOR DE SEGURIDAD

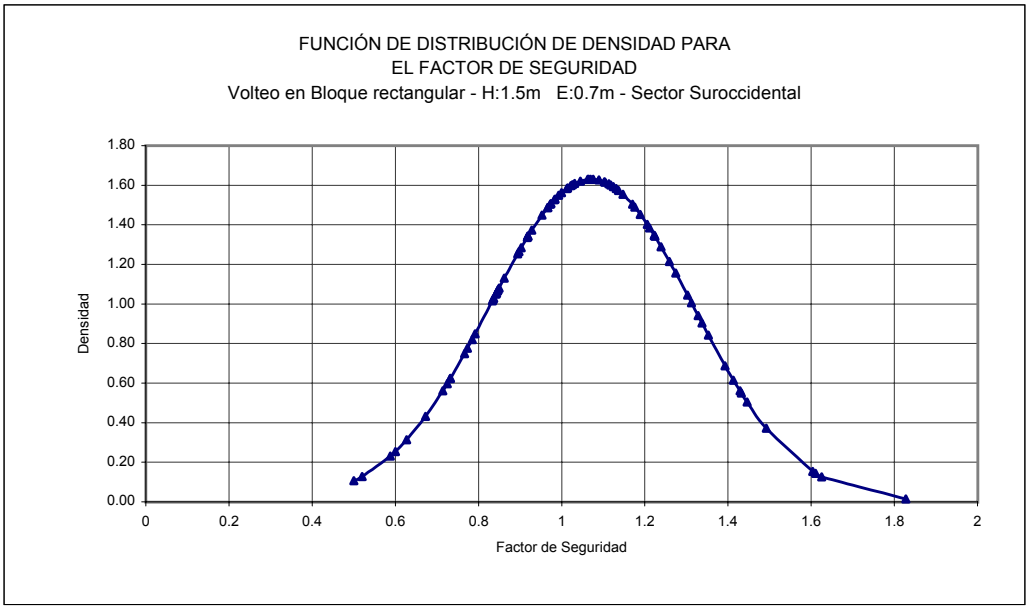


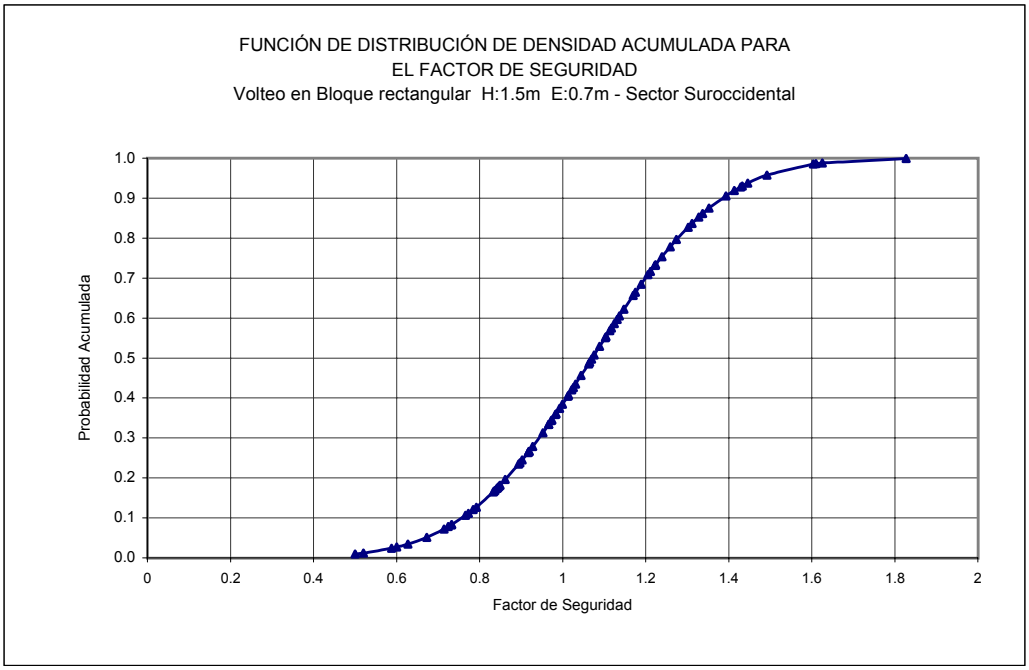


D:Consultoria\Casaloma\Geotecnia\Volteo_Probabilidad de falla

FIGURA 4.22

ANALISIS DE FRECUENCIA DE FACTOR DE SEGURIDAD

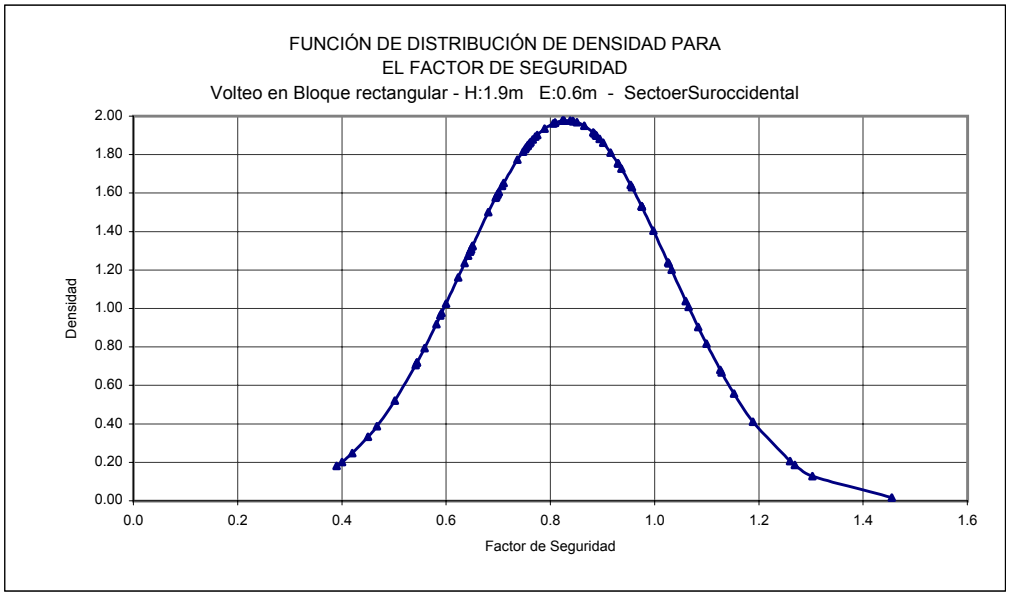


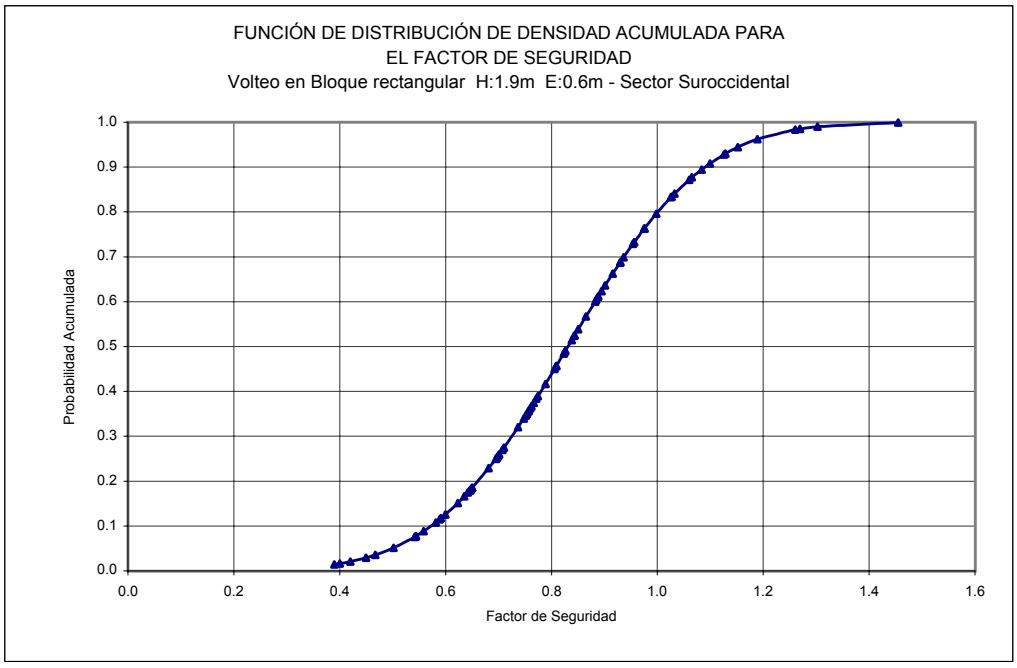


D:Consultoria\Codito\Geotecnia\Volteo\Volteo_Probabilidad de falla

FIGURA 4.23

ANALISIS DE FRECUENCIA DE FACTOR DE SEGURIDAD

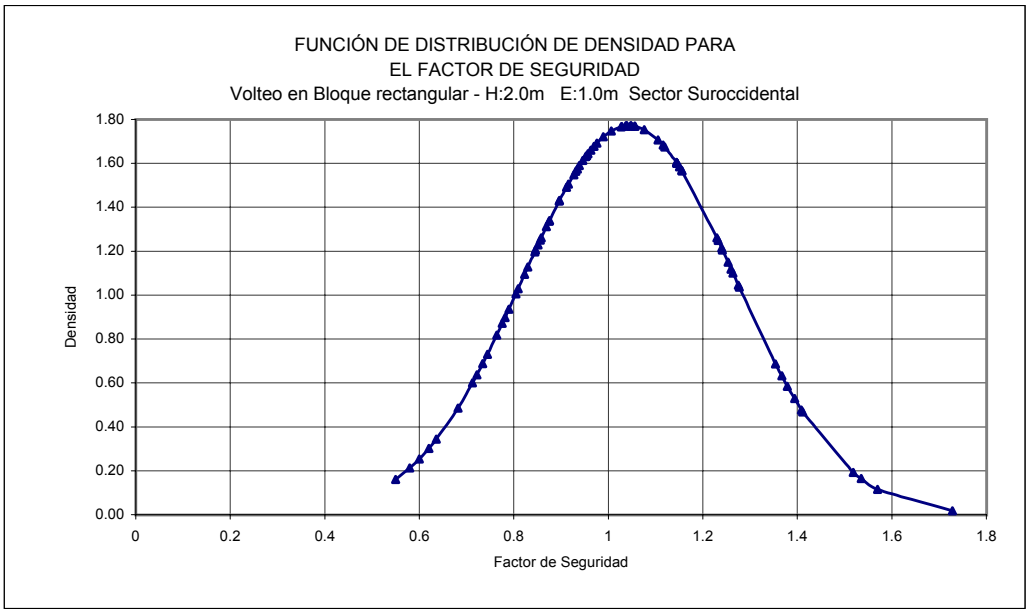


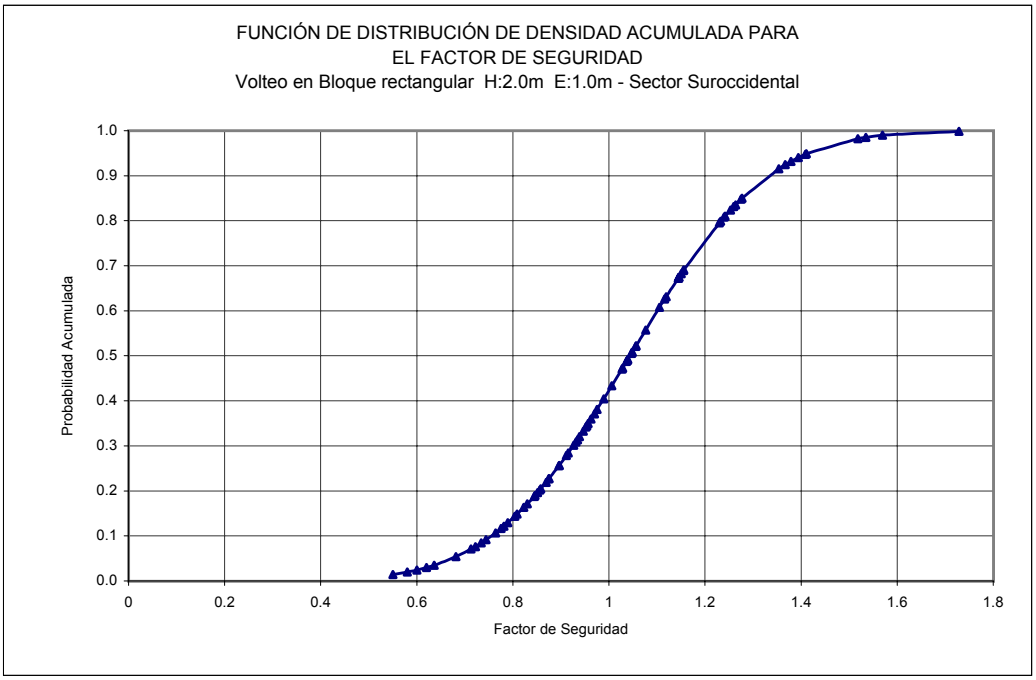


D:Consultoria\Casaloma\Geotecnia\Volteo\Volteo_Probabilidad de falla

FIGURA 4.24

ANALISIS DE FRECUENCIA DE FACTOR DE SEGURIDAD

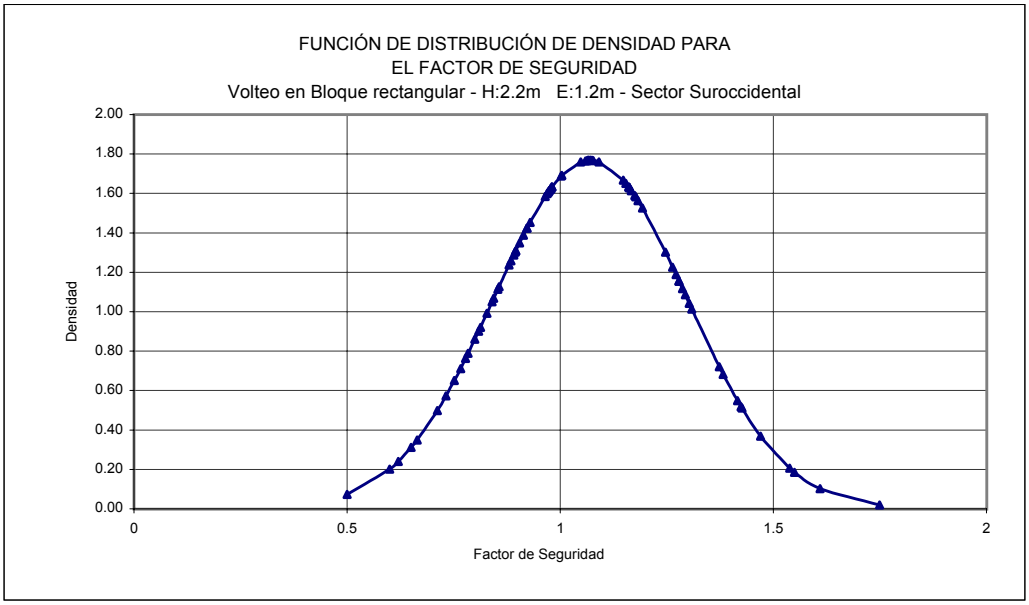


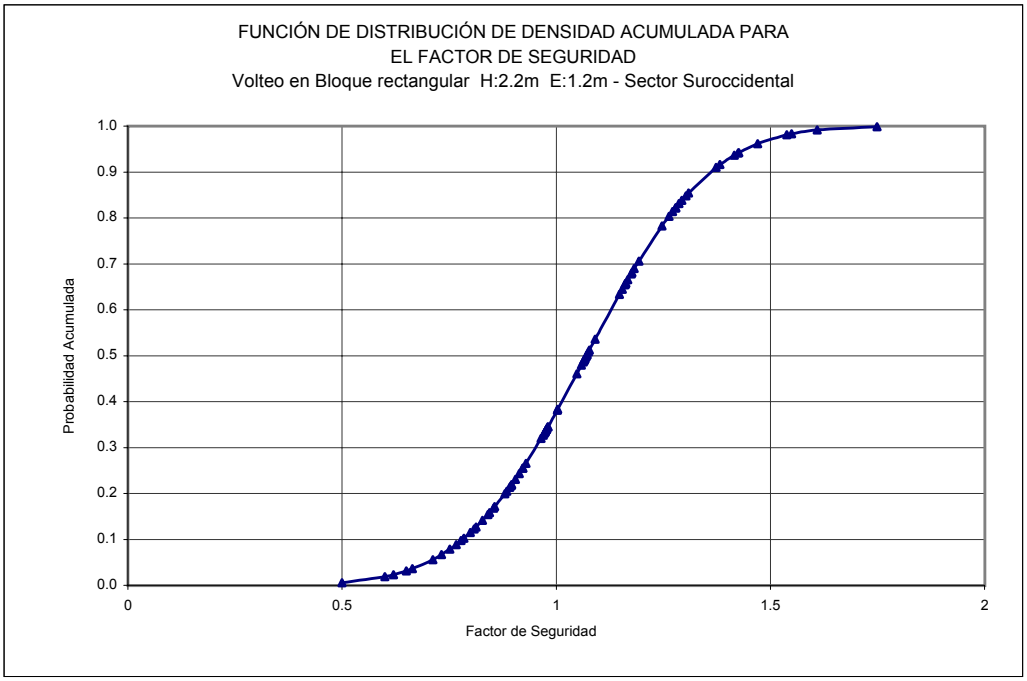


D:Consultoria\Casaloma\Geotecnia\Volteo\Volteo_Probabilidad de falla

FIGURA 4.25

ANALISIS DE FRECUENCIA DE FACTOR DE SEGURIDAD

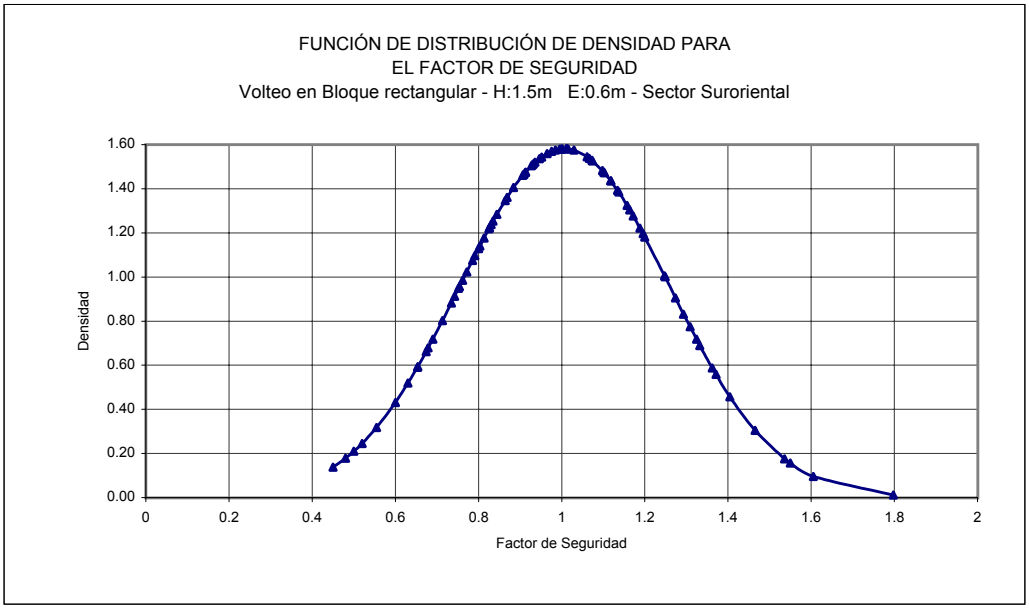


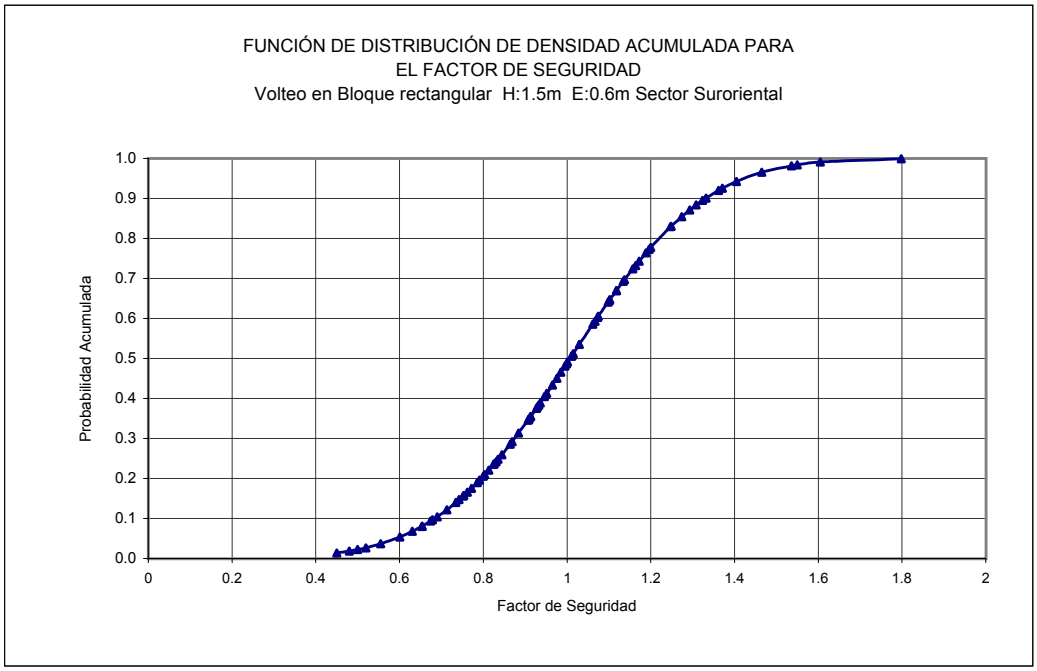


D:Consultoria\Casaloma\Geotecnia\Volteo\Volteo_Probabilidad de falla

FIGURA 4.26

ANALISIS DE FRECUENCIA DE FACTOR DE SEGURIDAD

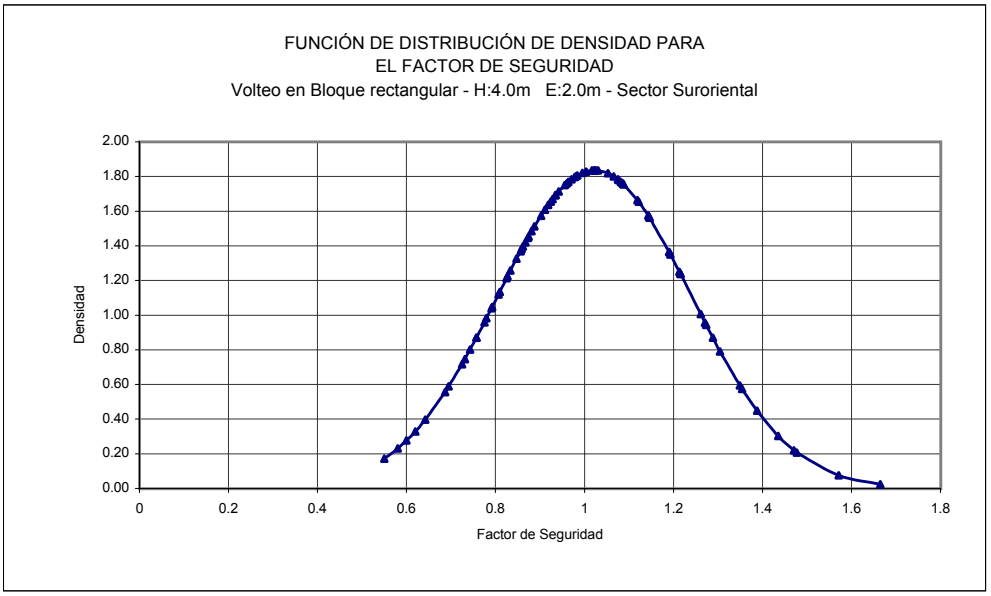


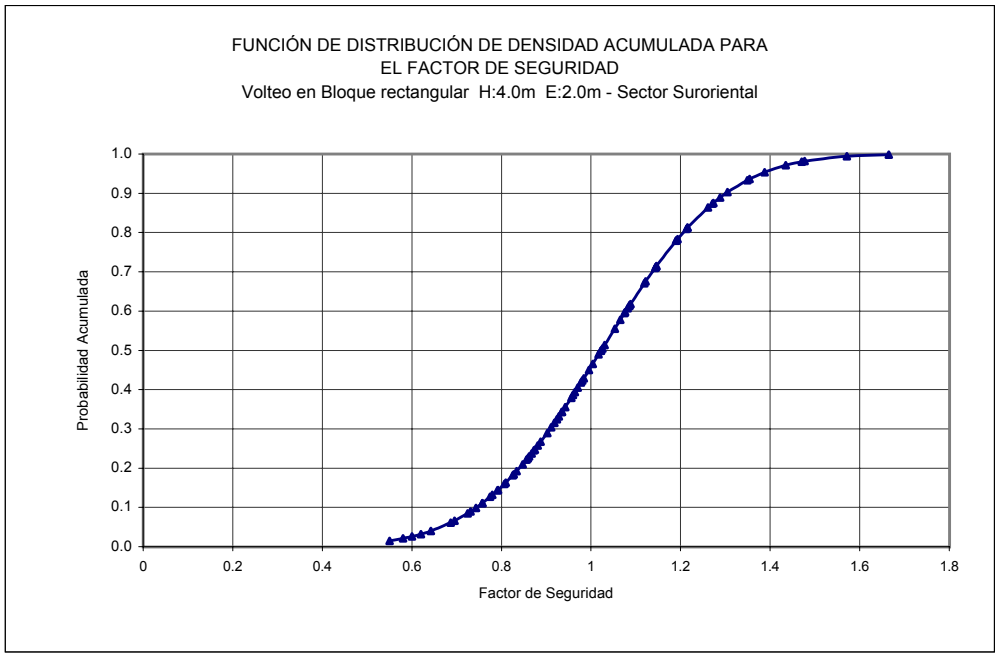


D:Consultoria\Casaloma\Geotecnia\Volteo\Volteo_Probabilidad de falla

FIGURA 4.27

ANALISIS DE FRECUENCIA DE FACTOR DE SEGURIDAD





D:Consultoria\Casaloma\Geotecnia\Volteo\Volteo_Probabilidad de falla

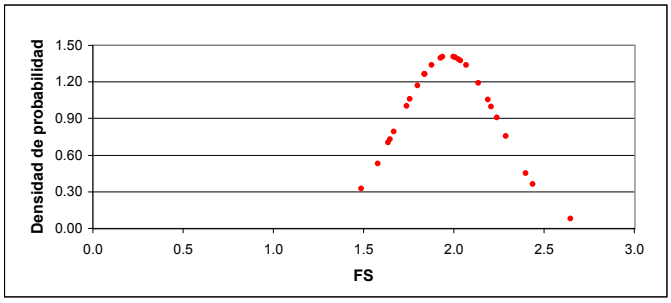
FIGURA 4.28

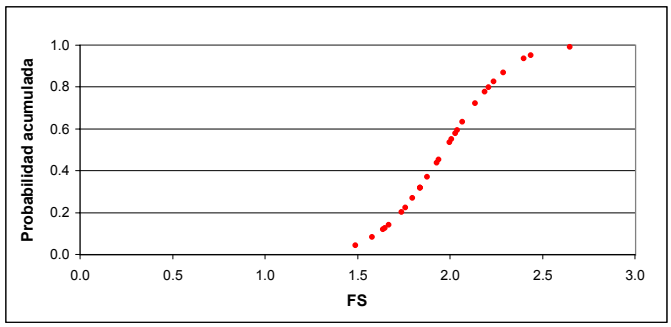
FUNCIONES DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA
MODELO DE FALLA TRASLACIONAL
SECCIÓN C-C'

Cohesión (T/m2)		
	Valor medio - Desviación estándar	0.00
	Valor medio	0.00
	Valor medio + Desviación estándar	0.00
Ángulo de fricción interna (º)		
	Valor medio - Desviación estándar	20.00
	Valor medio	25.00
	Valor medio + Desviación estándar	30.00
Grado de saturación		
	Seco	0.00
	Parcialmente saturado	0.30
	Saturado	0.50
	Aceleración sísmica	
	Sin sismo	0.00
	Sismo leve	0.05
	Sismo más fuerte	0.10

Para un FS=	1.00
La probabilidad acumulada es	0.00

No. Datos	27.00
Promedio	1.97
Desviación estándar	0.28
Máximo	2.65
Mínimo	1.49





D:\Consultoria\Casaloma\Geotecnia\Cap4\Figuras\ProbaOccurFallaTraslacional.xls

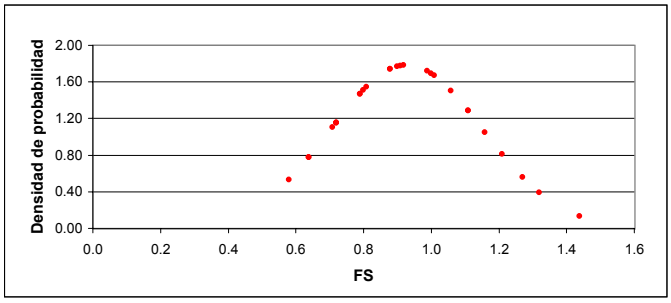
FIGURA 4.29

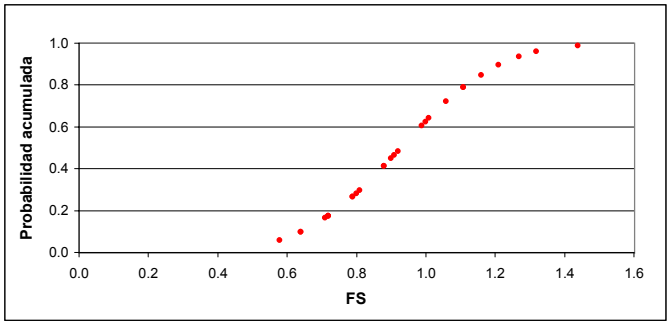
FUNCIONES DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA
MODELO DE FALLA TRASLACIONAL
SECCIÓN E-E'

Cohesión (T/m2)		
	Valor medio - Desviación estándar	0.00
	Valor medio	0.00
	Valor medio + Desviación estándar	0.00
Ángulo de fricción interna (º)		
	Valor medio - Desviación estándar	20.00
	Valor medio	25.00
	Valor medio + Desviación estándar	30.00
Grado de saturación		
	Seco	0.00
	Parcialmente saturado	0.30
	Saturado	0.50
	Aceleración sísmica	
	Sin sismo	0.00
	Sismo leve	0.05
	Sismo más fuerte	0.10

Para un FS=	1.00
La probabilidad acumulada es	0.62

No. Datos	27.00
Promedio	0.93
Desviación estándar	0.22
Máximo	1.44
Mínimo	0.58





D:\Consultoria\Casaloma\Geotecnia\Cap4\Figuras\ProbaOccurFallaTraslacional.xls

TABLA 4.3

RESUMEN DE PROBABILIDAD DE FALLA PARA DIFERENTES TALUDES

VARIABLES DE ANALISIS				SECCION DE ANALISIS								
				B-B-01-3	B-B-02-2	D-D-01-4	D-D-02-2	F-F-01-3	F-F-02-2	G-G-01-3	G-G-02-2	H-H
Fricción	Cohesion (T/m^2)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Sin	11.63	4.59	3.49	3.12	4.86	3.81	12.11	3.73	2.68
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Sin	7.76	2.93	2.3	1.92	3.15	2.34	8.24	2.34	2.09
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Sin	9.65	3.52	2.59	2.5	4.26	3.06	9.65	2.93	2.27
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Sin	5.78	1.87	1.39	1.3	2.55	1.59	5.78	1.54	1.69
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Con	4.76	2.66	2.28	2.03	2.94	2.31	4.96	2.31	2.16
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Con	3.18	1.7	1.5	1.25	1.91	1.42	3.38	1.45	1.7
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Con	3.94	2.03	1.68	1.62	1.71	1.85	3.94	1.8	1.82
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Con	2.36	1.08	0.91	0.84	1.54	0.96	2.36	0.95	1.36
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Sin	1.17	0.67	0.9	0.61	1.4	1.07	1.71	0.82	2.4
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Sin	0.82	0.48	0.65	0.42	0.94	0.72	1.23	0.58	1.93
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Sin	0.89	0.45	0.58	0.43	1.14	0.78	1.19	0.55	1.99
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Sin	0.53	0.25	0.33	0.24	0.69	0.42	0.71	0.31	1.52
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Con	0.97	0.58	0.75	0.52	1.08	0.85	1.3	0.67	1.93
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Con	0.67	0.41	0.54	0.36	0.73	0.57	0.94	0.48	1.56
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Con	0.73	0.38	0.48	0.36	0.88	0.61	0.9	0.44	1.59
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Con	0.44	0.22	0.28	0.2	0.53	0.33	0.54	0.25	1.23
PERIODO ANALIZADO				PROBABILIDAD DE FALLA CALCULADA								
Probabilidad de falla (Pf) actual Método de Montecarlo :				0.190	0.330	0.330	0.440	0.150	0.270	0.150	0.330	0.003
Probabilidad de falla (Pf) a 4 años Método PEM :				0.200	0.267	0.280	0.298	0.140	0.253	0.090	0.278	

D:\Consultoria\Casaloma\informes\Informe 3\Figuras\4.2 y 4.3.xls

FIGURA 4.30

FUNCIONES DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA
MODELO DE FALLA ROTACIONAL SECCIÓN H-H.xls COMBINACIÓN H-H

FIGURA 4.30
FUNCIONES DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA
MODELO DE FALLA ROTACIONAL SECCION H-h COMBINAACIÓN H-H

Cohesión (T/m2)

Valor medio - Desviación estándar	**2.00**
Valor medio	**2.50**
Valor medio + Desviación estándar	**3.00**

Ángulo de fricción interna (º)

Valor medio - Desviación estándar	**22.00**
Valor medio	**28.00**
Valor medio + Desviación estándar	**34.00**

Grado de saturación

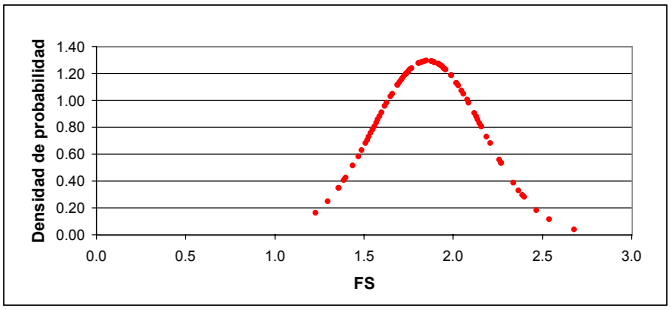
Seco	**0.00**
Parcialmente saturado	**0.50**
Saturado	**1.00**

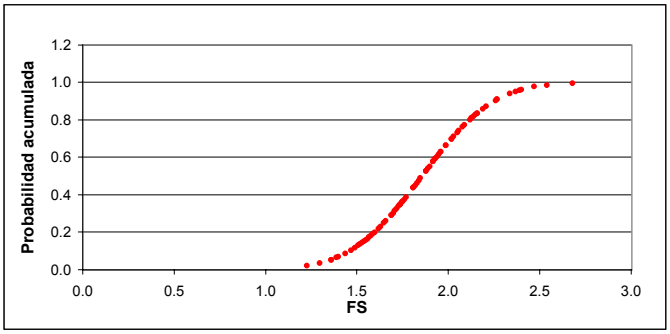
Aceleración sísmica

Sin sismo	**0.00**
Sismo leve	**0.05**
Sismo más fuerte	**0.10**

Para un FS=	1.00
La probabilidad acumulada es	0.003
Factor de seguridad para los parámetros promedio =	1.84

No. Datos	81.00
Promedio	1.86
Desviación estándar	0.31
Máximo	2.68
Mínimo	1.23





D:\Consultoria\Casaloma\Geotecnia\H-H.xls

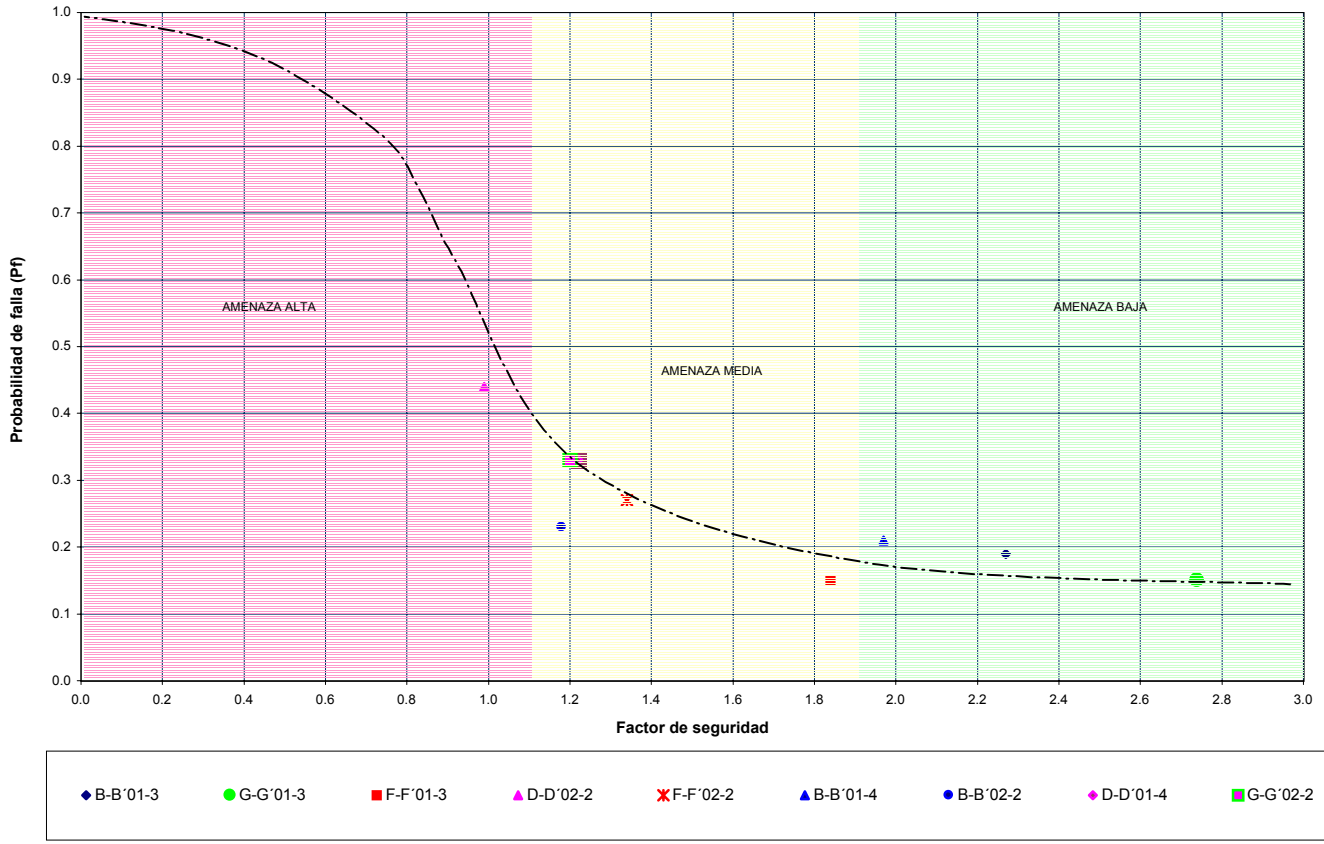
Las curvas de relación de probabilidad de falla por tipo de fenómeno, así obtenidas, se presentan en las **Figuras 4.31** a **4.33**. Con ayuda de las curvas de probabilidad y conocida la composición estratigráfica y geotécnica de cada ladera de estudio y las distancias de viaje de las masas potenciales (este tópico se tratará en detalle en el numeral 5.2.1), **Mapa 9**, fue posible obtener algunos de los productos más importantes de este trabajo, los Mapas de Zonificación por Amenaza (**Mapas 10, 11, 12 y 13**).

En este sentido el área de estudio quedó dividida en tres zonas, catalogadas como de amenaza: baja (categoría I), media (categoría II) y alta (categoría III), a partir del factor de seguridad con base en una adaptación realizada en el proyecto a las categorías de amenaza relativa planteadas por González y Millán (1999) en el estudio de Zonificación de Santa Fe de Bogotá.

Los Mapas destacan como principal proceso de remoción en masa la caída de rocas y la alta posibilidad de falla del frente de explotación por este mecanismo. Por esta razón surge como conclusión de la evaluación de amenaza actual, la necesidad de demarcar o definir una zona de aislamiento que permita reducir los niveles de energía de los bloques o servir de recorrido para su desplazamiento. Es decir implementar una serie de medidas de manejo ambiental (paisajísticas) que detengan el crecimiento de la frontera urbana hasta las áreas de exposición.

FIGURA 4.31

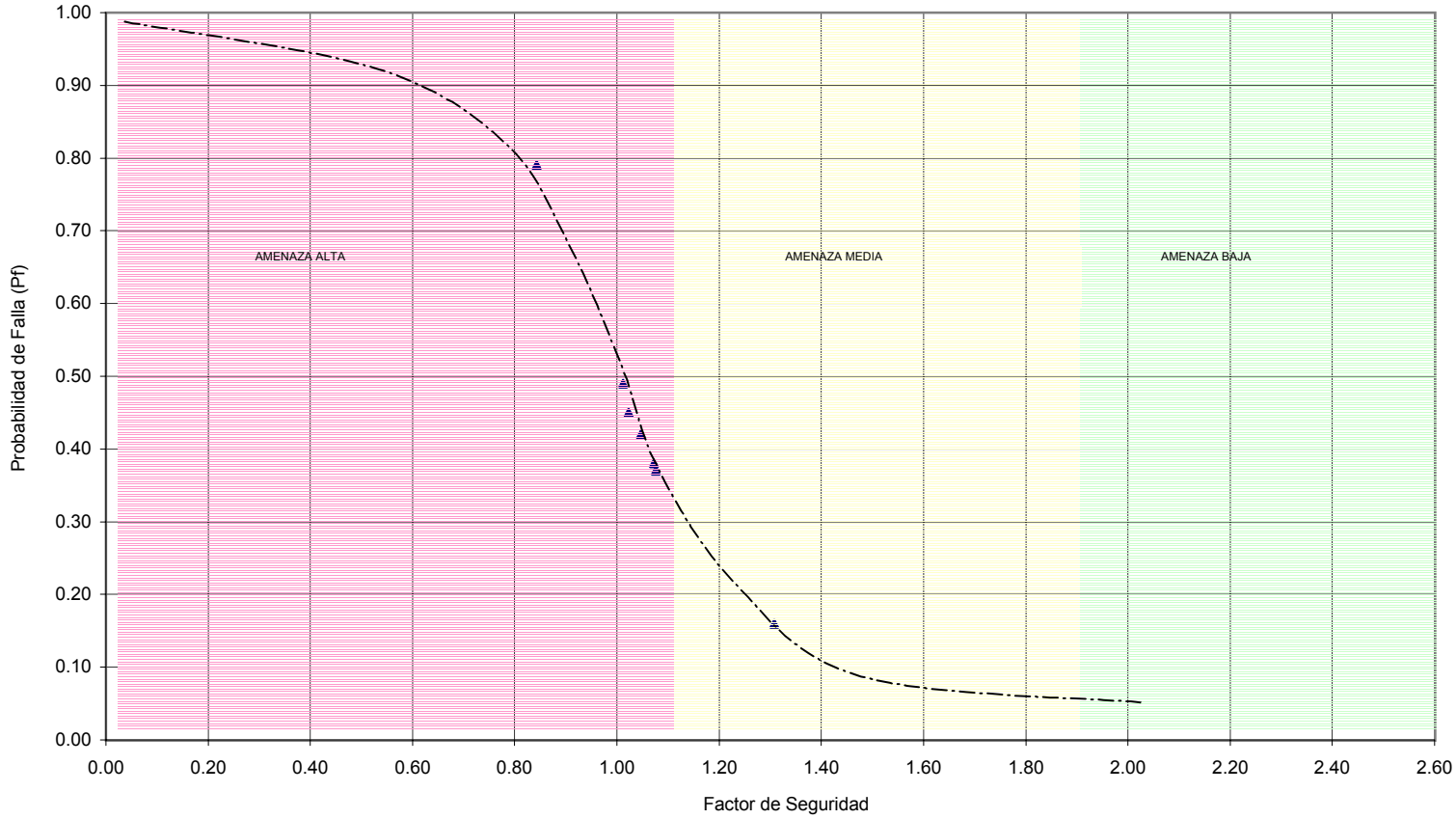
PROBABILIDAD DE FALLA EN FUNCIÓN DEL FACTOR DE SEGURDIDAD - FALLA PLANAR CON GRIETA DE TRACCION



D:\Consultoria\Casaloma\Geotecnia\Curva general.xls

FIGURA 4.32

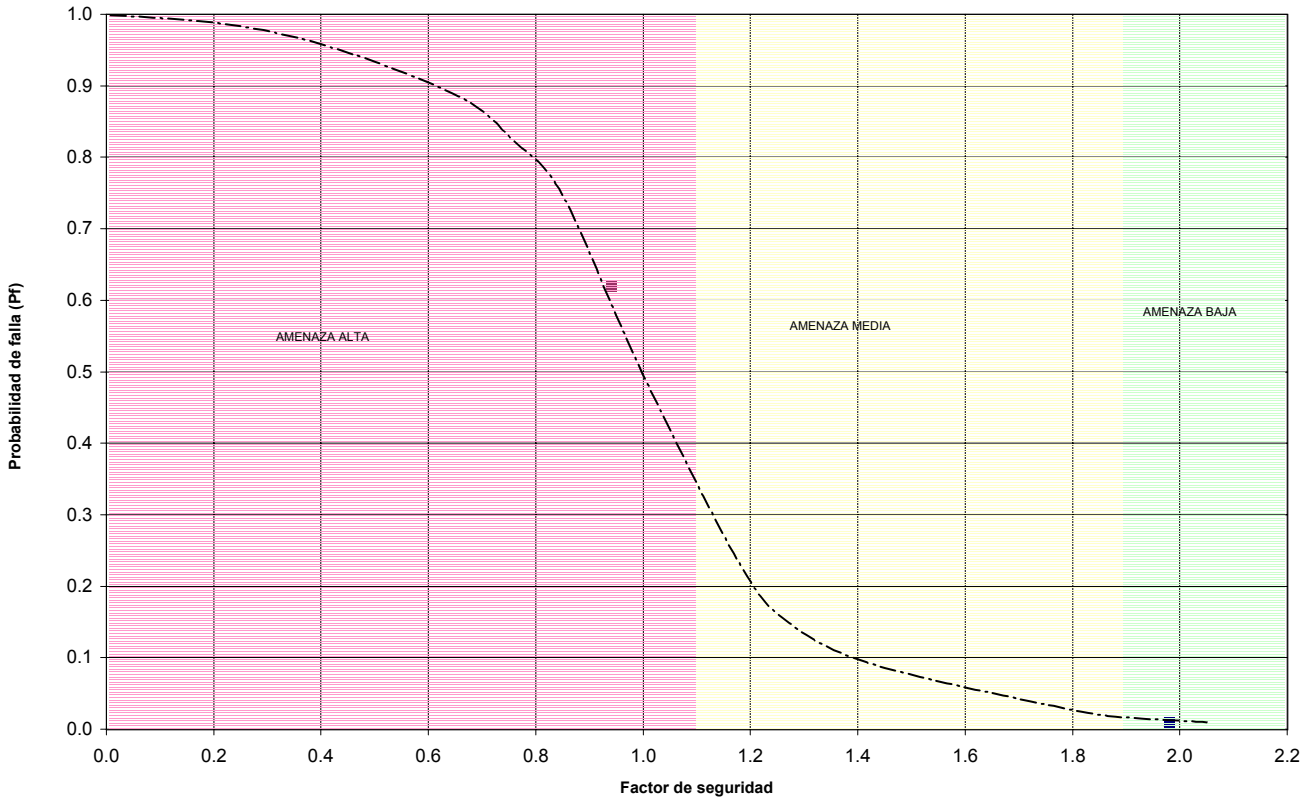
PROBABILIDAD DE FALLA EN FUNCION DEL FACTOR DE SEGURIDAD - ANALISIS POR VOLTEO



D:\Consultoria\Casaloma\geotecnia\Volteo\Volteo_probabilidad de falla

FIGURA 4.33

PROBABILIDAD DE FALLA EN FUNCIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD - TRASLACIONAL EN SUELO



D:\Consultoria\Casaloma\Geotecnia\Curva general.xls

CAPITULO 5

VULNERABILIDAD Y RIESGO ACTUAL

5. VULNERABILIDAD Y RIESGO ACTUAL

La vulnerabilidad, entendida como la capacidad de respuesta de un grupo social, y por ende de sus lugares de habitación, ante un evento; se define como una función de la exposición y de la resistencia así:

$$V = f(E,K)$$

donde,

V : Vulnerabilidad
K : Resistencia del elemento expuesto ante la ocurrencia de un evento
E : Grado de exposición del elemento.

La evaluación de vulnerabilidad tiene como objetivo analizar la respuesta de los elementos amenazados frente a los fenómenos de remoción en masa y, junto con la evaluación de amenaza, dilucidar el tratamiento por adelantar. Dentro de este contexto, por ejemplo, si las viviendas se encuentran en zona de alta amenaza pero los elementos no se localizan en la zona de influencia o se encuentran expuestos y gracias a su resistencia no sufren daño alguno, puede optarse por convivir con el problema; en caso contrario, y dependiendo de la gravedad de las consecuencias, se puede recurrir a obras de estabilidad o a programas de reubicación.

El estudio de la vulnerabilidad física de los elementos expuestos, en este caso las viviendas, se realizó teniendo como fuente de información el "Formulario para la evaluación de daños en edificaciones en caso de deslizamiento" diligenciado para cada una de ellas. La información de cada lote construido o no, se encuentra consignada en la base de datos mencionada en el capítulo 3. y georreferenciada mediante la asignación de un código alfanumérico correspondiente a la letra de cada manzana y al número del lote dentro de la misma.

El citado formulario indaga sobre diferentes tópicos tendientes a establecer parámetros útiles para la evaluación tanto de la vulnerabilidad física como de la social. Para la primera, el análisis se realizó de manera semicuantitativa con algunas adaptaciones a la metodología propuesta por Leone (1996) en lo referente a la resistencia de los elementos y, al cálculo de la exposición a partir de las longitudes de viaje de las masas potencialmente inestables (Finlay et al, 1999). Para la segunda, vulnerabilidad social, la evaluación es apenas cualitativa y se basa en la información de los formularios como: el nivel de ingresos, los daños sufridos por las viviendas, las recomendaciones para medidas urgentes, la cobertura de los servicios públicos y el índice de carencia de viviendas.

5.1 VULNERABILIDAD SOCIAL

La vulnerabilidad social se definió como la capacidad de respuesta de la población ante la ocurrencia de un evento que ocasione daños; en este sentido se tomaron como componentes de análisis la capacidad económica de los pobladores, la cobertura de servicios públicos, las organizaciones cívicas, la tipología de viviendas y, el nivel de conocimiento que los habitantes tienen del problema de estabilidad y de las actuales y potenciales repercusiones que éste ocasiona o puede ocasionar sobre sus viviendas.

Aunque la capacidad de respuesta de la comunidad involucra el estudio de otros aspectos como la organización del barrio en lo referente a juntas administradoras locales y juntas de acción comunal, puesto que son éstas las encargadas de actuar como intermediarias entre la comunidad y las entidades del Distrito, y de esa manera dar a conocer los procedimientos a seguir ante la ocurrencia de un desastre como un fenómeno de remoción en masa, la evaluación de su funcionamiento, eficacia e interacción con las entidades distritales no fue contemplada, por estar fuera de los alcances de este estudio.

Este tópico se cualifico a partir de la información colectada, pues para la escala de trabajo no existen aún las herramientas necesarias para cuantificarla. En los siguientes párrafos se hace una breve descripción de las condiciones relevantes en este aspecto:

Percepción del peligro

La comunidad no reconoce un estado potencial de peligro pues asocia los bloques movidos que se encuentran próximos al talud, a la explotación de la antigua cantera y subvalora la ocurrencia de un potencial movimiento que comprometa la integridad de las construcciones. Cualquiera sea su percepción ante los problemas de inestabilidad, la intención de permanencia en sus viviendas es una constante dentro de los pobladores.

La anterior postura está sustentada en el principio de arraigo y posesión. Arraigo porque la cantera les ha permitido tener acceso a su propio espacio vital que esperan no abandonar, y posesión puesto la adquisición de su lote y la construcción de su vivienda involucró costos difíciles de ser sobrellevados por segunda vez.

Organizaciones cívicas

La Junta de Acción Comunal no cuenta con sistemas de alerta y alarma que permitan una oportuna y rápida comunicación de los peligros a los habitantes, sin embargo, eventualmente podría colaborar ante una situación de emergencia pero carece de mecanismos adecuados para atenderlas.

Capacidad económica de los pobladores

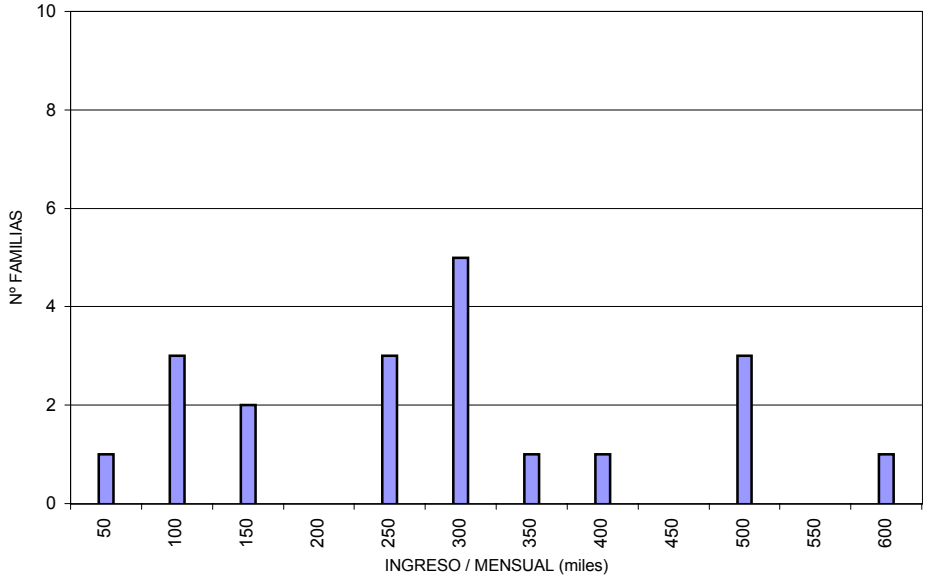
La contingencia o capacidad de respuesta económica para la población, medida por los ingresos brutos familiares se puede catalogar entre media baja y baja, pues se presenta un valor modal de un salario mínimo (**Figura 5.1**). Este nivel de ingresos no permitiría a los habitantes, en caso de presentarse un desastre, una recuperación rápida y sin traumatismos de su condición de vida actual, expresada en vivienda y bienes, máxime si se observa que el porcentaje de familias sin viviendas es del 16% (**Figura 5.2**).

Cobertura de servicios

La carencia de los servicios públicos básicos (**Figura 5.2**) es de alrededor del 9% para el sistema de alcantarillado y 20% en la red telefónica; en cuanto al cubrimiento de agua y energía es de alrededor del 94%.

La totalidad de las vías del barrio no cuenta con pavimento y el cubrimiento de gas domiciliario es nulo. El marco anterior resalta la desatención de algunas entidades distritales en la mejora de la calidad de vida de la población.

FIGURA 5.1
ANÁLISIS DE FRECUENCIA
DEL INGRESO MENSUAL POR FAMILIA



Promedio	$ 282
Mediana	$ 278
Moda	$ 300
Desv. estándar	$ 158
Máximo	$ 600
Mínimo	$ 50
No. de datos	$ 20

D:\Consultoria\Casaloma\Vulnerabilidad\Cap 5\Fig 5.1 - 5.7.xls

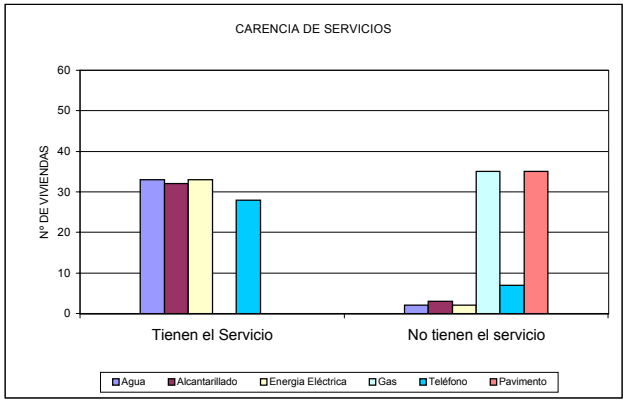
FIGURA 5.2

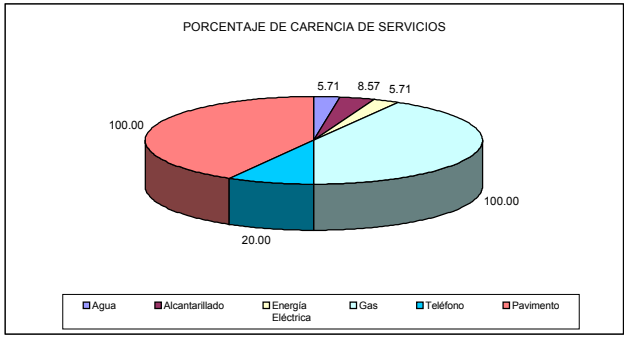
INDICADORES DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SOCIAL

Cálculo del indice de Carencia de Servicios						
	Agua	Alcantarillado	Energía Eléctrica	Gas	Teléfono	Pavimento
Tienen el Servicio	33.00	32.00	33.00	0.00	28.00	0
No tienen el servicio	2.00	3.00	2.00	35.00	7.00	35
Número	35.00	35	35	35	35	35
%Carencia	5.71	8.57	5.71	100.00	20.00	100.00
Promedio	40.00					
Valor Normalizado	0.00	0.03	0.00	1.00	0.15	1.00
Índice de Servicios	0.36					

Tipo de Vivienda	Sistema Estructural	Número de Viviendas	%
Adecuado	Muros Portantes	22	62.86
	Pórtico	0	62.86
	Pórtico con Tabiques	0	62.86
	Entramado Tabiques	0	62.86
Inadecuado	Sistema Mixto	8	37.14
	De Recuperación	5	37.14
	Σ	35	

Nº familias	Nº Viviendas	Nº familias sin vivienda	% familias sin vivienda
37	31	6	16.216





D:\Consultoria\Casaloma\Vulnerabilidad\Cap 5\Fig 5.1 - 5.7.xls

Tipología de las viviendas

Si bien el tipo de vivienda y sus características físicas se analizarán dentro del contexto de la vulnerabilidad física, las construcciones en sí mismas, son indicativo de la calidad de vida de los propietarios. En Casaloma, la mayor parte de las viviendas (**Figura 5.3A**) se consideran con calidad de construcción buena, 21 unidades; regular, 9; y con mala calidad constructiva, 3.

Por otra parte, más del 60% del total de viviendas ha sido construido con sistemas resistentes y con aceptable calidad de materiales conformando muros portantes, pórticos o pórticos con tabiques (**Mapa 14** y Figura 5.3), y poseen edades entre 1 y 10 años (**Figura 5.3B**).

El panorama reseñado parece no estar en concordancia con el nivel de ingresos promedio por familia e indicar una media capacidad de recuperación. Esta conclusión no es del todo cierta, porque no es posible relacionar directamente las propiedades de la construcción con la capacidad adquisitiva de los propietarios sin tomar en consideración variables como el tiempo de ejecución de la misma y el nivel de endeudamiento de los habitantes. Además dicha inferencia desconocería la condición actual de desempleo en el barrio.

Al considerar los tópicos anteriores es claro que las condiciones de vulnerabilidad socioeconómica son similares para toda la población. Es decir no constituye un aspecto discriminante para el tratamiento del sector, por lo cual puede incorporarse como una constante en la evaluación de riesgo.

Aunque no se cuenta, en este proyecto, con elementos comparativos para cualificar la vulnerabilidad social, se estima que ella oscila desde media baja hasta baja, básicamente por la incapacidad de la comunidad de sobrellevar un desastre y de recuperar su condición de vida actual, posterior a su ocurrencia.

5.2 VULNERABILIDAD FÍSICA

La vulnerabilidad física se puede evaluar tomando en consideración aspectos sobre tipología de las viviendas, la cobertura de servicios públicos y la calidad de la construcción, en este último aspecto se puede incluso hablar de “mantenimiento de la construcción”.

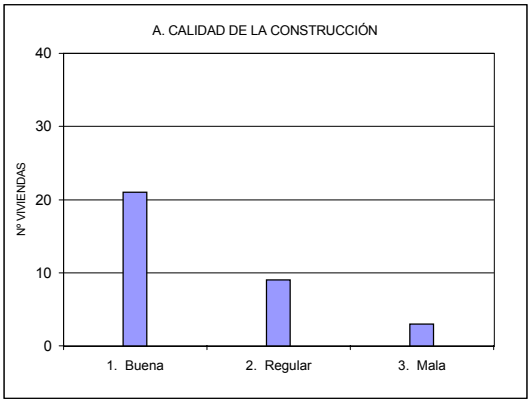
Con fines prácticos, para la elaboración de este trabajo, se optó por evaluar la vulnerabilidad de las viviendas a partir del grado de exposición de éstas ante el fenómeno amenazante (Índice de Exposición, IE) y del comportamiento de las construcciones en tal circunstancia (Índice de Resistencia, IR).

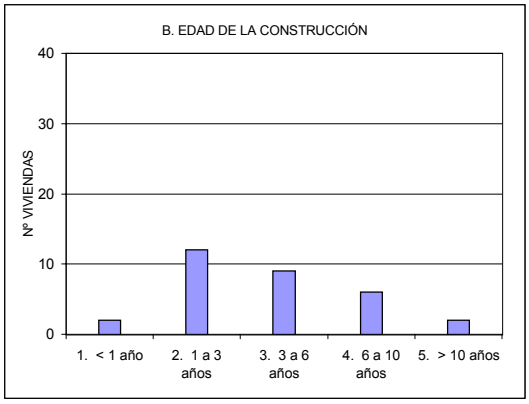
Finalmente se conjugaron los índices antes descritos para estimar la vulnerabilidad física a pesar de que se conocía tácitamente y de antemano el resultado, vulnerabilidad física baja, y de que el papel destructivo de los fenómenos no tiene relevancia y su magnitud no es discriminante.

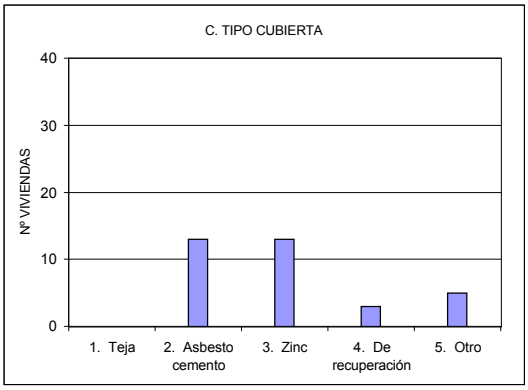
A continuación se realiza una descripción de cada uno de ellos y los valores asumidos en cada caso.

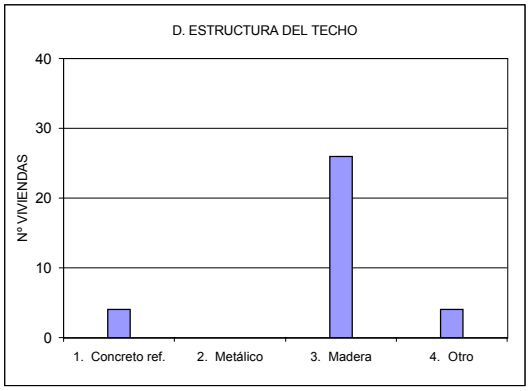
FIGURA 5.3

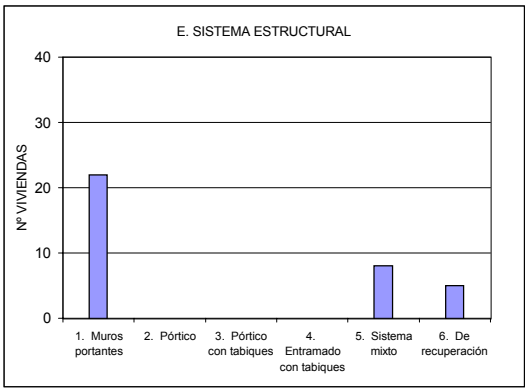
CARACTERISTICAS DE LAS VIVIENDAS

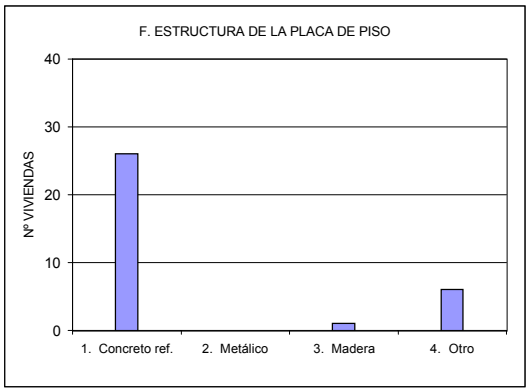












D:\Consultoria\Casaloma\Vulnerabilidad\Cap 5\Fig 5.1 - 5.7.xls

5.2.1 Índice de Exposición

La determinación del índice de exposición involucró conocer el tipo de fenómeno a estudiar y su distribución espacial; en este último sentido todo movimiento está compuesto por tres grandes zonas que son: La Zona de Influencia Directa (ZID) definida como aquella área en la que tiene lugar el movimiento, la Zona de Influencia Indirecta (ZII) que corresponde a aquella que puede estar afectada por la masa deslizada y una última denominada Fuera de la Zona de Influencia (FZI), en donde no se espera ningún tipo de afectación.

De la evaluación geotécnica y, con base en los diferentes fenómenos de remoción en masa que afectan los elementos físicos del barrio, se determinaron las zonas de afectación directa (ZID) e indirecta (ZII) y las no afectadas (FZI) para cada mecanismo, como se indica en el **Mapa 15.** El contacto de la primera zona fue definido gracias a las evidencias de campo; así, en los taludes con posibilidad de deslizamiento rotacional, se consideró la proyección horizontal de la superficie crítica de estabilidad, y en las laderas con posibilidad de falla por bloques se adoptó el ancho máximo como la separación horizontal entre la grieta y la base del frente del talud.

El límite externo de la zona de influencia indirecta (ZII)se obtuvo con base en la distancia de viaje de las masas inestables. Ella fue determinada a partir del patrón geométrico de los taludes estudiados (secciones A-A´ a J-J´) siguiendo los lineamientos presentados por Finlay et al (1999) y la propuesta formulada por Hoek (1996). La **Tabla 5.1** contiene los datos de ingreso para los cortes estudiados y las distancias de viaje estimadas para cada una, en concordancia con el primer método y, las **Figuras 5.4** y **5.5** ilustran los recorridos máximos de los bloque inestables que se desplazan por caída libre calculados con ayuda del programa Tumble.

Finalmente, con base en la localización de las viviendas dentro de las áreas de distribución espacial de los movimientos, se asignó el índice de exposición intentando considerar la magnitud de los eventos y su solicitación sobre los elementos teniendo en cuenta la superficie de contacto que un deslizamiento pudiera provocar sobre los muros, dado que la solicitación de este tipo de fenómenos corresponde a presiones laterales y, el volumen de los bloques en el caso de caída de rocas que es un indicativo de la magnitud de estos procesos.

Los análisis efectuados permitieron determinar que no existe vivienda alguna con afectación potencial (**Figura 5.6**), pues la totalidad de las unidades residenciales se ubican fuera de la zona de influencia de los procesos de inestabilidad.

5.2.2 Índice de Resistencia (IR)

El índice de resistencia utilizado para evaluar la vulnerabilidad se midió a partir de las componentes del sistema estructural de las viviendas como son: la cubierta, C, la estructura de techo, T, y el tipo de sistema estructural, SE (Tabla 5.2)**,** y el tipo de material constitutivo de cada componente. Sin embargo, vale la pena mencionar que el mejor parámetro de resistencia debería obtenerse de ensayos in-situ sobre los componentes estructurales, pero este tratamiento elevaría el costo del estudio.

TABLA 5.1

DETERMINACIÓN DE LAS DISTANCIAS DE VIAJE DE LAS MASAS POTENCIALMENTE INESTABLES

Sección Análisis	codigo	Tipo de Fenómeno	Inicio de falla Abscisa (m)	Elevación del Plano de referencia (m)	Altura de falla H (m)	Ángulo de Inclinación del Talud (º)	Ángulo de Inclinación del Talud (Rad)	Constante (C0)	Coeficiente (C1)	Log H	Coeficiente (C2)	Log (Tan A)	Log L	Distancia de Viaje (m)
A - A'	1	Deslizamiento	12.00	2620.00	6.20	80.00	1.396	0.156	1.055	0.792	-0.454	0.754	0.650	4.465
A - A'	2	Caída Bloques	12.00	2620.00	6.20	80.00	1.396	0.466	0.891	0.792	-0.206	0.754	1.017	10.394
B - B'	2	Caída Bloques	18.75	2618.00	11.37	71.00	1.239	0.466	0.891	1.056	-0.206	0.463	1.311	20.479
C - C'	1	Deslizamiento	26.00	2619.00	17.00	63.43	1.107	0.156	1.055	1.230	-0.454	0.301	1.317	20.773
C - C'2	2	Caída Bloques	26.00	2619.00	17.00	63.43	1.107	0.466	0.891	1.230	-0.206	0.301	1.500	31.647
C - C'3	1	Deslizamiento	18.25	2619.00	8.00	30.00	0.524	0.156	1.055	0.903	-0.454	-0.239	1.217	16.484
D - D'	1	Deslizamiento	27.00	2620.00	23.00	75.00	1.309	0.156	1.055	1.362	-0.454	0.572	1.333	21.526
D - D'2	2	Caída Bloques	27.00	2620.00	23.00	75.00	1.309	0.466	0.891	1.362	-0.206	0.572	1.561	36.432
D - D'3	1	Deslizamiento	18.25	2620.00	10.00	32.00	0.559	0.156	1.055	1.000	-0.454	-0.204	1.304	20.124
E - E'	1	Deslizamiento	28.75	2622.50	16.50	39.80	0.695	0.156	1.055	1.217	-0.454	-0.079	1.476	29.952
E - E'2	2	Caída Bloques	35.00	2622.50	28.25	69.44	1.212	0.466	0.891	1.451	-0.206	0.426	1.671	46.895
F - F'	1	Deslizamiento	35.00	2620.00	31.75	62.00	1.082	0.156	1.055	1.502	-0.454	0.274	1.616	41.285
F - F'2	2	Caída Bloques	35.00	2620.00	31.75	62.00	1.082	0.466	0.891	1.502	-0.206	0.274	1.748	55.917
F - F'3	1	Deslizamiento	18.25	2620.00	12.00	34.40	0.600	0.156	1.055	1.079	-0.454	-0.164	1.369	23.400
G - G'	2	Caída Bloques	38.25	2622.50	26.00	47.00	0.820	0.466	0.891	1.415	-0.206	0.030	1.720	52.540
G - G'2	1	Deslizamiento	35.00	2622.50	21.50	47.00	0.820	0.156	1.055	1.332	-0.454	0.030	1.548	35.314

Intervalo de Confianza (95%) Alto

FIGURA 5.4

BARRIO CASALOMA
RESULTADOS DEL ANALISIS CON TUMBLE - SECCION E - E´

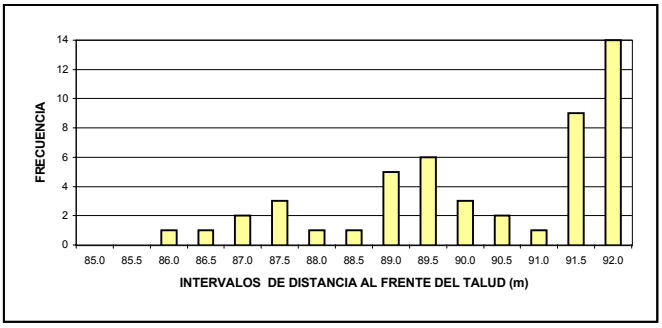
TAMAÑO BLOQUE: 1.4 m de altura x 1.1 m de ancho

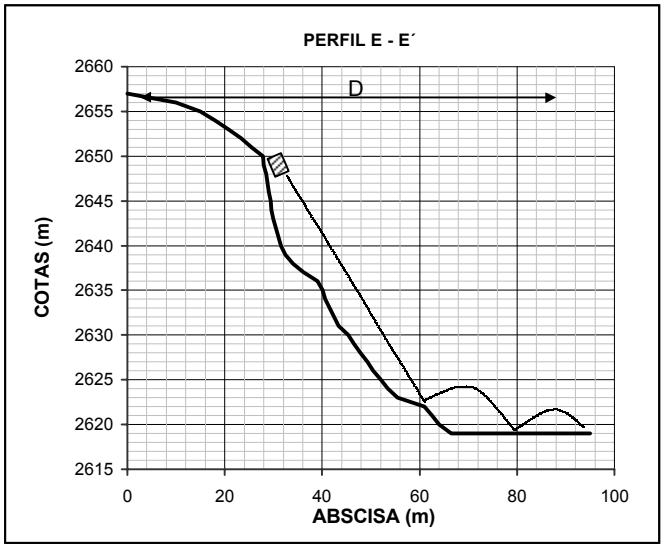
ALTURA (m)	DIST. FRENTE TALUD (m), D
29.44	90.61
30.90	91.51
29.20	88.71
29.06	88.77
30.50	91.25
30.26	91.52
30.89	91.61
30.32	88.96
30.13	91.47
29.33	91.29
29.15	91.55
29.88	91.52
30.86	91.51
30.29	92.78
30.01	91.34
30.10	89.77
29.23	89.92
29.94	91.52
29.38	88.65
30.60	88.31
29.99	91.29
29.90	89.99
30.65	91.57
29.76	88.60
29.36	91.52
29.13	91.53
29.04	85.80
30.51	86.99
30.59	89.25
30.07	87.27
29.80	91.61
29.00	91.72
29.73	91.61
30.40	91.30
29.35	91.28
29.49	87.06
29.01	91.31
30.21	86.41
30.45	89.21
30.06	87.40
29.18	90.24
29.93	89.03
29.11	91.51
29.88	89.12
30.67	87.50
30.82	90.01
30.94	91.30
29.25	86.89
29.41	89.04
30.75	89.33

ANALISIS ESTADISTICO

NUMERO DE DATOS	50
MAXIMO	92.78
MINIMO	85.80
MODA	92.00
MEDIANA	90.43
PROMEDIO	89.99
DESVIACION ESTAND.	1.76

INTERV.	FRECUENCIA
84.5 - 85.0	0
85.0 - 85.5	0
85.5 - 86.0	1
86.0 - 86.5	1
86.5 - 87.0	2
87.0 - 87.5	3
87.5 - 88.0	1
88.0 - 88.5	1
88.5 - 89.0	5
89.0 - 89.5	6
89.5 - 90.0	3
90.0 - 90.5	2
90.5 - 91.0	1
91.0 - 91.5	9
91.5 - 92.0	14





D:\Consultoria\Casaloma\Vulnerabilidad\Cap 5\Fig 5.1 - 5.7.xls

FIGURA 5.5

BARRIO CASALOMA
RESULTADOS DEL ANALISIS CON TUMBLE - SECCION G - G´

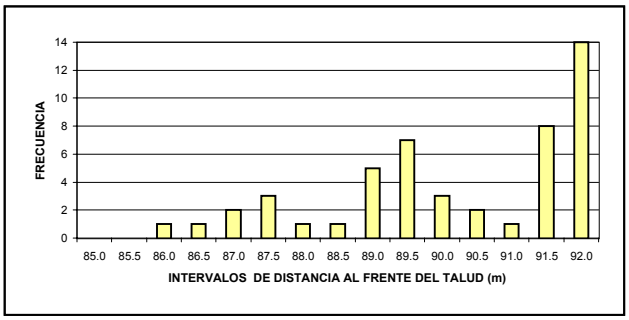
TAMAÑO BLOQUE: 1.4 m de altura x 1.1 m de ancho

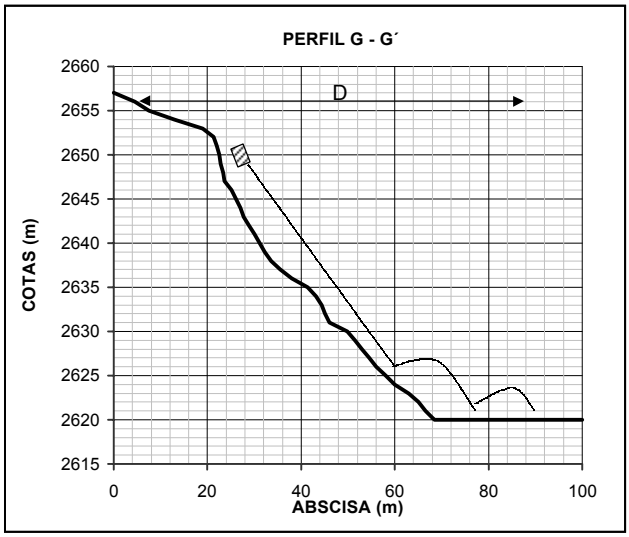
ALTURA (m)	DIST. FRENTE TALUD (m), D
29.61	90.61
30.42	91.51
30.99	88.71
29.96	88.77
30.51	89.05
30.85	91.52
30.84	91.61
29.56	88.96
30.09	91.47
29.76	91.29
29.89	91.55
29.72	91.52
30.01	91.51
30.91	92.78
31.21	91.34
29.76	89.77
30.14	89.92
29.89	91.52
29.89	88.65
29.74	88.31
29.55	91.29
31.13	89.99
30.00	91.57
30.49	88.60
30.44	91.52
29.77	91.53
30.85	85.80
30.01	86.99
29.74	89.25
30.33	87.27
30.39	91.61
29.92	91.72
30.29	91.61
30.37	91.30
31.22	91.28
31.05	87.06
30.91	91.31
29.72	86.41
30.32	89.21
30.01	87.40
30.34	90.24
29.61	89.03
29.67	91.51
29.94	89.12
29.71	87.50
30.36	90.01
29.86	91.30
29.70	86.89
31.36	89.04
31.34	89.33

ANALISIS ESTADISTICO

NUMERO DE DATOS	50
MAXIMO	92.78
MINIMO	85.80
MODA	92.00
MEDIANA	90.13
PROMEDIO	89.94
DESVIACION ESTAND	1.75

INTERV.	FRECUENCIA
84.5 - 85.0	0
85.0 - 85.5	0
85.5 - 86.0	1
86.0 - 86.5	1
86.5 - 87.0	2
87.0 - 87.5	3
87.5 - 88.0	1
88.0 - 88.5	1
88.5 - 89.0	5
89.0 - 89.5	7
89.5 - 90.0	3
90.0 - 90.5	2
90.5 - 91.0	1
91.0 - 91.5	8
91.5 - 92.0	14

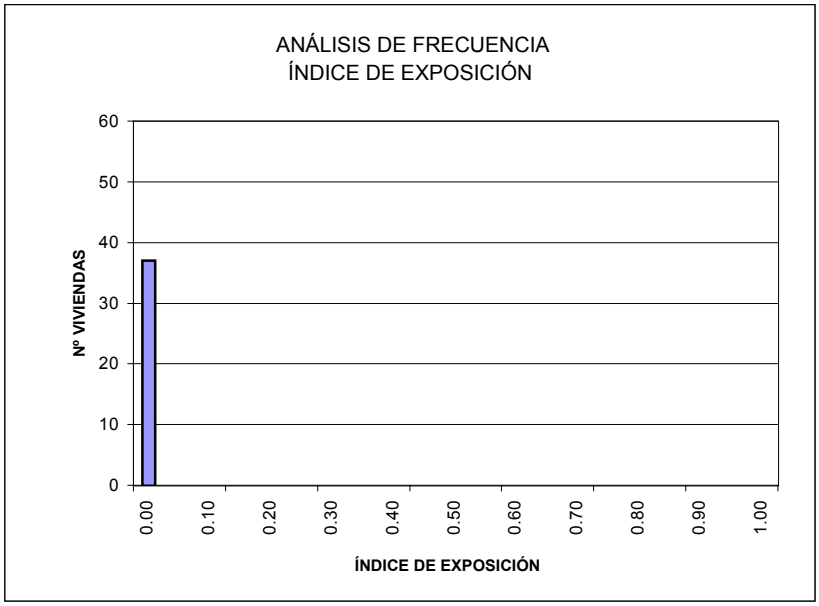


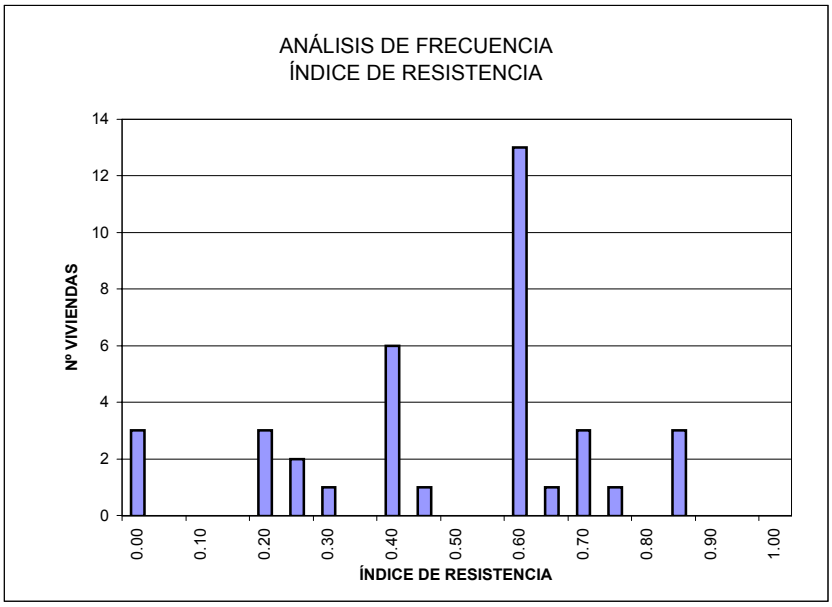


D:\Consultoria\Casaloma\Vulnerabilidad\Cap 5\Fig 5.1 - 5.7.xls

FIGURA 5.6

ANÁLISIS DE FRECUENCIA DEL ÍNDICE DE EXPOSICIÓN E ÍNDICE DE RESISTENCIA





D:\Consultoria\Casaloma\Vulnerabilidad\Cap 5\Fig 5.1 - 5.7.xls

Los criterios de evaluación fueron adoptados en forma discreta para toda el área de estudio. Esto significa que la valoración de los parámetros involucrados se realizó discriminando tanto por el tipo de solicitud (FRM) como por la ubicación de la vivienda ante ella.

A las variables mencionadas se les asignó un grado de contribución a la resistencia con base en la experiencia del experto, pero simulando que en todos los casos los cuerpos movidos ejercen presiones laterales, así:

Tipo de cubierta

Ésta puede aportar un 20 % de la resistencia de la vivienda ante un fenómeno de remoción en masa. En el barrio Casaloma predominan las cubiertas en asbesto cemento y zinc (**Figura 5.3C**), y en un menor porcentaje se encuentran las de recuperación.

Estructura de techo

El material de la estructura de techo fue incluido como elemento aportante en un 20% de la resistencia total de la vivienda. La estructura de mayor predominio en Sotavento es la de madera seguida de concreto reforzado. (**Figura 5.3D**)

Sistema Estructural

Otra de las variables involucradas es el tipo de sistema estructural, siendo éste el elemento considerado con mayor aporte, 60%. La **Figura 5.3E** muestra la composición de las unidades residenciales por sistema estructural según los datos obtenidos en la encuesta. La mayor parte de las viviendas están conformadas con sistemas aporticados con tabiques y con muros portantes.

El aporte de cada tipo de material para los componentes estructurales se realizo de forma cualitativa. Los valores fueron asignados entre 0 y 1 (de menor a mayor capacidad de respuesta), intentando calificar su contribución como elemento reductor de la energía cinética de las masas inestables.

La **Tabla 5.3A** contiene las cantidades asignadas, de ella se aprecia que las unidades construidas en concreto reciben las mayores calificaciones: 0.85, y las de recuperación escasamente contribuyen con 0.10.

Por último el índice de resistencia se definió a partir de la siguiente relación:

$$IR = 0.2*C + 0.2*T + 0.6*SE$$

donde,

IR : Indice de resistencia
C : Valor asignado para tipo de cubierta
T : Valor asignado para tipo de estructura de techo
SE : Valor asignado para tipo de sistema estructural

Los resultados del análisis con este índice indican una distribución modal de 0.60 (**Figura 5.6**), lo que puede traducirse en una resistencia media de las viviendas.

5.2.3 Índice de Vulnerabilidad Física

Con los índices de resistencia y exposición hallados anteriormente, se calculó la resistencia movilizada (RM) que es una expresión de los posibles daños provocados al elemento expuesto por un fenómeno, para lo cual se buscó una ecuación que cumpliera con las siguientes condiciones:

- Cuando IE = 0, RM = 0.
- Cuando IE = 1, RM = 1.
- Para cualquier valor de IR e IE, $1 \geq RM \geq 0$.

Pueden existir innumerables funciones que cumplan con las anteriores condiciones, sin embargo para fines prácticos se adaptó la ecuación propuesta por Ingeocim (1998), reemplazando el índice de vulnerabilidad por deslizamiento, IVD, por la RM y el índice de vulnerabilidad física, IVF, por el índice de exposición, IE:

$$RM = [1-(IR)^{IE}]^{(1-IE)}$$

INCRUSTAR

Donde,

RM : Resistencia movilizada.
IR : Índice de resistencia.
IE : Índice de exposición.

De esta manera, se estableció un paralelo entre la RM y la matriz de daño presentada por el DRM que se muestra en la **Tabla 5.3B** y que involucra el tipo y la magnitud del evento y la solicitación de los elementos, mediante la ecuación:

$$InD = 1+4*RM$$

En la que una InD = 1 (I), equivale a daños leves y una InD = 5 (V) que es la máxima, corresponde a daños severos.

Adicionalmente, y a partir de las descripciones de la Intensidad de daño del DRM se estableció el Índice de Daño, ID, que sería un equivalente del Índice de Vulnerabilidad Física si la confiabilidad de los datos fuera del 100%. De acuerdo con las condiciones propias del presente estudio, se asumió que ésta es del 80%, lo cual indica que:

$$IVF = ID/CfF$$

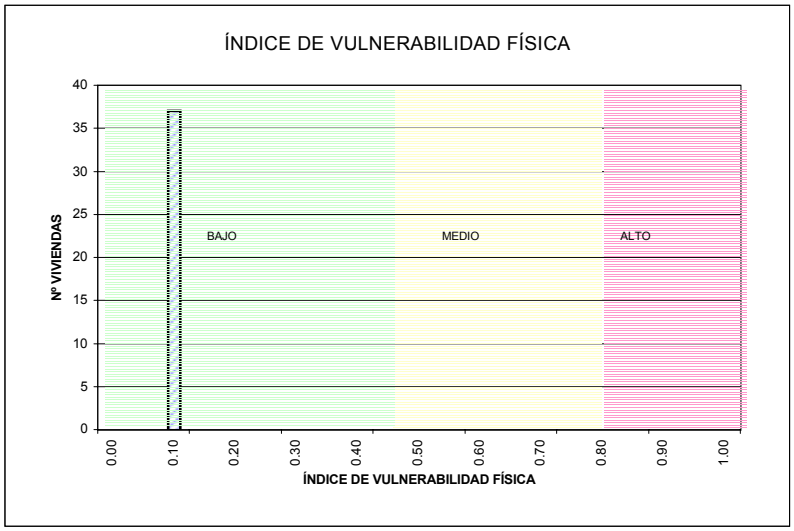
donde:

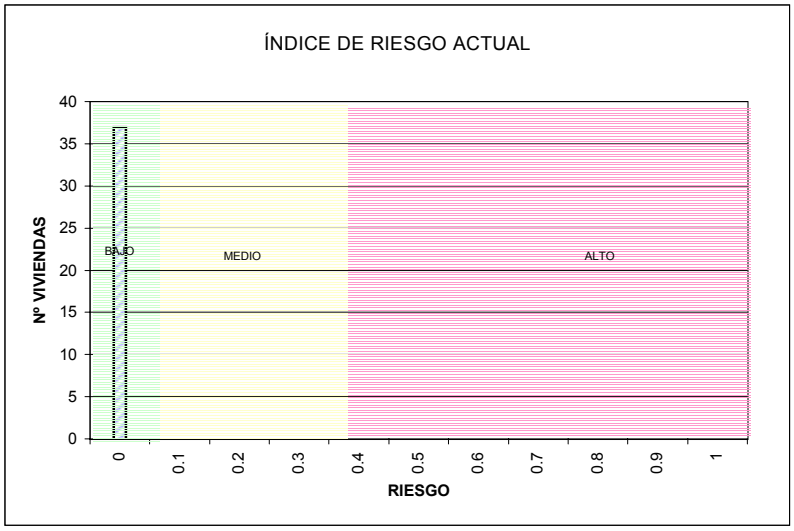
CfF es el coeficiente de confiabilidad = 0.8

Así, el IVF, grado de vulnerabilidad, se dividió en tres grupos, como se indica en la **Figura 5.7**.

FIGURA 5.7

ANÁLISIS DE FRECUENCIA DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD FÍSICA E ÍNDICE DE RIESGO





D:\Consultoria\Casaloma\Vulnerabilidad\Cap 5\Fig 5.1 - 5.7.xls

Según el procedimiento anterior se concluye que Casaloma presenta en general una vulnerabilidad física baja. (Véase la **Tabla 5.2** y el **Mapa 16**). Lo anterior sumado al hecho de que las viviendas están ubicadas en zonas de amenaza baja conduce desde esta perspectiva, a optar por convivir con el problema manteniendo la zona de amortiguamiento en la cual es imperante evitar asentamientos humanos y adoptar soluciones de carácter paisajístico más que de estabilidad.

Empero si nuevas viviendas se asentaran sobre la zona de influencia indirecta que se ha señalado, obviamente esta condición de vulnerabilidad no se mantendría y la capacidad destructora de los movimientos en ese caso sería mayor y nefasta. El índice de daño conexo, también se acrecentaría.

5.2.4 Vulnerabilidad de los elementos móviles

Cabe destacar, sin embargo que las viviendas no son los únicos componentes en estudio. Tal vez a la luz de los resultados expuestos en los párrafos anteriores, surgen como de mayor relevancia los transeúntes. Ellos se convierten en los únicos elementos expuestos, siempre y cuando, se circunscriban en las zonas de influencia directa e indirecta de los procesos de inestabilidad. El análisis y valoración de su respuesta ante los fenómenos de remoción en masa se realizará de manera cualitativa, pues se carece de parámetros y elementos de juicio, diferentes al criterio del experto para llevarlos a cabo.

Aunque el abanico de procesos que pueden afectar la vida de las personas cobija: los fenómenos traslacionales de suelo y roca triturada, los deslizamientos rotacionales de los depósitos superficiales de la cantera y del cuerpo fluvioglacial (en el borde sur oriental) y la caída de rocas, este ultimo es el fenómeno de mayor incidencia por su cobertura (expresada tanto por su distancia de viaje, como por su presencia a lo largo del frente de explotación) y magnitud. La vulnerabilidad de estos componentes (personas y animales) para este proceso de exposición se asumió equivalente a la unidad y la resistencia de los elementos bajo el principio de que son procesos súbitos y que el peso promedio de los bloques móviles es cercano a las 3.6 toneladas (empaquetados en un volumen de 1.6 m3) es nula.

En este sentido, se puede cualificar la vulnerabilidad de tales componentes como alta. Dicha categorización no puede extrapolarse a los otros fenómenos excepto la falla traslacional con grieta de tracción que encierra los mayores volúmenes potenciales de desplazamiento, ya que como dichos procesos involucran distancias de viaje cortas y poca área de afectación, los transeúntes pueden acomodarse mejor. Empero y bajo una óptica conservadora, se asumirá la cualificación anterior de vulnerabilidad como el único espectro valido, indistinto del fenómeno.

5.3 RIESGO ACTUAL

El riesgo incurrido en una zona o elemento, frente a una solicitud determinada, se puede expresar al combinar la probabilidad de ocurrencia de la solicitud (amenaza actual) con las pérdidas potenciales.

Para el presente trabajo las pérdidas potenciales corresponden a las pérdidas directas en viviendas y enseres, las cuales se pueden calcular multiplicando los costos de capital por el índice de vulnerabilidad física. El riesgo, entendido como una aproximación a valor índice, queda de esta manera; definido en términos de pesos.

TABLA 5.2

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD POR DESLIZAMIENTO

Ficha	Localidad	Barrio	Manzana	Lote	Tipo de evento	Ubicación de la vivienda respecto al deslizamiento	Código del tipo de Cubierta	*C*: Tipo de Cubierta	Factor de ponderación de cubierta *FC*	Código de la estructura del techo	*T*: Estructura del techo	Factor de ponderación de la estructura del techo *FT*	Código del sistema Estructural	*SE*: Sistema Estructural	Factor de ponderación del sistema estructural *FSE*	Índice de Resistencia: *IR=FC+FT+FSE*	Índice de exposición *IE=f(SC)*	Resistencia movilizada $RM=(1-(IR)^{IE})^{(1+IE)}$	*IntD*: Intensidad de Daño *IntD=1+4*RM*	*ID*: Índice de Daño *ID=f(IntD)*	*IVF*: Índice de Vulnerabilidad Física *IVF=ID/0.8*
1	Ciudad Bolíva	Casaloma	E	1	Caída de roca	FZI	1	Teja	0.40	1	Concreto reforzado	0.90	5	sistema mixto	0.25	0.41	0.00	0.00	1	0.055	0.07
2	Ciudad Bolíva	Casaloma	E	2	Caída de roca	FZI	5	Otro	0.90	4	Otro	0.10	1	Muros portantes	0.75	0.65	0.00	0.00	1	0.055	0.07
3	Ciudad Bolíva	Casaloma	D	3	Caída de roca	FZI	5	Otro	0.90	3	Madera	0.55	1	Muros portantes	0.75	0.74	0.00	0.00	1	0.055	0.07
4	Ciudad Bolíva	Casaloma	D	4	Caída de roca	FZI	0	0	0.00	0		0.00	0		0	0.00	0.00	0.00	1	0.055	0.07
5	Ciudad Bolíva	Casaloma	D	5	Caída de roca	FZI	3	Zinc	0.20	3	Madera	0.55	6	Recuperación	0.1	0.21	0.00	0.00	1	0.055	0.07
6	Ciudad Bolíva	Casaloma	C	6	Caída de roca	FZI	5	Otro	0.90	1	Concreto reforzado	0.90	1	Muros portantes	0.75	0.81	0.00	0.00	1	0.055	0.07
7	Ciudad Bolíva	Casaloma	C	7	Caída de roca	FZI	3	Zinc	0.20	3	Madera	0.55	1	Muros portantes	0.75	0.60	0.00	0.00	1	0.055	0.07
8	Ciudad Bolíva	Casaloma	C	8	Caída de roca	FZI	1	Teja	0.40	3	Madera	0.55	1	Muros portantes	0.75	0.64	0.00	0.00	1	0.055	0.07
9	Ciudad Bolíva	Casaloma	C	9	Caída de roca	FZI	1	Teja	0.40	3	Madera	0.55	5	sistema mixto	0.25	0.34	0.00	0.00	1	0.055	0.07
10	Ciudad Bolíva	Casaloma	B	10	Caída de roca	FZI	1	Teja	0.40	3	Madera	0.55	5	sistema mixto	0.25	0.34	0.00	0.00	1	0.055	0.07
11	Ciudad Bolíva	Casaloma	B	11	Caída de roca	FZI	1	Teja	0.40	3	Madera	0.55	5	sistema mixto	0.25	0.34	0.00	0.00	1	0.055	0.07
12	Ciudad Bolíva	Casaloma	B	12	Caída de roca	FZI	1	Teja	0.40	4	Otro	0.10	1	Muros portantes	0.75	0.55	0.00	0.00	1	0.055	0.07
13	Ciudad Bolíva	Casaloma	B	13	Caída de roca	FZI	4	Recuperación	0.10	3	Madera	0.55	6	Recuperación	0.1	0.19	0.00	0.00	1	0.055	0.07
14	Ciudad Bolíva	Casaloma	B	14	Caída de roca	FZI	3	Zinc	0.20	3	Madera	0.55	6	Recuperación	0.1	0.21	0.00	0.00	1	0.055	0.07
15	Ciudad Bolíva	Casaloma	B	15	Caída de roca	FZI	1	Teja	0.40	4	Otro	0.10	1	Muros portantes	0.75	0.55	0.00	0.00	1	0.055	0.07
16	Ciudad Bolíva	Casaloma	A	16	Caída de roca	FZI	3	Zinc	0.20	3	Madera	0.55	1	Muros portantes	0.75	0.60	0.00	0.00	1	0.055	0.07
17	Ciudad Bolíva	Casaloma	A	17	Caída de roca	FZI	4	Recuperación	0.10	3	Madera	0.55	6	Recuperación	0.1	0.19	0.00	0.00	1	0.055	0.07
18	Ciudad Bolíva	Casaloma	A	18	Caída de roca	FZI	0	0	0.00	0		0.00	0		0	0.00	0.00	0.00	1	0.055	0.07
19	Ciudad Bolíva	Casaloma	A	19	Caída de roca	FZI	1	Teja	0.40	3	Madera	0.55	5	sistema mixto	0.25	0.34	0.00	0.00	1	0.055	0.07
20	Ciudad Bolíva	Casaloma	A	20	Caída de roca	FZI	4	Recuperación	0.10	3	Madera	0.55	6	Recuperación	0.1	0.19	0.00	0.00	1	0.055	0.07
21	Ciudad Bolíva	Casaloma	A	21	Caída de roca	FZI	3	Zinc	0.20	3	Madera	0.55	1	Muros portantes	0.75	0.60	0.00	0.00	1	0.055	0.07
22	Ciudad Bolíva	Casaloma	A	22	Caída de roca	FZI	1	Teja	0.40	3	Madera	0.55	5	sistema mixto	0.25	0.34	0.00	0.00	1	0.055	0.07
23	Ciudad Bolíva	Casaloma	A	23	Caída de roca	FZI	1	Teja	0.40	3	Madera	0.55	5	sistema mixto	0.25	0.34	0.00	0.00	1	0.055	0.07
24	Ciudad Bolíva	Casaloma	A	24	Caída de roca	FZI	1	Teja	0.40	4	Otro	0.10	5	sistema mixto	0.25	0.25	0.00	0.00	1	0.055	0.07
1	Ciudad Bolíva	Mirador de la Estanc	F	1	Caída de roca	FZI	3	Zinc	0.20	3	Madera	0.55	1	Muros portantes	0.75	0.60	0.00	0.00	1	0.055	0.07
2	Ciudad Bolíva	Mirador de la Estanc	F	2	Caída de roca	FZI	3	Zinc	0.20	3	Madera	0.55	1	Muros portantes	0.75	0.60	0.00	0.00	1	0.055	0.07
3	Ciudad Bolíva	Mirador de la Estanc	F	3	Caída de roca	FZI	5	Otro	0.90	1	Concreto reforzado	0.90	1	Muros portantes	0.75	0.81	0.00	0.00	1	0.055	0.07
4	Ciudad Bolíva	Mirador de la Estanc	F	4	Caída de roca	FZI	3	Zinc	0.20	3	Madera	0.55	1	Muros portantes	0.75	0.60	0.00	0.00	1	0.055	0.07
5	Ciudad Bolíva	Mirador de la Estanc	F	5	Caída de roca	FZI	3	Zinc	0.20	3	Madera	0.55	1	Muros portantes	0.75	0.60	0.00	0.00	1	0.055	0.07
6	Ciudad Bolíva	Mirador de la Estanc	F	6	Caída de roca	FZI	1	Teja	0.40	3	Madera	0.55	1	Muros portantes	0.75	0.64	0.00	0.00	1	0.055	0.07
7	Ciudad Bolíva	Mirador de la Estanc	F	7	Caída de roca	FZI	3	Zinc	0.20	3	Madera	0.55	1	Muros portantes	0.75	0.60	0.00	0.00	1	0.055	0.07
8	Ciudad Bolíva	Mirador de la Estanc	F	8	Caída de roca	FZI	0	0	0.00	0		0.00	0		0	0.00	0.00	0.00	1	0.055	0.07
9	Ciudad Bolíva	Mirador de la Estanc	F	9	Caída de roca	FZI	3	Zinc	0.20	3	Madera	0.55	1	Muros portantes	0.75	0.60	0.00	0.00	1	0.055	0.07
10	Ciudad Bolíva	Mirador de la Estanc	F	10	Caída de roca	FZI	1	Teja	0.40	3	Madera	0.55	1	Muros portantes	0.75	0.64	0.00	0.00	1	0.055	0.07
11	Ciudad Bolíva	Mirador de la Estanc	F	11	Caída de roca	FZI	3	Zinc	0.20	3	Madera	0.55	1	Muros portantes	0.75	0.60	0.00	0.00	1	0.055	0.07
12	Ciudad Bolíva	Mirador de la Estanc	F	12	Caída de roca	FZI	3	Zinc	0.20	3	Madera	0.55	1	Muros portantes	0.75	0.60	0.00	0.00	1	0.055	0.07
13	Ciudad Bolíva	Mirador de la Estanc	F	13	Caída de roca	FZI	5	Otro	0.90	1	Concreto reforzado	0.90	1	Muros portantes	0.75	0.81	0.00	0.00	1	0.055	0.07

Para obviar el subjetivo contexto de los costos de capital, ya que ellos son el resultado de la conveniencia de los moradores en la zona, se puede optar por considerar el valor promedio de ellos. Esto no es otra cosa que expresar el índice de riesgo aumentando por una constante.

Por lo tanto, por simplicidad en la presentación de los resultados, se abstrajeron los costos de capital. Entonces, el índice de riesgo corresponde a un valor entre 0 y 1, donde los mayores niveles de riesgo son cantidades cercanas a la unidad.

El **Mapa 17** ilustra el resultado obtenido donde se evidencia que la totalidad de las viviendas (37 unidades) se encuentra en categoría de riesgo bajo (**Figura 5.7** y **Tabla 5.4**). La zona señalada con rojo aun cuando el IVF es nulo, se considera con alto riesgo para transeúntes y elementos móviles dada la continua presencia de ellos en la cancha de microfútbol y en las áreas aledañas al antiguo patio de explotación.

TABLA 5.3

A. VALORES ASIGNADOS PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE ESTRUCTURAS

CUBIERTA			TECHO			SISTEMA ESTRUCTURAL		
CÓDIGO	TIPO	FACTOR DE PONDERACIÓN FC	CÓDIGO	TIPO	FACTOR DE PONDERACIÓN FT	CÓDIGO	TIPO	FACTOR DE PONDERACIÓN FSE
1	TEJA	0.40	1	CONCRETO REFORZADO	0.90	1	MUROS PORTANTES	0.75
2	ASBESTO CEMENTO	0.50	2	METÁLICO	0.90	2	PÓRTICO	0.85
3	ZINC	0.20	3	MADERA	0.55	3	PÓRTICO CON TABIQUES	0.75
4	RECUPERACIÓN	0.10	4	OTRO	0.10	4	ENTRAMADO CON TABIQUES	0.60
5	OTRO	0.90				5	SISTEMA MIXTO	0.25
						6	RECUPERACIÓN	0.10

B. RELACIÓN ENTRE LA INTENSIDAD DE DAÑO Y EL ÍNDICE DE DAÑO
(DRM Délégation aux Risques Majeurs)

INTD: INTENSIDAD DE DAÑO	DESCRIPCIÓN	*ID:* ÍNDICE DE DAÑO
0	NINGUNA	0.000
1	DAÑOS LIGEROS NO ESTRUCTURALES. ESTABILIDAD NO AFECTADA	0.055
2	FISURACIÓN DE MUROS. REPARACIONES NO URGENTES	0.115
3	DEFORMACIONES IMPORTANTES, FISURAS EN ELMEMENTOS ESTRUCTURAL	0.500
4	FRACTURACIÓN DE LA ESTRUCTURA, EVACUACIÓN INMEDIATA.	0.750
5	DERRUMBE PARCIAL O TOTAL DE LA ESTRUCTURA.	0.950

TABLA 5.4

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RIESGO ACTUAL

Ficha	Localidad	Barrio	Manzana	Lote	*IVF: Índice de Vulnerabilidad Física IVF=ID/0.8*	Amenaza por falla planar con grieta de tracción	Amenaza por falla translacional del suelo	Amenaza por Caída de Bloques	Riesgo
1	Ciudad Bolíva	Casaloma	E	1	0.07	0	0	0	0.00
2	Ciudad Bolíva	Casaloma	E	2	0.07	0	0	0	0.00
3	Ciudad Bolíva	Casaloma	D	3	0.07	0	0	0	0.00
4	Ciudad Bolíva	Casaloma	D	4	0.07	0	0	0	0.00
5	Ciudad Bolíva	Casaloma	D	5	0.07	0	0	0	0.00
6	Ciudad Bolíva	Casaloma	C	6	0.07	0	0	0	0.00
7	Ciudad Bolíva	Casaloma	C	7	0.07	0	0	0	0.00
8	Ciudad Bolíva	Casaloma	C	8	0.07	0	0	0	0.00
9	Ciudad Bolíva	Casaloma	C	9	0.07	0	0	0	0.00
10	Ciudad Bolíva	Casaloma	B	10	0.07	0	0	0	0.00
11	Ciudad Bolíva	Casaloma	B	11	0.07	0	0	0	0.00
12	Ciudad Bolíva	Casaloma	B	12	0.07	0	0	0	0.00
13	Ciudad Bolíva	Casaloma	B	13	0.07	0	0	0	0.00
14	Ciudad Bolíva	Casaloma	B	14	0.07	0	0	0	0.00
15	Ciudad Bolíva	Casaloma	B	15	0.07	0	0	0	0.00
16	Ciudad Bolíva	Casaloma	A	16	0.07	0	0	0	0.00
17	Ciudad Bolíva	Casaloma	A	17	0.07	0	0	0	0.00
18	Ciudad Bolíva	Casaloma	A	18	0.07	0	0	0	0.00
19	Ciudad Bolíva	Casaloma	A	19	0.07	0	0	0	0.00
20	Ciudad Bolíva	Casaloma	A	20	0.07	0	0	0	0.00
21	Ciudad Bolíva	Casaloma	A	21	0.07	0	0	0	0.00
22	Ciudad Bolíva	Casaloma	A	22	0.07	0	0	0	0.00
23	Ciudad Bolíva	Casaloma	A	23	0.07	0	0	0	0.00
24	Ciudad Bolíva	Casaloma	A	24	0.07	0	0	0	0.00
1	Ciudad Bolíva	Mirador de la Estanci	F	1	0.07	0	0	0	0.00
2	Ciudad Bolíva	Mirador de la Estanci	F	2	0.07	0	0	0	0.00
3	Ciudad Bolíva	Mirador de la Estanci	F	3	0.07	0	0	0	0.00
4	Ciudad Bolíva	Mirador de la Estanci	F	4	0.07	0	0	0	0.00
5	Ciudad Bolíva	Mirador de la Estanci	F	5	0.07	0	0	0	0.00
6	Ciudad Bolíva	Mirador de la Estanci	F	6	0.07	0	0	0	0.00
7	Ciudad Bolíva	Mirador de la Estanci	F	7	0.07	0	0	0	0.00
8	Ciudad Bolíva	Mirador de la Estanci	F	8	0.07	0	0	0	0.00
9	Ciudad Bolíva	Mirador de la Estanci	F	9	0.07	0	0	0	0.00
10	Ciudad Bolíva	Mirador de la Estanci	F	10	0.07	0	0	0	0.00
11	Ciudad Bolíva	Mirador de la Estanci	F	11	0.07	0	0	0	0.00
12	Ciudad Bolíva	Mirador de la Estanci	F	12	0.07	0	0	0	0.00
13	Ciudad Bolíva	Mirador de la Estanci	F	13	0.07	0	0	0	0.00

CAPITULO 6

MEDIDAS CORRECTIVAS DEL RIESGO ACTUAL

6. MEDIDAS CORRECTIVAS DEL RIESGO ACTUAL

Tal vez el mayor beneficio del análisis de riesgo actual radica en la formulación de un plan de acción que permita atenuar las consecuencias de los procesos de inestabilidad. Las obras, en consecuencia, pretenden estabilizar los movimientos o controlar los niveles de vulnerabilidad, disminuyendo las áreas de exposición.

A la luz del objeto de este proyecto, surge entonces, la necesidad de estudiar en adelante el papel de un abanico de medidas correctivas, que fueron emergiendo de los temas tratados en los capítulos anteriores. Los criterios de decisión entre ellas surgirán de un análisis comparativo entre la condición actual, y los escenarios con la implementación de las obras incluido el valor de las medidas de mitigación (riesgo aceptado). Procedimiento que se expondrá en las siguientes páginas.

La definición de riesgo, sin embargo, implica determinar explícitamente la eficiencia y eficacia de las alternativas en la reducción de la condición de amenaza y vulnerabilidad. Contradictoriamente, pero de singular importancia, como el nivel de riesgo físico actual es tan bajo (por no argumentar nulo), producto del escaso grado de exposición de las viviendas, el análisis de vulnerabilidad futura (con obras) pierde toda relevancia. La decisión de convivir con el problema (no hacer nada) resulta desde ya como la alternativa de menor riesgo esperado para los componentes urbanos (pues es nulo). Por lo tanto, las soluciones a proponer tendrán como principal y único objetivo, proteger la vida de los transeúntes, por ser ellos los elementos en riesgo. De igual manera, se plantearan medidas para mejorar, al menor costo, la condición ambiental actual, controlando o disminuyendo la probabilidad de falla.

Por otra parte, se sugerirá la implementación de una serie de obras de carácter meramente paisajístico que contribuirá innegablemente al mejoramiento de la calidad de vida y en consecuencia, a la reducción de la vulnerabilidad social, cuya participación en la mitigación del riesgo es difícilmente cuantificable. Sin embargo, estas obras se ven ampliamente justificadas en la disminución de la contaminación visual expresada en taludes y zonas desnudas de vegetación y de la contaminación atmosférica resultante de los residuos líquidos y sólidos productos de la erosión y en las necesidades recreativas de la población.

6.1 CONTRASTACIÓN DE ALTERNATIVAS Y SISTEMAS DE DECISIÓN BAJO INCERTIDUMBRE

A partir del marco teórico expuesto y con base en los resultados de las etapas precedentes fueron definidos como medidas de control en el frente de explotación, indistintamente de las zonas homogéneas: la reconformación general mediante el retiro de bloques o masas en condición crítica o inestables (entendido aquí como perfilado), complementado con la puesta en marcha de un sistema de drenaje superficial, lo anterior para disminuir la amenaza. La formulación de un área de aislamiento con instalación de una barrera de protección con malla y zanja de acumulación, o la construcción de un muro en gaviones en la base de los cortes para reducir la vulnerabilidad de los elementos móviles. O el convivir con el problema lo cual implica mantener la franja de amortiguamiento actual, es decir preservar las condiciones presentes. (véase capítulo 4).

6.1.1 EVALUACIÓN DE AMENAZA FUTURA

Las especiales características de la amenaza actual, oscilantes entre media y alta, dimensionadas por la diversidad y simultaneidad de los procesos de inestabilidad, son el reflejo del poder destructivo del hombre, coadyudado por las particulares condiciones tectónicas y estratigráficas (dominio de materiales arcillosos altamente susceptibles a fenómenos de inestabilidad y erosión) del sector. El tipo de explotación ejecutada, el irregular manejo urbanístico, expresado en la ausencia de sistemas controlados de transporte de agua; son algunas de las componentes de la acción del hombre que repercuten ampliamente en la inestabilidad del área.

La complejidad inherente a la naturaleza actual de la amenaza y el particular contexto de los elementos en riesgo, exclusivo a las unidades móviles, dejan al descubierto un panorama poco factible de encarar la totalidad de los fenómenos de remoción en masa a un costo razonable, para proteger la vida y honra de las personas. Resulta entonces más sencillo impedir la presencia de futuros elementos fijos como viviendas (restricción de uso).

Con este especial matiz y a pesar de lo predecible de los resultados, la valoración de las medidas de mitigación o estabilización intentó simular el potencial reductor de falla de las laderas (o taludes) ante su aplicación. El proceso de simulación encadena: la definición del comportamiento de las variables aleatorias, los parámetros de resistencia y las condiciones ambientales, de sus funciones de probabilidad (si se estima que presentan cambios radicales antes y después de la incorporación de las obras de estabilización), la formulación del análisis de estabilidad (estático y dinámico) y la determinación de la probabilidad de falla.

Lo anterior no es otra cosa que la evaluación de la amenaza futura. El desarrollo de este tema con la perspectiva señalada conducirá irremediablemente a enfrentarse nuevamente con el marco teórico expuesto en el capítulo 4 (numeral 4.2 y 4.3), pero con dos grandes ventajas: La primera, los modelos geotécnicos, los mecanismos de falla y el comportamiento de las variables aleatorias, c, ϕ y aceleración sísmica (a), mantienen vigencia en el análisis de amenaza futura. Y la segunda, las curvas generales de probabilidad de falla ilustradas en el capítulo 4, se asumen válidas en el dominio de participación de las medidas correctivas, éstas facilitarán estudiar y concluir sobre el comportamiento y beneficio de las mismas.

En estas circunstancias, la estimación de la probabilidad de falla se reduce a la determinación del factor de seguridad de cada sección de análisis con la incorporación de la medida correctiva para los parámetros de resistencia y las variables ambientales promedio; y a partir de éste pero con base en las Figuras 4.30 a 4.32, según el mecanismo de falla, obtener la probabilidad de ocurrencia (o nivel de amenaza).

No obstante, para el caso en estudio, como la mayor parte de las soluciones son tendientes a la reducción del área de exposición de los transeúntes, el análisis de amenaza formulado en el capítulo anterior, no sufrirá cambios substanciales. Así entonces, es claro que la posibilidad de falla para las alternativas de elusión (mantener las condiciones presentes) como conformación de las áreas de aislamiento, es equivalente a la probabilidad condicional de los taludes para las solicitaciones actuales (Figuras 4.13 a 4.29). En este caso se adopta igual a la probabilidad condicional promedio de falla, pf, de caída de bloques (pf=0.45)

El perfilado como concepción, aunque es una medida poco competitiva, dado que implica el trabajo de una amplia zona (taludes verticales de 25 m de altura aproximada), lo cual la hace costosa, fue estudiada dada su incidencia en la recuperación y en la condición de estabilidad de la cantera. La probabilidad de falla descendería en promedio 10%. (Véase la **Tabla 6.1**).

6.1.2 VULNERABILIDAD FUTURA

Si bien la mayor parte de las obras planteadas al inicio del capítulo no tienen amplia repercusión en el nivel de amenaza, su mayor importancia radica en la regulación (reducción) de las áreas de exposición, pues intervienen directamente en el control de la distancia de viaje de las masas potencialmente inestables, o restringen la ubicación de nuevos elementos en zona de riesgo y reducen el número de personas en las zonas de exposición de los fenómenos. En este sentido, se plantea la construcción de una zanja de depositación acompañada de una malla de contención para los bloques móviles y barreras vivas; o la colocación de un muro de gaviones en el perímetro de explotación.

La ubicación de las barreras en el frente de explotación, se formuló de manera tal que el índice de exposición teórico alcanzará su mínima expresión. Este ejercicio se realizó con la ayuda del programa Tumble posicionando las barreras y las mallas a diferentes distancias.

En lo que atañe al perfilado, como el control de la caída de bloques no sufrió grandes modificaciones, en comparación con los otros fenómenos (fallas planar y rotacional), los escenarios de exposición y por ende los índices de vulnerabilidad para los agentes móviles presentados en el capítulo 5 y en los **Mapas 15** y **16**, se consideran válidos. Esta apreciación irremediablemente condiciona el tratamiento del sector a las dos alternativas expuestas. La selección de la mejor alternativa queda entonces pendiente para el siguiente numeral donde se estudia la relación beneficio-costo.

6.1.3 MODELO DE DECISIÓN DE RIESGO

La implementación de un modelo de decisión probabilístico, permite al diseñador seleccionar entre múltiples alternativas de solución, sin caer en un marco subjetivo, donde predomine el juicio del experto. Dichos modelos están basados en un análisis comparativo entre el nivel de riesgo alcanzado por una medida de mitigación y el costo esperado en pesos para la misma.

Tal vez uno de los procedimientos de análisis de decisión más claros y simples es el conocido como "Árboles de decisión hipotéticos". Con el fin de adelantar este tipo de análisis se adoptó como definición de riesgo la propuesta por Wu et al (1996), la cual estipula:

$$R = Pf * Cf$$

Donde:
R: Riesgo asumido
Pf: Amenaza o probabilidad de falla de un talud y,
Cf: Consecuencia o costo de falla

TABLA 6.1

RESULTADOS DE PROBABILIDAD DE FALLA CON LAS ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN

SECCIÓN	FALLA ROTACIONAL		FALLA PLANAR		CAIDA DE BLOQUES		PARAMETROS DE RESISTENCIA		
	F.S	Pf	F.S	Pf	F.S	Pf	C' (Ton/m2)	Φ' (º)	OBSERVACIONES
B-B (h=5 m.)			2.25	0.15			0.5	28	Discontinuidad arenisca
B-B (h=7,8 m.)			1.26	0.28					
C-C	2.61	0					6	25	Parámetros del cuaternario
D-D1 (h=5m)			1.17	0.35	1.05	0.45	1.25	18	Parámetros residuales de la estratificación en arcillolita
D-D2 (h=8m)			1.62	1.21					
E-E	2.84	0					5.5	17.5	Parámetros promedio de la estratificación en arcillolita
F-F			1.46	0.22			0.5	28	Parámetros promedio de la discontinuidad en arenisca

C:\Consultoría\Casaloma\Geotecnia\Medidas de control\Pf alternativas mitigación.xls

Para el caso en estudio, la evaluación de probabilidad de falla, para cada tipo de fenómeno y solicitación, se encuentra compilado en el numeral 6.1.1. Por su parte, el costo de falla, se consideró como:

$Cf = I.V.F. * Co$

Donde:
I.V.F.: Índice de vulnerabilidad física de la unidad expuesta
Co: Valor inicial del elemento expuesto

El costo inicial corresponde al valor de inversión actual de la obra, pues no existen otros elementos físicos, viviendas y líneas vitales, que puedan incorporarse en el análisis. El índice de vulnerabilidad para cualquier circunstancia y dado el papel a desempeñar de las estructuras, será equivalente a 0.50. No se desprecia que la anterior condición puede resultar muy conservadora.

Así, las pérdidas potenciales para las alternativas de elusión; malla de retención y zanja de acumulación, y perfilado con drenaje superficial, en caso de deslizamiento, para un modelo de falla progresivo no simultáneo que semeje patrones de inversión inicial sin mantenimiento, son iguales al presupuesto de la alternativa en estudio. La **Tabla 6.2 a 6.4** y las **Figuras 6.1** y **6.2** exhiben las cantidades de obra, los precios unitarios y el presupuesto estimado de las medidas planteadas.

La **Figura 6.3** presenta el árbol de decisión obtenido tomando en consideración exclusivamente las unidades físicas (viviendas y vías). De ella se puede afirmar que la alternativa que involucra los menores costos de inversión, es convivir con el problema. Esta medida posee como contrapeso la desatención social a la que somete a sus pobladores, pues podría repercutir en que no se ejecute plan alguno de recuperación e inhibir que cualquiera o todas las instituciones distritales considere poco viable ejecutar planes de inversión social. Además, no considera en absoluto el riesgo asumido para elemento móvil alguno, puesto que la cuantificación de los perjuicios que ellos puedan sufrir es altamente incierta. En este sentido es importante, dado que los resultados de la evaluación de amenaza y vulnerabilidad se encuentran en la categoría superior se espera para cualquier componente móvil (personas, animales etc) un alto costo de pérdida esperado, por lo tanto toda medida tendiente a su protección está plenamente justificada, razón que sopesa el rechazo a la propuesta de convivir con el problema.

Los riesgos asumidos de la obras civiles: zanja con malla interceptora, muro de gaviones y perfilado con drenaje, aunque no son equiparables entre sí, evidencian en el caso de las dos primeras un patrón más permisivo para el deterioro físico, y una diferencia de inversión entre éstas y el perfilado poco importante si se tiene en cuenta la relación beneficio-costo. Por lo cual y con el fin de evitar mayores traumas sociales, y de garantizar la vida y honra de los habitantes del barrio, se definirá una franja de aislamiento gracias a la construcción de un cinturón de cierre perimetral en el frente de explotación con un muro de gaviones. Sin embargo, esta solución debe ser acompañada taxativamente de la restricción de los frentes de urbanismo allí.

De igual manera, no se descarta, si se quiere lograr una buena relación de comportamiento de las laderas y un contexto urbanístico más agradable, llevar a cabo la reconformación general de la zona con perfilado y drenaje.

TABLA 6.2

CANTIDADES DE OBRA DE LAS MEDIDAS DE CONTROL

SecciónA - A´					Sección B - B´					Sección 1 - 1´					Sección C-C'					Sección 2 - 2'					Sección D-D´					Sección 3 - 3'					Sección E-E´					Sección F-F´				
Elev. (msnm)	Abs. 0 (m)	Area 0 (m^2)	Abs. 1 (m)	Area 1 (m2)	Elev. (msnm)	Abs. 0 (m)	Area 0 (m^2)	Abs. 1 (m)	Area 1 (m2)	Elev. (msnm)	Abs. 0 (m)	Area 0 (m^2)	Abs. 1 (m)	Area 1 (m2)	Elev. (msnm)	Abs. 0 (m)	Area 0 (m^2)	Abs. 1 (m)	Area 1 (m2)	Elev. (msnm)	Abs. 0 (m)	Area 0 (m^2)	Abs. 1 (m)	Area 1 (m2)	Elev. (msnm)	Abs. 0 (m)	Area 0 (m^2)	Abs. 1 (m)	Area 1 (m2)	Elev. (msnm)	Abs. 0 (m)	Area 0 (m^2)	Abs. 1 (m)	Area 1 (m2)	Elev. (msnm)	Abs. 0 (m)	Area 0 (m^2)	Abs. 1 (m)	Area 1 (m2)	Elev. (msnm)	Abs. 0 (m)	Area 0 (m^2)	Abs. 1 (m)	Area 1 (m2)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	9	4.5	9	4.5	1	15	7.5	15	7.5	1	2.2	1.1	2.2	1.1	1	6.3	3.15	6.3	3.15	1	1.7	0.85	1.7	0.85	1	2.5	1.25	2.5	1.25	1	1.5	0.75	1.5	0.75	1	5.5	2.75	5.5	2.75	1	1.5	0.75	1.5	0.75
2	10.3	1.95	10.3	1.95	2	15.5	0.75	15.5	0.75	2	4	2.7	4	2.7	2	10.6	6.45	10.6	6.45	2	3.3	2.4	3.3	2.4	2	4.6	3.15	4.6	3.15	2	3.5	3.5	3.5	3.5	2	7.5	3	7.5	3	2	3	2.25	3	2.25
3	10.5	0.5	11.3	2.5	3	16	1.25	16.2	1.75	3	5.2	3	5.2	3	3	12.6	5	12.6	5	3	5	4.25	5	4.25	3	6.2	4	6.2	4	2	3.5	3	6.5	7.5	3	9	3.75	9	3.75	3	4.5	3.75	4.5	3.75
4	10.7	0.7	11.8	1.75	4	16.3	1.05	16.7	1.75	4	6.3	3.85	6.3	3.85	4	14.4	6.3	14.4	6.3	4	6.5	5.25	6.5	5.25	4	7.8	5.6	7.8	5.6	3	5	3.75	7	1.25	4	10.5	5.25	10.5	5.25	4	7.5	10.5	7.5	10.5
5	10.9	0.9	12.3	2.25	5	16.6	1.35	17.2	2.25	5	7.3	4.5	7.3	4.5	5	16	7.2	16	7.2	5	8.2	7.65	8.2	7.65	5	9.5	7.65	9.5	7.65	4	5.8	2.8	7.5	1.75	5	11.7	5.4	11.7	5.4	5	9.5	9	9.5	9
6	11.1	1.1	12.8	2.75	6	16.8	1.1	17.7	2.75	6	8.1	4.4	8.1	4.4	6	17.7	9.35	17.7	9.35	6	9.6	7.7	10.5	12.65	6	11.1	8.8	11.1	8.8	5	7.2	6.3	8	2.25	6	13.2	8.25	13.2	8.25	6	10.5	5.5	10.5	5.5
7	11.6	3.25	13.3	3.25	7	17.2	2.6	18.2	3.25	7	8.7	3.9	8.7	3.9	7	19.2	9.75	19.2	9.75	7	10.5	5.85	11	3.25	7	12.9	11.7	12.9	11.7	6	8.3	6.05	8.5	2.75	7	14.5	8.45	14.5	8.45	7	11.6	7.15	11.6	7.15
8	14.5	21.75	14.5	9	8	17.5	2.25	18.7	3.75	8	9	2.25	9.2	3.75	8	20.8	12	20.8	12	8	10.8	2.25	11.5	3.75	8	14.4	11.25	14.4	11.25	7	9	4.55	9	3.25	8	15.6	8.25	15.6	8.25	8	12.7	8.25	12.7	8.25
9	17.5	25.5	17.5	25.5	9	18.5	8.5	19.2	4.25	9	9.2	1.7	9.7	4.25	9	21.5	5.95	21.5	5.95	9	11.6	6.8	12	4.25	9	15.6	10.2	15.6	10.2	8	9.5	3.75	9.5	3.75	9	17.6	17	17.6	17	9	13.8	9.35	13.8	9.35
					10	22	33.25	22	26.6	10	9.4	1.9	10.2	4.75	10	22	4.75	22	4.75	10	11.9	2.85	12.5	4.75	10	18	22.8	18	22.8	9	10	4.25	10	4.25	10	18.5	8.55	18.5	8.55	10	15	11.4	15	11.4
					10	25.5	35	25.5	35	11	10	6.3	10.7	5.25	11	22.5	5.25	22.5	5.25	11	12.1	2.1	13	5.25	11	19	10.5	19	10.5	10	10.3	2.85	10.5	4.75	11	19.5	10.5	19.5	10.5	11	16.4	14.7	16.4	14.7
					9	31	52.25	31	52.25	12	12.5	28.75	12.5	20.7	12	23	5.75	23.5	11.5	12	12.2	1.15	13.5	5.75	12	19.5	5.75	19.5	5.75	11	10.6	3.15	11	5.25	12	20.4	10.35	20.4	10.35	12	17.6	13.8	17.6	13.8
					8	31.4	3.4	31.4	3.4	13	16	43.75	16	43.75	13	23.5	6.25	24	6.25	13	12.4	2.5	14	6.25	13	20	6.25	20	6.25	12	10.9	3.45	11.5	5.75	13	20.9	6.25	20.9	6.25	13	18.8	15	18.8	15
															14	24	6.75	24.5	6.75	14	13.4	13.5	14.5	6.75	14	20.5	6.75	20.5	6.75	13	11.2	3.75	12	6.25	13	20.9	0	27	79.3	14	19.5	9.45	19.5	9.45
															15	24.2	2.9	25	7.25	14	22	120.4	22	105	15	21	7.25	21	7.25	14	12.7	20.25	12.7	9.45	14	22	14.85	27.5	6.75	15	20.4	13.05	20.4	13.05
															16	24.4	3.1	25.5	7.75						15	21	0	24	45	14	14.5	25.2	14.5	25.2	15	24.9	42.05	28	7.25	15	20.4	0	22.5	31.5
															17	24.5	1.65	26	8.25						16	21.3	4.65	24.5	7.75	15	16.6	30.45	16.6	30.45	16	27	32.55	28.5	7.75	16	21	9.3	23	7.75
															18	26.4	33.25	26.5	8.75						17	21.6	4.95	25	8.25						17	28.5	24.75	29	8.25	17	21.6	9.9	23.5	8.25
															18	31.5	91.8	31.5	90						18	21.8	3.5	25.5	8.75						18	29.4	15.75	29.5	8.75	18	22.6	17.5	24	8.75
															17	32.3	14	32.3	14						19	22	3.7	26	9.25						19	30	11.1	30	9.25	19	23.1	9.25	24.5	9.25
															16	32.5	3.3	32.5	3.3						20	22.2	3.9	26.5	9.75						20	30.5	9.75	30.5	9.75	20	23.5	7.8	25	9.75
															14	32.8	4.5	32.8	4.5						21	22.5	6.15	27	10.25						21	31	10.25	31	10.25	20	23.5	0	27.8	56
															12	33.1	3.9	33.1	3.9						22	23.8	27.95	27.5	10.75						22	31.4	8.6	31.5	10.75	21	24.1	12.3	28.3	10.25
															10	33.6	5.5	33.6	5.5						23	27	72	28	11.25						23	31.6	4.5	32	11.25	22	24.5	8.6	28.8	10.75
																									24	28.5	35.25	28.8	18.8						24	32	9.4	32.5	11.75	23	25	11.25	29.3	11.25
																									25	30.5	49	30.5	41.65						25	32.2	4.9	33	12.25	24	25.5	11.75	29.8	11.75
																									26	32.5	51	32.5	51						26	32.5	7.65	33.5	12.75	25	26.5	24.5	30.3	12.25
																									27	34.5	53	34.5	53						27	33	13.25	34	13.25	25	26.8	7.5	32.8	62.5
																									28	36.6	57.75	36.6	57.75						28	33.2	5.5	34.5	13.75	26	27	5.1	33.3	12.75
																									29	39	68.4	39	68.4						29	35.5	65.55	35.5	28.5	27	28	26.5	33.8	13.25
																									30	41.2	64.9	41.2	64.9						30	37.6	61.95	37.6	61.95	28	30	55	34.3	13.75
																									31	43.5	70.15	43.5	70.15						31	40.2	79.3	40.2	79.3	29	34.5	128.3	34.8	14.25
																									32	46	78.75	46	78.75						32	43	88.2	43	88.2	30	36	44.25	36	35.4
																																				33	46	97.5	46	97.5	31	37	30.5	37	30.5
																																				34	51	167.5	51	167.5	32	38	31.5	38	31.5
																																				35	61	345	61	345	33	40.5	81.25	40.5	81.25
																																									34	47	217.8	47	217.8
																																									35	54.5	258.8	54.5	258.8
Total Area sec		60.15		53.45			150.3		145.3			108.1		105.9			257.8		252.9			185.5		178.1			777.9		748.3			127.8		118.1			1218		1199			1142		1093
Area perfilado				6.70					5.00					2.20					4.95					7.45					29.60					9.70					18.85					49.35
Volumen		40.2					76.05					50.4					71.5					49.6					259.4					147.4					114.2					750.2		

Actividad	Unidad	Cantidad
Perfilado	m^3	###
Cuneta de coronación	m	255
Barrera de contención	m	100
Zanja de acumulación	m	100
Excavación manual en	m^3	285
Muro de gaviones	m^3	428

TABLA 6.3

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

CAPITULO	ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	RENDIM.	TARIFA - Vr. UNIT. - JORNAL	Vr. TOTAL
1	1	**EXCAVACION MECANICA EN SUELO**	m^3				
	1.1	Herramienta menor	Tarif./hora		2.5	12	4.80
	1.2	Retroexcavadora	Tarif./hora		8.7	39200	4506
	1.3	Mano de obra - Cuadrilla A-A	Jornal		6.07	70367	11593
		TOTAL					**$16,103.8**
2	2	**EXCAVACIÓN MECÁNICA EN ROCA**	m^3				
	2.1	Herramienta menor	Tarif./hora		2.5	12	5
	2.2	Retroexcavadora	Tarif./hora		8.7	39200	4506
	2.3	Volqueta	Tarif./hora		1.31	8400	6412
	2.4	Transporte material de excavación	Tarif./m3-Km	1		297	297
	2.5	Mano de obra - Cuadrilla A-A	Jornal		20	70367	3518
		TOTAL					**$14738.0**
3	3	**EXCAVACION MANUAL EN SUELO**	m^3				
	3.1	Herramienta menor	Tarif./hora		1	12	12
	3.2	Transporte material de excavación	Tarif./m3-Km	1		297	297
	3.3	Mano de obra - Cuadrilla A-A	Jornal		8	70367	8796
		TOTAL					**$9105.0**
4	4	**CUNETA TRAPEZOIDAL**	m				
	4.1	Herramienta menor	Tarif./hora		1.63	12	7
	4.2	Excavación manual en suelo	m^3	0.324		32091	10397
	4.3	Concreto 2500 p.s.i.	m^3	0.1315		208725	27447
	4.4	Malla tipo gallinero	m^2	1.5		895	1343
	4.5	Mano de obra - Cuadrilla A-A	Jornal		13	70367	5413
		TOTAL					**$44607.0**
5	5	**ZANJA DE ACUMULACIÓN**	m				
	5.1	Herramienta menor	Tarif./hora		0.50	12	24
	5.2	Excavación manual en material común	m^3	3		9105	27315
	5.3	Geomembrana HR-750	m^2	5.6		10392	58195
	5.4	Mano de obra - Cuadrilla A-A	Jornal		4	70367	17592
		TOTAL					**$103126.0**
6	6	**BARRERA EN MALLA ESLABONADA H=2,4**	m				
	6.1	Herramienta menor	Tarif./hora		0.38	12	32
	6.2	Concreto 2500 p.s.i.	m^3	0.09		208725	18785
	6.3	Tubo - acero galvanizado ϕ = 2"	m	1.8		8280	14904
	6.4	Malla eslabonada C.12	m^2	2.40		2803	6727
	6.5	Mano de obra - Cuadrilla A-A	Jornal		3	70367	23456
		TOTAL					**$63904.0**
7	7	**MURO DE GAVIONES**	m^3				
	7.1	Herramienta menor	Tarif/Hora		0.38	12	32
	7.2	Piedra media zonga	m^3	1.1		22183	24401
	7.3	Malla triple torsión	m^2	5		4995	24975
	7.4	Mano de obra - Cuadrilla A-A	Jornal		3	70367	23456
		TOTAL					**$72832.0**
8	8	**SELLADO DE GRIETAS**	Global	1		250000	**$250000.0**
		TOTAL					**$250000.0**
9	9	**EMPRADIZACIÓN**	m^3				
	9.1	Herramienta menor	Tarif/Hora		5	12	2
	9.2	Cespedón	m^2	1.05		1500	1575
	9.3	Mano de obra - Cuadrilla A-A	Jornal		40	70367	1759
		TOTAL					**$3334.0**

C:Consultoría\Casaloma\Geotecnia\Medidas de Control\Precios

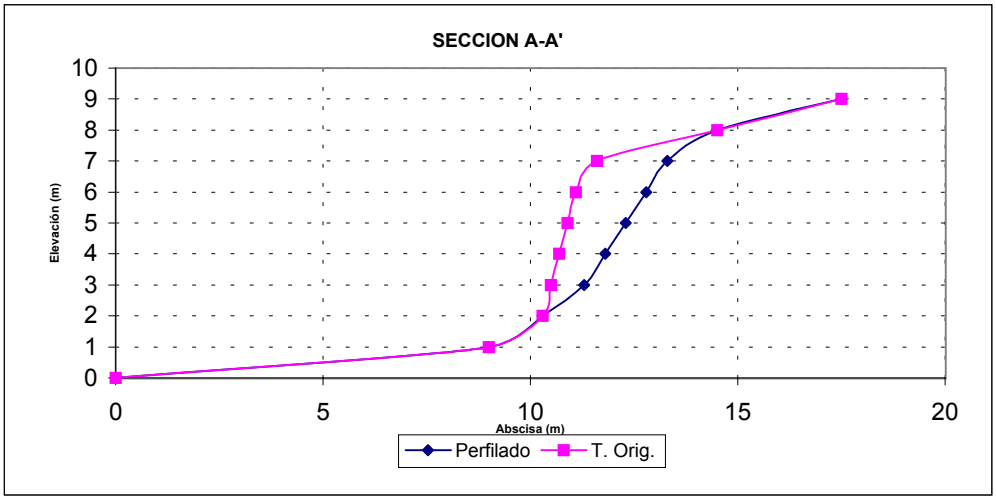
TABLA 6.4

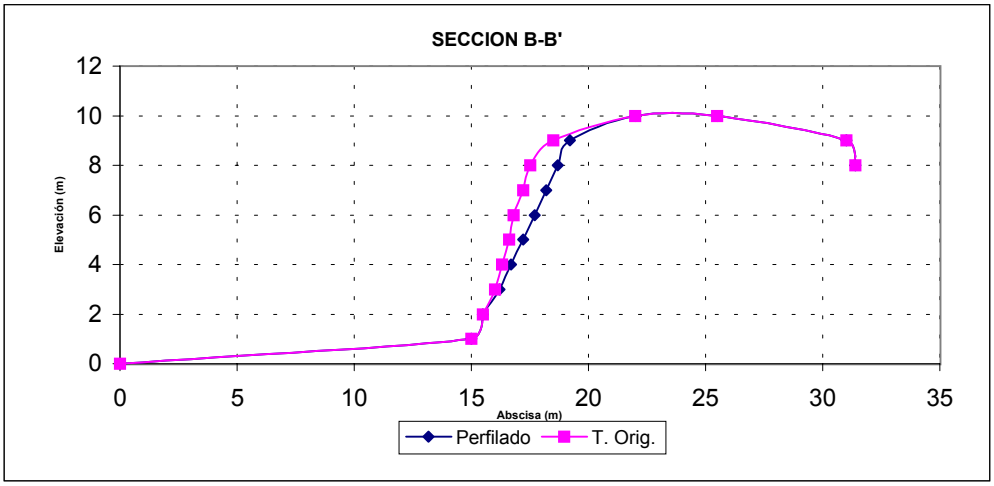
CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO DE LAS ALTERNATIVAS PLANTEADAS

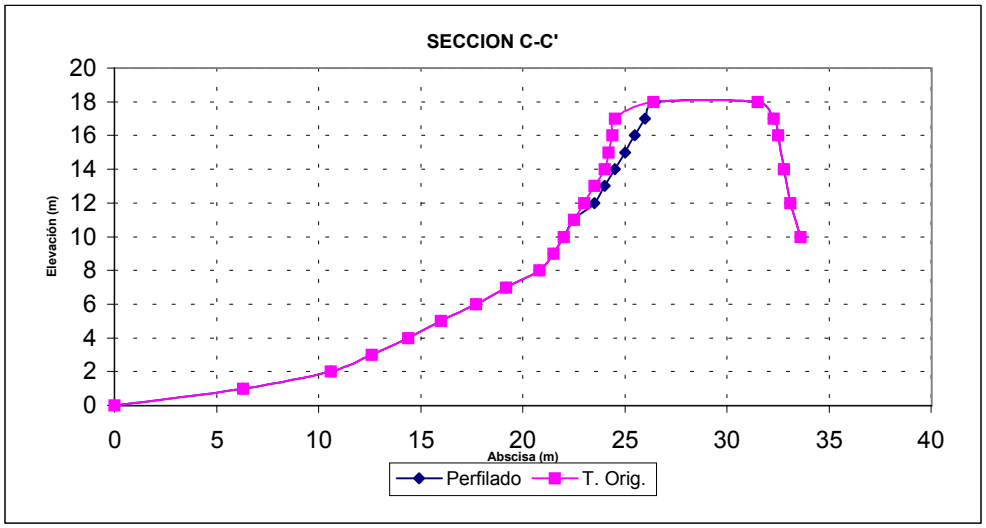
CAPITULO	ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	Vr. UNITARIO	Vr. TOTAL
Alternativa No. 1						
1	1	Perfilado	m^3	1541.2	23,000	35,447,600
2	2	Cuneta de coronación	m	255	44,607	11,374,785
					TOTAL	46,822,385
Alternativa No. 2						
3	3	Barrera de contención	m	99.5	63,904	6,358,448
4	4	Zanja recolectora	m	99.5	103,126	10,261,037
					TOTAL	16,619,485
Alternativa No. 3						
5	5	Excavación manual en suelo	m^3	285	9,105	2,594,925
6	6	Muro de gaviones	m^3	427.5	72,832	31,135,680
					TOTAL	33,730,605

C:\Consultoria\Casaloma\Geotecnia\Medidas de control\Cantidades de obra\Presupuesto

FIGURA 6.1
DIAGRAMA DE PERFILADO DE TALUDES

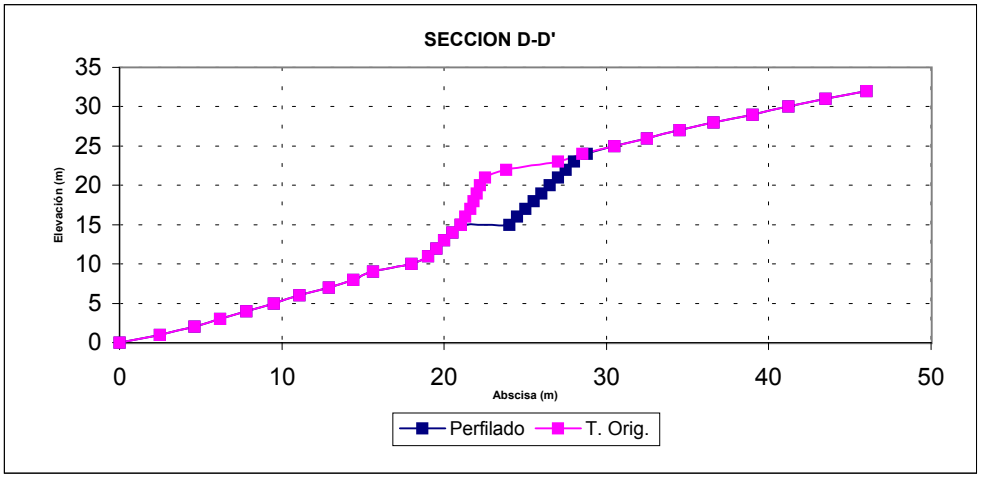


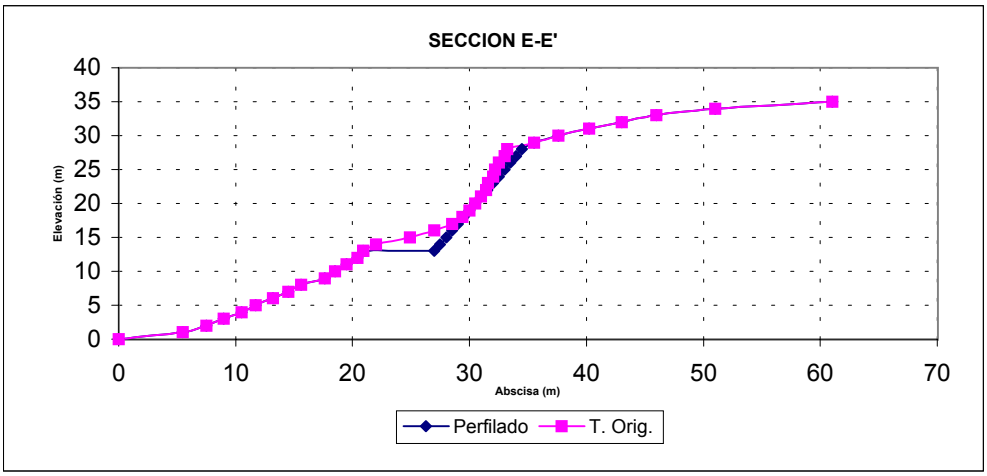


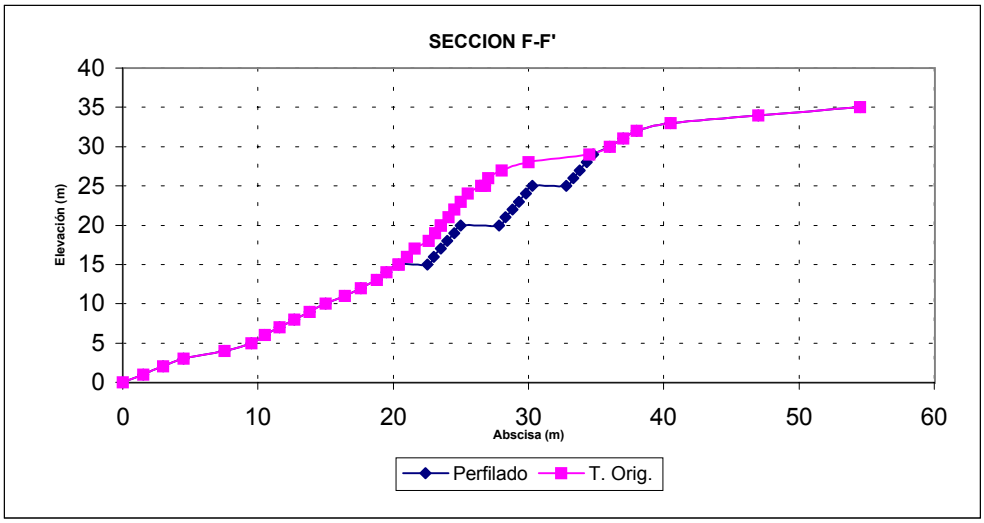


C:Consultoría\Casaloma\Geotecnia\Medidas control\Perfilado

FIGURA 6.2
DIAGRAMA DE PERFILADO DE TALUDES

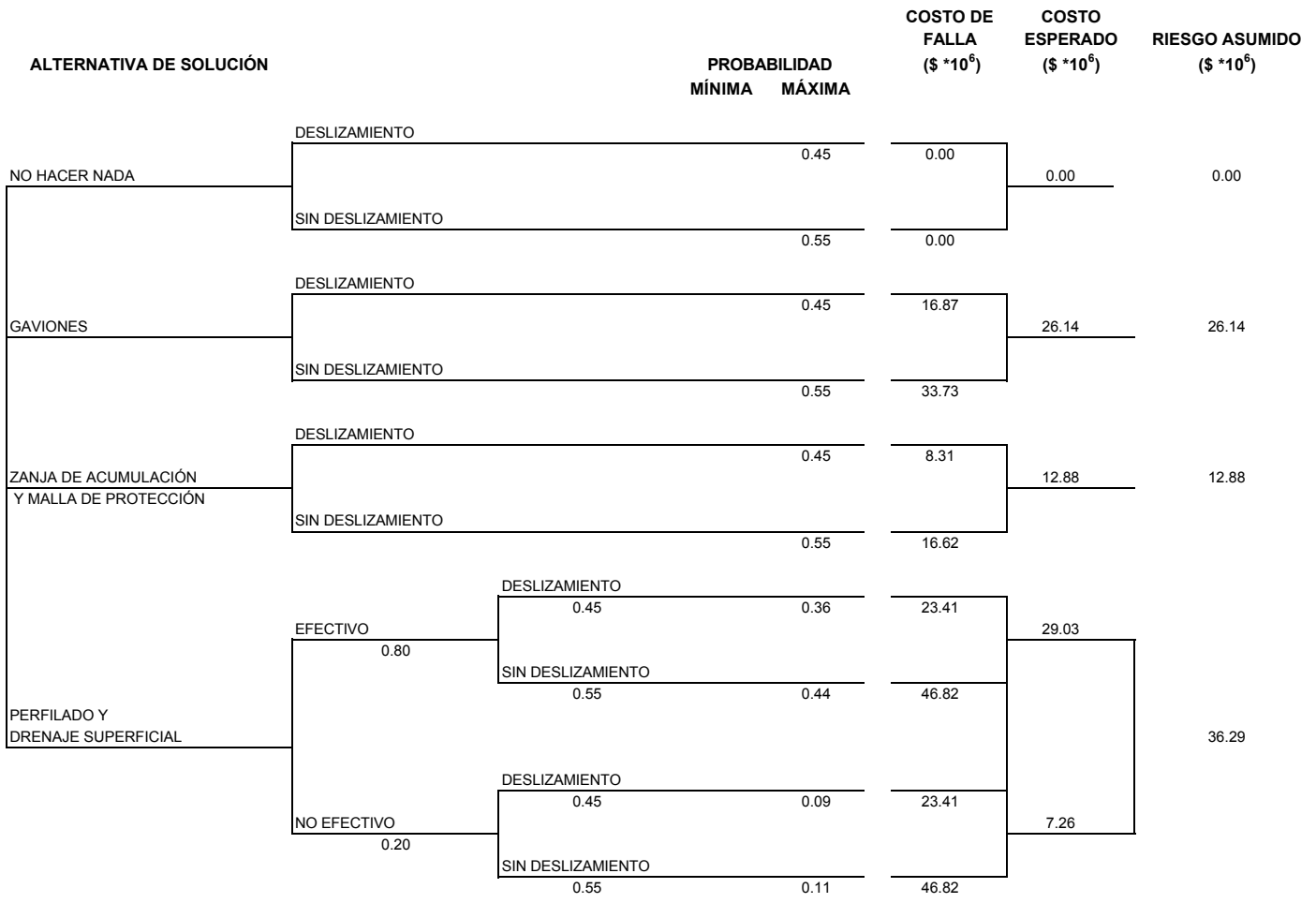






C:Consultoría\Casaloma\Geotecnia\Medidas control\Perfilado

FIGURA 6.3
ÁRBOL DE DECISIÓN PARA MITIGACIÓN DE DESLIZAMIENTOS
BARRIO CASALOMA - PLANTEAMIENTO GENERAL
(ADAPTADO DE WU et al, 1996)



[1] Las obras paisajísticas no se consideran

D:\Consultoria\Casaloma\Informe 4\cap6\6-3 Árbol.xls

6.1.4 PLAN DE ACCIÓN RECOMENDADO

La atención del barrio, bajo un marco global, destinada a la reducción de los escenarios de riesgo de los elementos móviles, sin atender la condición de amenaza, posee tres grandes componentes: la definición de un área de aislamiento con muro de gaviones, el manejo del agua de escorrentía y la regulación del uso del suelo.

Zona de Aislamiento con Muro de Gaviones
Configura un área donde los cuerpos inestables podrían desplazarse sin causar daño a bienes o personas localizadas fuera de ella. De esta manera el muro actúa como barrera interceptora de las masas (reteniéndolas y facilitando su acumulación) y se constituye como frontera de la superficie restringida para personas, animales, viviendas, etc.

Manejo de Agua
Estará integrado por una red de cunetas trapezoidales en concreto, que interceptarán los efluentes en la cresta de los taludes. La red tendrán dos direcciones de evacuación, una hacia el oriente y la otra al noroccidente, su entrega final se realizará a la red de alcantarillado del barrio.

Regulación de Uso
Contempla la intervención específica, entendida como modificación y restricción de uso, de las áreas con destino minero actual y donde tiene lugar el proceso de acumulación de las masas activas (esto es la zona de influencia indirecta, véase Mapa 15), en otras palabras, el cinturón de estudio. En ellas debe impedirse el desarrollo de planes de urbanización y regular su uso exclusivamente para sistemas de recreación pasiva.

6.2 MEDIDAS PREVENTIVAS Y MANEJO GENERAL

La principal medida preventiva consiste en la restricción del uso del suelo que se debe adelantar en las áreas no urbanizadas. La única posibilidad de destino reposa en la recreación pasiva, para ello es perentorio procurar una importante inversión en obras paisajísticas y de urbanismo, que puedan involucrarse con la puesta de marcha de diversos proyectos donde los actores van desde entidades distritales y locales, hasta el encuentro con la comunidad misma.

El plan de obras tiene como objetivos permitir la consolidación ordenada del barrio, mejorar la calidad de vida de los habitantes y reducir el potencial de amenaza. Los proyectos que lo integran son:

- Perfilado y Empradización de Taludes: Cobija el retiro parcial o total de los cuerpos inestables y la reestructuración del modelo geométrico del frente de explotación, con el doble propósito de mejorar las condiciones de estabilidad y controlar la degradación. Los taludes se podrán redefinir en su totalidad con pendiente 1.0H:2.0V (Figuras 6.1 y 6.2), y parcialmente se configurarán con terraceo en las principales masas móviles, zonas homogéneas LAFME y LARE, con el fin de retirar peso en la cabeza de los mismos o modificar las condiciones cinemáticas de falla.

El deterioro del manto superior y la reducción de los procesos de erosión serán controlados con la empradización de las superficies terminadas. La cubierta vegetal se planteará mediante en el sembrado de especies tipo herbáceo de buena cobertura y rápido desarrollo sobre los materiales areno arcillosos de las laderas, de tal forma que se contrarreste el efecto del agua lluvia sobre la superficie expuesta. Las especies recomendadas corresponden a Cespedón, Kikuyo, Falsa poa y Retamo, cuya implementación tiene un costo aproximado de $ 6875 por metro cuadrado y su procedimiento de siembra se describe en el anexo de especificaciones técnicas.

Otra opción corresponde al establecimiento de la técnica de los Biomantos transversales dispuestos en forma de fajinas, utilizando especies de Mora, Lupino, Zarzamora y Chilco, las cuales deben ser manejadas para su propagación, realizando un mejoramiento previo del suelo tal como se indica en las especificaciones técnicas. El costo de implementación de este tipo de técnica es de $17.373 por metro cuadrado.

Adicionalmente, se requiere la siembra de especies arbóreas y arbustivas como el Aliso, Mermelada, Saúco, Falso Pimiento, Chicala y Cerezo, los cuales contribuyen no solo al embellecimiento visual y paisajístico del sector, sino al mejoramiento de la estabilidad del terreno. Con estas especies además se logra la interceptación del agua lluvia con su copa y el mejoramiento de la infiltración en el suelo por el crecimiento radicular de sus raíces. La implementación de la alternativa tiene un valor de $1.750 por árbol, sin tener en cuenta el valor del individuo a plantar, el cual oscila entre $1.500 y $3.000.

- Obras de urbanismo: Encierran la estructuración, mejoramiento y mantenimiento de las redes vial y peatonal, la construcción de sistemas de alcantarillado pluvial y sanitario.

- Educación social: Pretende primero concientizar a la comunidad sobre el significado de los fenómenos de remoción en masa y sus implicaciones, demarcar el nivel de riesgo actual de la población, y proponer talleres que ilustren cómo atender un desastre. Estas campañas educativas deberán conducir a los habitantes a organizarse para conformar sistemas de alarma y alerta y establecer planes de contingencia en caso de una emergencia.

- Recuperación y preservación: Involucra la participación multiinstitucional y de la colectividad con el fin de mantener las obras de control y mitigación a ejecutar y recuperar ambientalmente la zona a partir de la implementación de campañas de arborización y embellecimiento del barrio.

- Algunos de los proyectos, como es el caso de la construcción del sistema de alcantarillado pluvial y la rectificación y pavimentación vial (Calles 75G, 62BIS y Carrera 72G), si bien tienen, o pueden tener, responsable directo y posible asignación presupuestal se desconoce el momento de la puesta en marcha. Además el costo de los programas sociales se ignora y su cuantificación está fuera del alcance del presente estudio.

CAPITULO 7

DISEÑO DETALLADO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

7. DISEÑO DETALLADO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

Como parte de las conclusiones obtenidas de los capítulos 4 y 5 y de los planteamientos y medidas formulados en el capítulo 6, se llevó a cabo la selección de obras para la mitigación del riesgo de los elementos móviles dado que no existen viviendas en zonas de exposición.

Las obras sugeridas cumplirán una doble función: a) reducir el potencial de erosión y obviamente el papel del agua como agente detonador de eventos y b) acordonar un sector en donde podrían desarrollarse, sin consecuencias para las actuales viviendas, los fenómenos y en el cual deben restringirse el paso de transeúntes (o cualquier elemento móvil) y la construcción de cualquier unidad habitacional. En este sentido se diseñaron las obras que se describen a continuación.

7.1. OBRAS DE MITIGACIÓN

Muro de Gaviones:

Cubre los costados noroccidental y sur del frente de explotación. El primero con 34 m de longitud en 4 y 5 niveles cimentado en las cotas 2619 y 2620, respectivamente y el segundo, de 65 m con 4 niveles fundado a 2622 msnm.

Las secciones 1-1´ a 4-4´, utilizadas tanto para el análisis de estabilidad como para el cálculo de las cantidades de obra de corte y relleno, se incluyen en el **Mapa 18** y los **Planos 19A, 19B-1 y 19B-2** y en las **Figuras 7.1** y **7.2**. En éstas se observa que la distancia de viaje de las masas potencialmente inestables quedaría restringida por el muro, lo que implica disminución de las zonas de exposición. El área demarcada entre el pie del talud y el muro de gaviones se constituye así en lugar prohibido de tránsito o permanencia para cualquier elemento.

Drenaje superficial:

Un conjunto de descoles longitudinales (248.3 ml), alimentados por cunetas triangulares (215.8 ml) localizadas transversalmente en el talud, captará el agua de escorrentía que induce procesos de inestabilidad actualmente. La entrega de estos descoles se llevará a cabo mediante cunetas trapezoidales (25 ml) al sistema de alcantarillado del barrio.

Sellado de grietas:

Contempla la colocación de materiales arcillosos en las grietas d e tracción de los taludes D-D’ y F-F’ (zona homogénea LAFME) y protección con una lechada de concreto de 0.05 metros de espesor en la superficie, con el fin de minimizar el proceso de infiltración de agua a través de estas, el cual aumenta la inestabilidad del terreno.

La distribución espacial de la red de drenaje y demás diseños, se ilustra en el Mapa 18, los detalles en los Planos 19A, 19B-1 y 19B-2 y el cuadro de drenajes correspondiente en la **Tabla 7.1**.

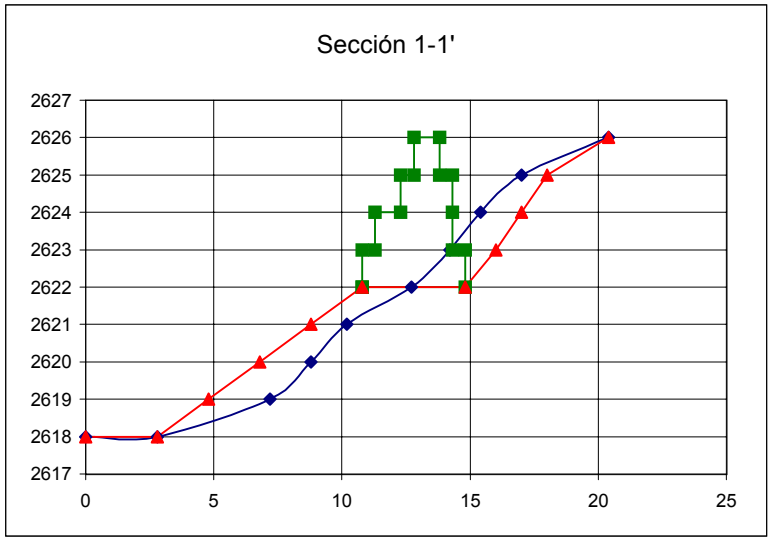
FIGURA 7.1
CÁLCULO DE LOS VOLÚMENES DE EXCAVACIÓN Y CORTE - COSTADO NOROCCIDENTAL

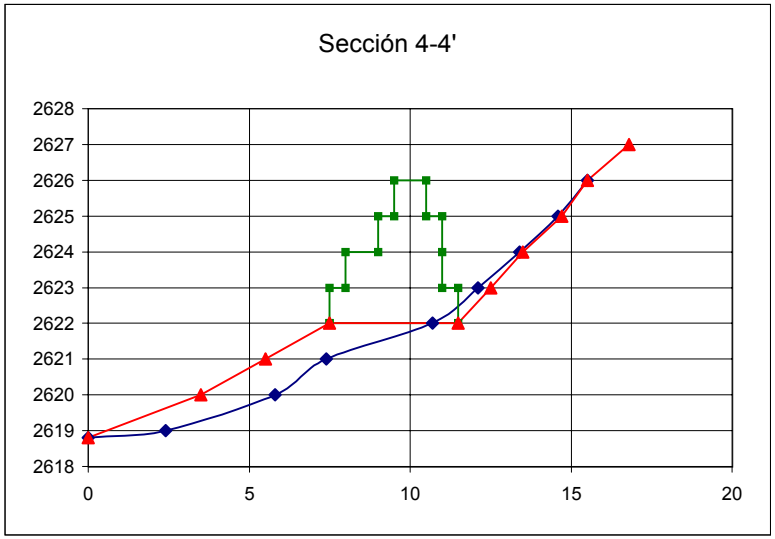
VOLUMEN POR CORTE

Secciones	Área (m^2)	Distancia (m)	Volumen (m^3)
	0.00		
		32	87.20
1-1'	5.45		
		27	87.21
4-4'	1.01		
		15	7.57
	0.00		
Volumen Total (m^3)			181.99

VOLUMEN POR RELLENO

Secciones	Área (m^2)	Distancia (m)	Volumen (m^3)
	0.00		
		32	108.00
1-1'	6.75		
		24.5	167.09
4-4'	6.89		
		7	24.12
	0.00		
Volumen Total (m^3)			299.21





D:\Consultoria\Casaloma\Informe 5\Cap7\Figuras\7.1-7.2GAVION.xls

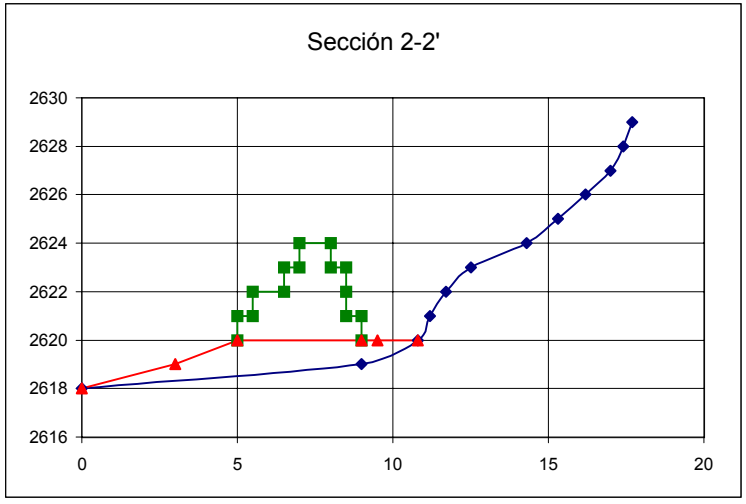
FIGURA 7.2
CÁLCULO DE LOS VOLÚMENES DE EXCAVACIÓN Y CORTE - COSTADO SUR

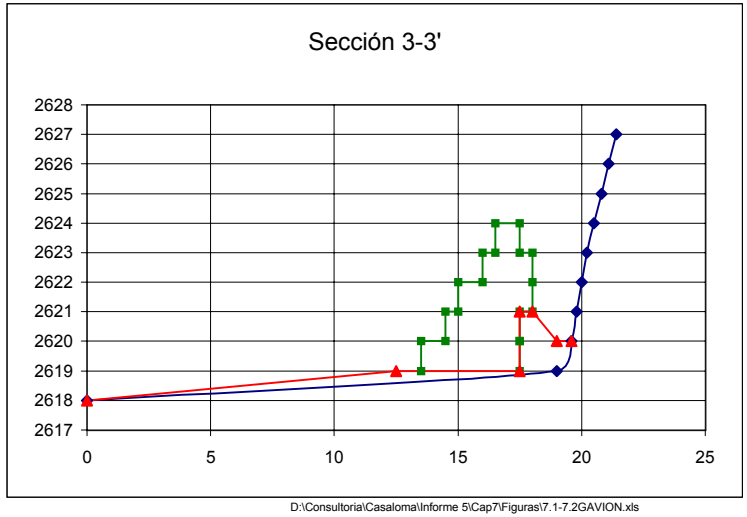
VOLUMEN POR CORTE

Secciones	Área (m^2)	Distancia (m)	Volumen (m^3)
	0.00		
		32	0.00
2-2'	0.00		
		27	0.00
3-3'	0.00		
		15	0.00
	0.00		
Volumen Total (m^3)			0.00

VOLUMEN POR RELLENO

Secciones	Área (m^2)	Distancia (m)	Volumen (m^3)
	0.00		
		9.35	41.61
2-2'	8.90		
		11.9	88.95
3-3'	6.05		
		7.3	22.08
	0.00		
Volumen Total (m^3)			152.64





D:\Consultoria\Casaloma\Informe 5\Cap7\Figuras\7.1-7.2GAVION.xls

TABLA 7.1

CUADRO DE DRENAJES

Punto	Cota rasante (msnm)	Cota fondo (msnm)	Altura (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Estructura - Tipo
1	2648.00	2647.85	0.15			
				54.40	Terreno	Descole escalonado
2	2618.00	2617.85	0.15			
						Caja direccional 1
3	2618.00	2616.76	1.24			
				1.80	Terreno	Descole escalonado
4	2616.00	2615.85	0.15			
						Caja direccional 2
4A	2616.00	2615.85	0.15			
				25.00	Terreno	Cuneta trapezoidal
5	2615.00	2615.00	0.00			
6	2649.00	2648.85	0.15			
				27.00	Terreno	Descole escalonado
7	2628.50	2628.35	0.15			
8	2645.50	2645.40	0.10			
				17.40	0.3	Cuneta triangular
9	2645.50	2645.34	0.16			
10	2645.50	2645.40	0.10			
				14.30	0.3	Cuneta triangular
11	2645.50	2645.35	0.15			
12	2635.50	2635.40	0.10			
				22.50	0.3	Cuneta triangular
13	2635.50	2635.33	0.17			
14	2635.50	2635.40	0.10			
				10.00	0.3	Cuneta triangular
15	2635.50	2635.37	0.13			
16	2626.50	2626.40	0.10			
				21.70	0.3	Cuneta triangular
17	2626.50	2626.33	0.17			
18	2626.50	2626.40	0.10			
				15.00	0.3	Cuneta triangular
19	2626.50	2626.35	0.15			
20	2630.50	2630.40	0.10			
				30.00	0.3	Cuneta triangular
21	2630.50	2630.31	0.19			
22	2626.50	2626.40	0.10			
				38.60	0.3	Cuneta triangular
23	2626.50	2626.28	0.22			
24	2618.00	2617.90	0.10			
				19.50	0.3	Cuneta triangular
25	2618.00	2617.84	0.16			
26	2650.00	2649.85	0.15			
				44.40	Terreno	Descole escalonado
27	2618.00	2617.85	0.15			
						Caja direccional 3
28	2618.00	2617.84	0.16			
				26.80	Terreno	Cuneta triangular
29	2618.00	2617.76	0.24			
29A	2649.00	2648.85	0.15			
				12.00	Terreno	Descole escalonado
30	2638.70	2638.55	0.15			
31	2651.00	2650.85	0.15			
				108.70	Terreno	Descole escalonado
32	2621.00	2621.00	0.00			

El tratamiento de la zona homogénea LNMD se limita a la conservación del ambiente actual, salvo en la periferia sur de la vivienda 15 manzana B, donde se propone la limpieza del talud aledaño a esta residencia y la empradización de su superficie, con el fin de reducir el avance de los procesos erosivos originados por el accionar de las fugas del sistema de conducción casera de las aguas blancas (mangueras).

Esta decisión esta sustentada en la buena cobertura vegetal que tiene dicha área, en la ausencia de procesos erosivos, en la baja probabilidad de falla de la ladera y en el escaso aporte de las aguas lluvias provenientes de la calle 62 H Bis, dado que los taludes de corte de la vía impiden el acceso directo y rápido de estas. Se recomienda además, el manejo adecuado de las aguas transportadas por las mangueras (señaladas en el plano 18), que son las responsables del deterioro de las franjas descubiertas de la ladera.

7.2 OBRAS DE PLANTEAMIENTO PAISAJISTICO

Complementario a las obras de mitigación se proponen una serie de medidas tendientes al mejoramiento físico y paisajístico del sector, las cuales se muestran en el **Mapa 20** y se describen a continuación:

- **Reconformación Morfológica**

Debe realizarse un perfilado del terreno que involucre el retiro parcial o total de las masas inestables y la construcción de un modelo geométrico del frente de explotación con bermas y taludes de pendiente 1.0H:2.0V.

- **Arborización**

Consiste en la implementación de vegetación arbórea de porte medio a alto localizada en la parte anterior del muro en gavión propuesto, la cual tendrá como finalidades: el embellecimiento paisajístico, el aislamiento y seguridad del sector y la protección de la zona contra intervenciones urbanísticas ilegales.

Las especies propuestas en el diseño, para esta zona de amortiguación corresponden a especies arbóreas de Acacia, Dividivi, Higuerilla, Alcaparro, Sauco, Borrachero y Chilco, adicionalmente, se podrán establecer especies arbustivas y herbáceas de Fique o Motua, Cactus, Ciro, Zarzamora, Mirtos y Retamos, que serán sembradas de acuerdo con las indicaciones dadas en las especificaciones técnicas.

- **Empradización y protección de taludes**

Se refiere al cubrimiento con cespedones de pasto kikuyo (***Penisetum clandestinum***), de las superficies de terreno que no puedan ser arborizadas, el fin principal de la empradización es el ornato y la protección del suelo contra los fenómenos erosivos que actúan en las zonas de ladera y taludes pronunciados.

Como medida alternativa puede implementarse el biomanto con especies de tipo herbáceo y arbustivo de bajo porte, pero de raíz profunda y de alto aporte orgánico en la conformación de una "piel" al suelo, constituida por enredaderas y gramíneas de tipo pionero (Carretón, Visia, Mora, Lupino, Chilco y Gurrubo, entre otras). Las especificaciones del anexo H, describen el procedimiento adecuado para este tipo de obras.

7.3 PRESUPUESTO

Con base en los precios unitarios registrados en la **Tabla 7.2**, se estimó el presupuesto de las obras que alcanza un monto de $113´546.984._{10}$ pesos, incluidos IVA y Utilidad (**Tabla 7.3**). Las especificaciones técnicas se presentan en el **Anexo H**.

TABLA 7.2
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

CAPITULO	ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	RENDIM.	TARIFA - Vr. UNIT. - JORNAL	Vr. TOTAL
		PRELIMINARES					
1	1	**REPLANTEO**					
		Replanteo y Control Topográfico	Global	1		2400000	2400000
		TOTAL					**$ 2,400,000**
		EXCAVACIONES Y RELLENOS					
2	2	**EXCAVACION MECANICA EN SUELO**	m^3				
	2.1	Herramienta menor	Tarif./hora		2.5	12	5
	2.2	Retroexcavadora	Tarif./hora		8.7	39200	4506
	2.3	Mano de obra - Cuadrilla A-A	Jornal		6.07	70367	11593
		TOTAL					**$16104.0**
3	3	**RELLENO (Material seleccionado de la excavación)**	m^3				
	3.1	Herramienta menor	Tarif/Hora		6.25	12	2
	3.2	Compactador	Tarif/Hora		9.05	34904	3857
	3.3	Mano de obra - Cuadrilla A-A	Jornal		50	70367	1407
							$5264.0
		OBRAS DE DRENAJE					
4	4	**CUNETA TRIANGULAR b=0.5 m. h = .15**	m				
	4.1	Herramienta menor	Tarif./hora		2.00	12	6
	4.2	Excavación manual en suelo	m^3	0.095		9105	865
	4.3	Concreto 2500 p.s.i.	m^3	0.0575		208725	12002
	4.4	Malla tipo gallinero	m^2	0.6		895	537
	4.5	Mano de obra - Cuadrilla A-A	Jornal		10	70367	7037
		TOTAL					**$20447.0**
5	5	**CUNETA TRAPEZOIDAL B=0.65m. b=0.3m h=0.3**	m				
	5.1	Herramienta menor	Tarif./hora		1.00	12	12
	5.2	Excavación manual en suelo	m^3	0.1425		9105	1297
	5.3	Concreto 2500 p.s.i.	m^3	0.0795		208725	16594
	5.4	Malla tipo gallinero	m^2	0.71		895	635
	5.5	Mano de obra - Cuadrilla A-A	Jornal		8	70367	8796
		TOTAL					**$27334.0**
6	6	**CAJA DIRECCIONAL h=0.5 0.6 x 0.8 m.**	m				
	6.1	Herramienta menor	Tarif./hora		2.00	12	6
	6.2	Excavación manual en suelo	m^3	0.24		9105	2185
	6.3	Concreto 2500 p.s.i.	m^3	0.14		208725	29222
	6.4	Malla Electrosoldada	m^2	1.15		4900	5635
	6.5	Mano de obra - Cuadrilla A-A	Jornal		3	70367	23456
		TOTAL					**$60504.0**
7	7	**DESCOLE ESCALONADO**	m				
	7.1	Herramienta menor	Tarif./hora		1.25	12	10
	7.2	Excavación en material común	m^3	0.51		9105	4644
	7.3	Concreto 2500 p.s.i.		0.319		208725	66583
	7.4	Malla electrosoldada	m^2	1.6192		4900	7934
	7.5	Mano de obra - Cuadrilla A-A	Jornal		10	70367	7037
							$86208.0
		CONTROL DE CAIDA DE BLOQUES					
8	8	**MURO DE GAVIONES 2 x 1 x 1 m.**	m^3				
	8.1	Herramienta menor	Tarif/Hora		0.38	12	32
	8.2	Piedra media zonga	m^3	1.1		22183	24401
	8.3	Malla triple torsión	m^2	5		4995	24975
	8.4	Mano de obra - Cuadrilla A-A	Jornal		3	70367	23456
		TOTAL					**$72832.0**
		SELLADO DE GRIETAS					
9	9	**SELLADO DE GRIETAS**	Global	1		250000.0	250000.0
		TOTAL					**$250,000**

TABLA 7.3
CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO APROXIMADO

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO ($)	VALOR PARCIAL ($)
REPLANTEO	GLOBAL	1	2,400,000.00	2,400,000.00
EXCAVACION MECANICA EN SUELO	M3	182	16,104.00	2,930,928.00
RELLENO (Material seleccionado de la excavación)	M3	453	5,264.00	2,384,592.00
CUNETA TRAPEZOIDAL B=0.65m. b=0.3m h=0.3	M	25	27,334.00	683,350.00
CUNETA TRIANGULAR b=0.5 m. h = .15	M	215.8	20,447.00	4,412,462.60
DESCOLE ESCALONADO	M	248.3	86,208.00	21,405,446.40
CAJA DIRECCIONAL h=0.5 0.6 x 0.8 m.	UN	3	60,504.00	181,512.00
MURO DE GAVIONES 2 x 1 x 1 m.	M3	945	72,832.00	68,826,240.00
			SUBTOTAL ($)	**103,224,531.00**
			UTILIDAD 10 %	**10,322,453.10**
			VALOR TOTAL ($)	**113,546,984.10**

D:\Consultoria\Casaloma\Informe 5\Cap7\Tablas\7.2-7.3PRECIOS ALL.xls

CAPITULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

El objetivo principal del presente estudio consistió en la determinación de los diferentes niveles de riesgo dentro del marco establecido, generados por los problemas de inestabilidad y con base en ello se propuso una serie de medidas tendientes a mitigarlo. Las soluciones tienen como soporte un análisis conjunto de la amenaza, medida en términos de probabilidad de falla y de la vulnerabilidad que representa los daños que sufrirían los elementos físicos en caso de ocurrencia de los eventos.

- Dentro del contexto del estudio se demarcan diversos problemas de estabilidad importantes que fueron analizados y comentados a lo largo del informe, estos problemas son de carácter inducido, es decir, predispuestos o detonados gracias al papel del hombre, cuyo rol transformador se encuentra en las técnicas destructivas de explotación que producen una mayor susceptibilidad de los materiales a fenómenos de remoción en masa, la formulación de cortes verticales pronunciados y con orientaciones desfavorables. En este sentido, los escenarios de riesgo asociados a los eventos amenazantes, se originan por la exposición de elementos móviles.

- Los taludes en condiciones de estabilidad marginal entallan casi la totalidad del frente de explotación (zonas homogéneas LAFME, LARE y LAFE (**Mapa 8**)). Los mecanismos de falla semejan modelos de falla en bloque, deslizamientos traslacionales superficiales y caída de roca, donde los materiales involucrados son: depósitos – friccionantes (Qddf) y arcillolitas ($Tkgmcl_2$) para la primera zona, macizos superficialmente meteorizados y altamente fracturados en la segunda, y rellenos antrópicos y depósitos de detritos para la última.

  De otro lado, para los taludes en los espesos mantos de los depósitos fluvioglacial (Qfg) y de roca triturada (Qdrt) los procesos responden a deslizamiento rotacional y la caída de bloques. Los pies de laderas por su parte, están definidos por cuerpos delgados de detritos sueltos, que descansan en potentes niveles de arcillolita; se consideró que estos depósitos se movilizan bajo patrones de falla traslacional, donde la superficie preferencial de deslizamiento se encuentra en el contacto suelo – roca.

- La condición de estabilidad para los taludes con mecanismos de falla planar con grieta de tracción (secciones B-B', D-D y F-F') para el dominio de los parámetros básicos de la discontinuidad sería aceptable. Ellos permanecerían estables aún para niveles extremos de agua en la grieta de tracción y de la aceleración sísmica. En este sentido sólo podrían esperarse fallas de las laderas, en un modelo de disminución progresiva de los parámetros de resistencia en el plano de deslizamiento y para una posición permanente de la tabla de agua en la superficie del terreno.

  Si se estudia el proceso de caída de rocas (en el depósito), la estabilidad de las unidades líticas es marginal y su recurrencia es permanente. Los factores de seguridad se encuentran cercanos a la

unidad, y su activación se produce para estados secos sin sismo y con pequeños niveles de contacto entre los bloques.

Los depósitos de pie de ladera (Qddf y Qddg) arrojan evidencias de condiciones de falla (F. S. <= 1.3). La activación de las masas podría tener lugar cuando éstos se encuentren parcialmente saturados o bajo la estimulación de cualquier efecto sísmico.

- De los resultados obtenidos, se puede apreciar que la probabilidad de falla de los taludes con mecanismo de falla planar con grieta de tracción, varían desde el 15% hasta el 33%. Esta representa un nivel de amenaza medio a medio alto.

  Los cortes C-C', E-E' y G-G', para la misma combinación de parámetros de los taludes anteriores, pero simulando modelos de falla rotacional, poseen una probabilidad condicional de falla inferior al 15%. Este resultado pone de manifiesto la baja posibilidad de desarrollo de este mecanismo de inestabilidad en el depósito de roca triturada, frente a la caída de rocas, la cual arrojó probabilidades condicionales entre 40% y 50%.

  El análisis de amenaza destaca como principal proceso de remoción en masa la caída de rocas y la alta posibilidad de falla del frente de explotación por este mecanismo. Por esta razón surge como conclusión de la evaluación de amenaza actual, la necesidad de demarcar o definir una zona de aislamiento que permita reducir los niveles de energía de los bloques o servir de recorrido para su desplazamiento. Es decir implementar una serie de medidas de manejo ambiental (paisajísticas) que detengan el crecimiento de la frontera urbana hasta las áreas de exposición.

- Las especiales características de la amenaza actual, oscilantes entre media y alta, dimensionadas por la diversidad y simultaneidad de los procesos de inestabilidad, son el reflejo del poder destructivo del hombre, coadyudado por las particulares condiciones tectónicas y estratigráficas (dominio de materiales arcillosos altamente susceptibles a fenómenos de inestabilidad y erosión) del sector. El tipo de explotación ejecutada, el irregular manejo urbanístico, expresado en la ausencia de sistemas controlados de transporte de agua; son algunas de las componentes de la acción del hombre que repercuten ampliamente en la inestabilidad del área.

- Como el nivel de riesgo actual es tan bajo (por no argumentar nulo), producto del escaso grado de exposición de las viviendas, La decisión de convivir con el problema (no hacer nada) resulta desde ya como la alternativa de menor riesgo esperado (pues es nulo). Por lo tanto, las soluciones tuvieron como única función proteger la vida de las personas y en general cualquier elemento móvil que transite en la zona.

- La complejidad inherente a la naturaleza actual de la amenaza y el particular contexto de los elementos en riesgo (exclusivo a las unidades móviles) dejan al descubierto un panorama poco factible de encarar la totalidad de los fenómenos de remoción en masa a un costo razonable. Resulta entonces más sencillo impedir la presencia de futuros elementos.

- La mayor parte de las soluciones son tendientes a la reducción del área de exposición de los elementos por lo cual y con el fin de evitar mayores traumas sociales, y de garantizar la vida y honra de los habitantes del barrio, se definirá una franja de aislamiento gracias a la construcción de un cinturón de cierre perimetral en el frente de explotación con un muro de gaviones. Sin embargo, esta solución debe ser acompañada taxativamente de la restricción de los frentes de urbanismo allí.

- De igual manera, no se descarta, si se quiere lograr una buena relación de comportamiento de las laderas y un contexto urbanístico más agradable, llevar a cabo la reconformación general de la zona con perfilado y drenaje.

8.2 RECOMENDACIONES

8.2.1 Regulación de Uso

Contempla la intervención específica, entendida como modificación y restricción de uso, de las áreas con destino minero actual y donde tiene lugar el proceso de acumulación de las masas activas (esto es la zona de influencia indirecta, véase Mapa 18), en otras palabras, el cinturón de estudio. En ellas debe impedirse en un sentido irrestricto el desarrollo de planes de urbanización y regular su uso exclusivamente para sistemas de recreación pasiva.

8.2.2 Medidas Preventivas y Manejo General

La más importante medida preventiva debe enfocarse a la restricción del uso del suelo en las áreas no urbanizadas actualmente. El único destino posible es la recreación pasiva, para lo cual debe adelantarse una serie de obras paisajísticas y de urbanismo.

El plan de obras esta integrado por:

- **Recuperación Morfológica del área**

Lograda a partir del perfilado y empradización de taludes, lo que cobija el retiro parcial o total de los cuerpos inestables y la reestructuración del modelo geométrico del frente de explotación con pendiente 1.0H:2.0V, con el fin de retirar peso en la cabeza de los mismos y/o modificar la posibilidad cinemática de falla. La cubierta vegetal se obtiene mediante en el sembrado de especies tipo herbáceo de buena cobertura y rápido desarrollo, que contrarreste el efecto del agua lluvia sobre la superficie expuesta.

Otra opción corresponde al establecimiento de la técnica de los Biomantos transversales dispuestos en forma de fajinas, utilizando especies de Mora, Lupino, Zarzamora y Chilco. Los procedimientos de siembra para cada alternativa se describe en el anexo de especificaciones técnicas.

Lo anterior debe acompañarse de especies arbóreas y arbustivas como el Aliso, Mermelada, Saúco, Falso Pimiento, Chicala y Cerezo, los cuales actúan en doble sentido: mejoramiento paisajístico del sector y estabilización del terreno.

- **Obras de urbanismo**

Encierran la estructuración, mejoramiento y mantenimiento de las líneas vitales: vías vehiculares y peatonales, alcantarillado pluvial y sanitario; de estos se desconoce el momento de su puesta en marcha.

- **Educación social**

Pretende primero concientizar a la comunidad sobre el significado de los fenómenos de remoción en masa y sus implicaciones, demarcar el nivel de riesgo actual de la población, y proponer talleres que ilustren cómo atender un desastre. Estas campañas educativas deberán conducir a los habitantes a organizarse para conformar sistemas de alarma y alerta y establecer planes de contingencia en caso de una emergencia.

- **Recuperación y preservación**

Involucra la participación multi-institucional y de la colectividad con el fin de mantener las obras de control y mitigación a ejecutar y recuperar ambientalmente la zona a partir de la implementación de campañas de arborización y embellecimiento del barrio.

Contrato CCS-549 de 1999

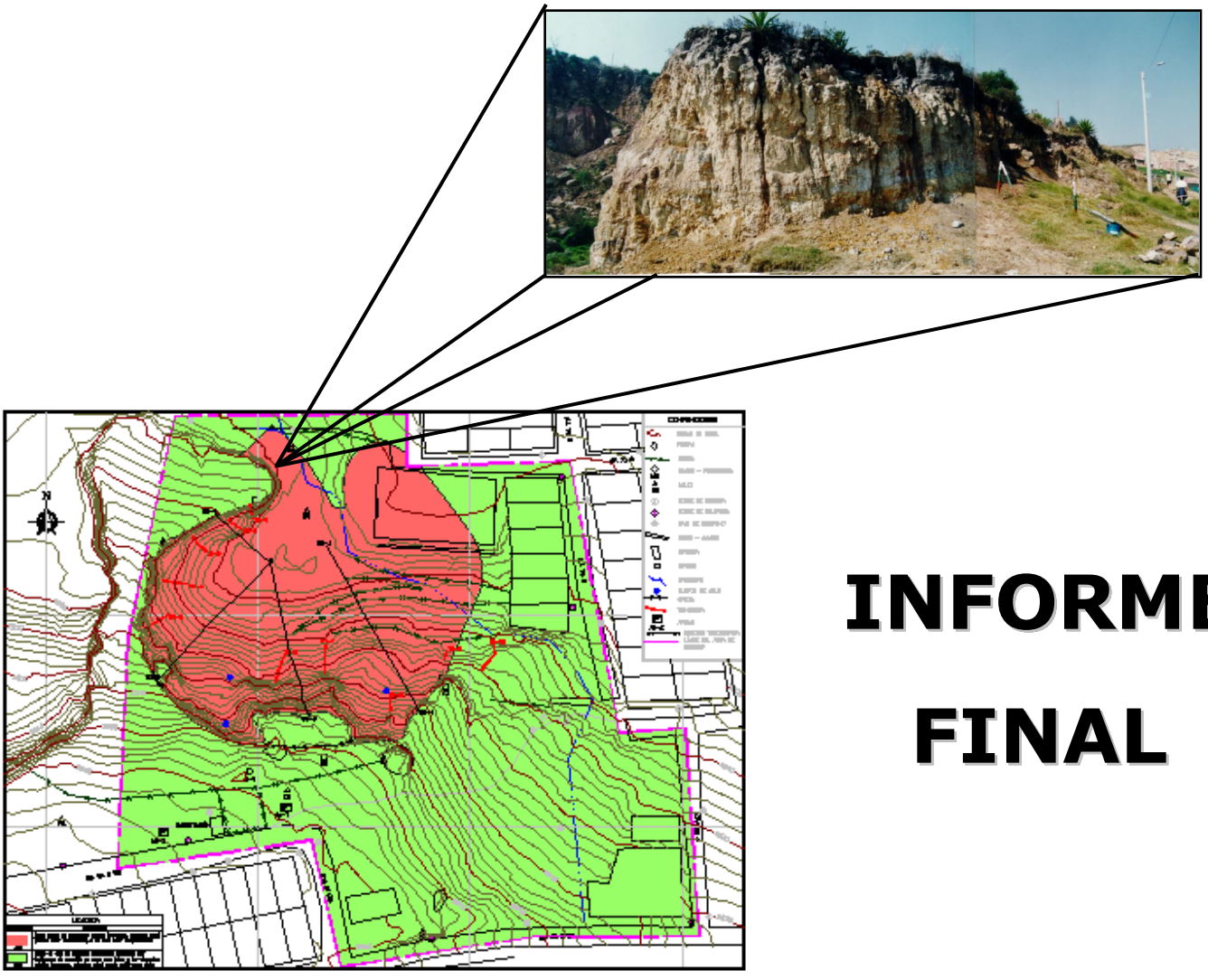
Secretaria
GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTA D.C.

DIRECCION DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE CONTROL Y PROTECCIÓN EN EL BARRIO CASA LOMA

LOCALIDAD DE CIUDAD BOLIVAR



Mapa de Riesgos

INFORME FINAL

Santa Fe de Bogotá, D.C., Mayo de 2000

HGA 140

HIDROGEOLOGIA Y GEOTECNIA AMBIENTAL LTDA

CONTENIDO GENERAL

PAG

RESUMEN EJECUTIVO

CAPITULO 1
INTRODUCCION

1.1 OBJETIVOS 1-1
1.1.1 Objetivo General 1-1
1.1.2 Objetivos Específicos 1-1
1.2 ALCANCE Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO 1-2
1.2.1 Alcances 1-2
1.2.2 Limitaciones 1-2
1.3 METODOLOGIA DEL ESTUDIO 1-2
1.3.1 Recopilación y análisis de información existente 1-2
1.3.2 Levantamiento Topográfico 1-3
1.3.3 Levantamiento Geológico 1-3
1.3.4 Estudio geomorfológico 1-3
1.3.5 Hidrología y clima 1-3
1.3.6 Inventario de viviendas 1-4
1.3.7 Investigación del subsuelo 1-4
1.3.8 Análisis y modelamiento geotécnico 1-4
1.3.9 Evaluación de amenaza por remoción en masa 1-4
1.3.10 Evaluación de vulnerabilidad y riesgo 1-4
1.3.11 Planteamiento de alternativas de mitigación y prevención 1-5
1.3.12 Diseño de obras de mitigación 1-5
1.3.13 Elaboración de cantidades de obra, presupuesto y especificaciones 1-5
1.4 ESTRUCTURA DEL INFORME 1-5

CAPITULO 2
GENERALIDADES

2.1 LOCALIZACIÓN 2-1
2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 2-1
2.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN CONSULTADA 2-4

CAPITULO 3
ESTUDIOS BÁSICOS

3.1 CARTOGRAFÍA BASE 3-1
3.1.1 Levantamiento Topográfico 3-1
3.1.2 Procedimiento Cartográfico 3-3

3.2 GEOLOGÍA 3-3
3.2.1 Geología Regional 3-4
3.2.1.1 Estratigrafía 3-4
3.2.1.2 Geología Estructural 3-6
3.2.2 Geología Local 3-7
3.2.2.1 Estratigrafía 3-7
3.2.2.2 Depósitos de Origen Reciente y Antrópico 3-8
3.2.2.3 Geología Estructural 3-10

3.3 GEOMORFOLOGIA 3-10
3.3.1 Geomorfología Regional 3-10
3.3.2 Geomorfología Local 3-11
3.3.2.1 Unidad de Pendiente Estructural (PE) 3-11
3.3.2.2 Unidad de Escarpe Inestable por Caída de Bloques (EICB) 3-11
3.3.2.3 Unidad de Ladera Inestable por Falla Traslacional (LIFT) 3-12
3.3.2.4 Unidad de Ladera Inestable por Flujo de Detritos (LIFD) 3-12
3.3.2.5 Erosión Pluvial (EPC) 3-12
3.3.2.6 Procesos Morfodinámicos 3-12
3.3.2.6.1 Caída de Bloques 3-12
3.3.2.6.2 Flujos de Detritos 3-12
3.3.2.6.3 Deslizamientos Traslacionales 3-13

3.4 ASPECTOS GEOTÉCNICOS 3-13
3.4.1 Exploración del Subsuelo 3-13
3.4.2 Ensayos de Laboratorio 3-14
3.4.3 Características del Subsuelo 3-14
3.4.3.1 Macizo Rocoso 3-17
3.4.3.1.1 Discontinuidades 3-17
3.4.3.1.2 Clasificación 3-21
3.4.3.2 Suelos 3-25

3.5 ANÁLISIS HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO 3-28
3.5.1 Marco Hidrológico General 3-28
3.5.2 Caracterización Climática Regional 3-29
3.5.2.1 Precipitación 3-29
3.5.3 Cálculos Hidrológicos 3-30
3.5.4 Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia 3-31
3.5.5 Relación de Precipitación Crítica – Duración que Disparan Movimientos en Masa 3-35

3.6 INVENTARIO DE VIVIENDAS 3-35

CAPITULO 4
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y EVALUACIÓN DE AMENAZA ACTUAL

4.1 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA 4-1

4.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD 4-3
4.2.1 Análisis Cinemático 4-3

4.2.2 Análisis Estático 4-5

4.3 EVALUACIÓN DE AMENAZA ACTUAL 4-15

CAPITULO 5
VULNERABILIDAD Y RIESGO ACTUAL

5.1 VULNERABILIDAD SOCIAL 5-1

5.2 VULNERABILIDAD FÍSICA 5-5
5.2.1 Índice de Exposición 5-7
5.2.2 Índice de Resistencia (IR) 5-7
5.2.3 Índice de Vulnerabilidad Física 5-13
5.2.4 Vulnerabilidad de los elementos móviles 5-15

5.3 RIESGO ACTUAL 5-15

CAPITULO 6
MEDIDAS CORRECTIVAS DEL RIESGO ACTUAL

6.1 CONTRASTACIÓN DE ALTERNATIVAS Y SISTEMAS DE DECISIÓN BAJO INCERTIDUMBRE 6-1
6.1.1 Evaluación de Amenaza Futura 6-2
6.1.2 Vulnerabilidad Futura 6-3
6.1.3 Modelo de Decisión de Riesgo 6-3
6.1.4 Plan de Acción Recomedado 6-12

6.2 MEDIDAS PREVENTIVAS Y MANEJO GENERAL 6-12

CAPITULO 7
DISEÑO DETALLADO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

7.1. OBRAS DE MITIGACIÓN 7-1

7.2 OBRAS DE PLANTEAMIENTO PAISAJISTICO 7-5

7.3 PRESUPUESTO 7-5

CAPITULO 8
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES 8-1

8.2 RECOMENDACIONES 8-3
8.2.1 Regulación de Uso 8-3
8.2.2 Medidas Preventivas y Manejo General 8-3

ANEXO A
COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS, PERFILES GEOLÓGICOS Y PERFILES DE EXPLORACION DEL SUBSUELO

ANEXO B
CARTERA TOPOGRAFICA

ANEXO C
FICHAS DE INVENTARIO DE PROCESOS

ANEXO D
RESULTADO DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ANEXO E
CARTERAS DE LEVANTAMIENTO ESTRUCTURAL

ANEXO F
INVENTARIO DE VIVIENDAS

ANEXO G
MEMORIAS DE CALCULO

ANEXO H
ESPECIFICACIONES TECNICAS

ANEXO I
CARTOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

LISTA DE TABLAS

3.1 ENSAYOS DE CARGA PUNTUAL
3.2 RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO
3.3 CLASIFICACION DE MACIZOS ROCOSOS BIENASWKY 1976
3.4 CLASIFICACION DE MACIZOS ROCOSOS BIENASWKY 1976
3.5 CARACTERISTICAS ESTACION CLIMATOLOGICA SAN JORGE
3.6 ECUACIONES IDF
3.7 CALCULO DE HIETOGRAMA PARA TR=25 AÑOS
3.8 CALCULO DE HIETOGRAMA PARA TR=50 AÑOS
3.9 CALCULO DE HIETOGRAMA PARA TR=100 AÑOS
3.10 INVENTARIO DE VIVIENDAS
4.1 RESUMEN DE ANALISIS DE ESTABILIDAD PARA TALUDES DOMINANTES
4.2 RESUMEN DE PROBABILIDAD DE FALLA PARA DIFERENTES TALUDES
4.3 RESUMEN DE PROBABILIDAD DE FALLA
5.1 DETERMINACION DE LAS DISTANCIAS DE VIAJE DE LAS MASAS POTENCIALMENTE INESTABLES
5.2 DETERMINACION DEL INDICE DE VULNERABILIDAD POR DESLIZAMIENTO
5.3 VALORES ASIGNADOS PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE ESTRUCTURAS
5.4 DETERMINACION DEL INDICE DE RIESGO ACTUAL
6.1 RESULTADO DE PROBABILIDAD DE FALLA CON LAS ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN
6.2 CANTIDADES DE OBRA DE LAS MEDIDAS DE CONTROL
6.3 ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
6.4 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO DE LAS ALTERNATIVAS PLANTEADAS
7.1 CUADRO DE DRENAJES
7.2 ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
7.3 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO APROXIMADO

LISTA DE FIGURAS

2.1 LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO
3.1 POLIGONAL DE CIERRE PARA EL AMARRE TOPOGRÁFICO
3.2 FOTOINTERPRETACION GEOLÓGICA REGIONAL
3.3 COLUMNA ESTRATIGRAFICA DETALLADA
3.4 ANALISIS ESTRUCTURAL
3.5 ANALISIS ESTRUCTURAL REGION 1
3.6 ANALISIS ESTRUCTURAL REGION 2
3.7 ANALISIS DE FRECUENCIA FAMILIA D2
3.8 ANALISIS DE FRECUENCIA FAMILIA D3
3.9 ANALISIS DE FRECUENCIA FAMILIA D4
3.10 PRECIPITACION MENSUAL MULTIANUAL
3.11 CURVAS IDF
3.12 HIETOGRAMAS DE PRECIPITACION
4.1 ANALISIS PARAMETRICO MODELO DE FALLA PLANAR CON GRIETA DE TRACCION SECCION DE ANALISIS B-B
4.2 ANALISIS PARAMETRICO MODELO DE FALLA PLANAR CON GRIETA DE TRACCION SECCION DE ANALISIS D-D
4.3 ANALISIS PARAMETRICO MODELO DE FALLA PLANAR CON GRIETA DE TRACCION SECCION DE ANALISIS F-F
4.4 ANALISIS PARAMETRICO MODELO DE FALLA PLANAR CON GRIETA DE TRACCION SECCION DE ANALISIS G-G
4.5 ANALISIS PARAMETRICO MODELO DE FALLA ROTACIONAL SECCION DE ANALISIS C-C
4.6 ANALISIS PARAMETRICO MODELO DE FALLA ROTACIONAL SECCION DE ANALISIS E-E
4.7 ANALISIS PARAMETRICO MODELO DE FALLA ROTACIONAL SECCION DE ANALISIS H-H
4.8 DISTRIBUCION DE PARAMETROS DE RESISTENCIA PARA ESTRATIFICACION DE LA ARENISCA
4.9 DISTRIBUCION DE PARAMETROS DE RESISTENCIA PARA ESTRATIFICACION DE LA ARCILLOLITA SINGULAR
4.10 DISTRIBUCION DE PARAMETROS DE RESISTENCIA PARA ESTRATIFICACION DE LA ARCILLOLITA RESIDUAL
4.11 DISTRIBUCION DE PARAMETROS DE RESISTENCIA PARA EL DEPOSITO DE DETRITOS Qddf
4.12 DISTRIBUCION DE PARAMETROS DE RESISTENCIA PARA EL DEPOSITO DE DETRITOS Qddr
4.13 FUNCIONES DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA MODELO FALLA PLANAR CON GRIETA DE TRACCION SECCION B-B 1-3
4.14 FUNCIONES DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA MODELO FALLA PLANAR CON GRIETA DE TRACCION SECCION B-B 2-2
4.15 FUNCIONES DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA MODELO FALLA PLANAR CON GRIETA DE TRACCION SECCION D-D 1-4
4.16 FUNCIONES DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA MODELO FALLA PLANAR CON GRIETA DE TRACCION SECCION D-D 2-2

4.17 FUNCIONES DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA MODELO FALLA PLANAR CON GRIETA DE TRACCION SECCION F-F 1-3
4.18 FUNCIONES DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA MODELO FALLA PLANAR CON GRIETA DE TRACCION SECCION F-F 2-2
4.19 FUNCIONES DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA MODELO FALLA PLANAR CON GRIETA DE TRACCION SECCION G-G 1-3
4.20 FUNCIONES DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA MODELO FALLA PLANAR CON GRIETA DE TRACCION SECCION G-G 2-2
4.21 ANALISIS DE FRECUENCIA DE FACTOR DE SEGURIDAD
4.22 ANALISIS DE FRECUENCIA DE FACTOR DE SEGURIDAD
4.23 ANALISIS DE FRECUENCIA DE FACTOR DE SEGURIDAD
4.24 ANALISIS DE FRECUENCIA DE FACTOR DE SEGURIDAD
4.25 ANALISIS DE FRECUENCIA DE FACTOR DE SEGURIDAD
4.26 ANALISIS DE FRECUENCIA DE FACTOR DE SEGURIDAD
4.27 ANALISIS DE FRECUENCIA DE FACTOR DE SEGURIDAD
4.28 FUNCIONES DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA MODELO DE FALLA TRASLACIONAL SECCION C-C
4.29 FUNCIONES DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA MODELO DE FALLA TRASLACIONAL SECCION E-E
4.30 FUNCIONES DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA MODELO DE FALLA ROTACIONAL SECCION H-h, COMBINACION H-H
4.31 PROBABILIDAD DE FALLA EN FUNCION DEL FACTOR DE SEGURIDAD FALLA PLANAR CON GRIETA DE TRACCION
4.32 PROBABILIDAD DE FALLA EN FUNCION DEL FACTOR DE SEGURIDAD ANALISIS POR VOLTEO
4.33 PROBABILIDAD DE FALLA EN FUNCION DEL FACTOR DE SEGURIDAD TRASLACIONAL EN SUELO
5.1 ANALISIS DE FRECUENCIA DEL INGRESO MENSUAL POR FAMILIA
5.2 INDICADORES DEL INDICE DE VULNERABILIDAD SOCIAL
5.3 CARACTERISTICAS DE LAS VIVIENDAS
5.4 RESULTADOS DEL ANALISIS CON TUMBLE SECCION E-E
5.5 RESULTADOS DEL ANALISIS CON TUMBLE SECCION G-G
5.6 ANALISIS DE FRECUENCIA DEL INDICE DE EXPOSICION E INDICE DE RESISTENCIA
5.7 ANALISIS DE FRECUENCIA DEL INDICE DE VULNERABILIDAD FISICA E INDICE DE RIESGO
6.1 DIAGRAMA DE PERFILADO DE TALUDES
6.2 DIAGRAMA DE PERFILADO DE TALUDES
6.3 ÁRBOL DE DECISIÓN
7.1 CALCULO DE LOS VOLÚMENES DE EXCAVACIÓN Y CORTE COSTADO NOROCCIDENTAL
7.2 CALCULO DE LOS VOLÚMENES DE EXCAVACIÓN Y CORTE COSTADO SUR

LISTA DE MAPAS Y PLANOS

1. MAPA BASE
2. MAPA DE GEOLOGÍA REGIONAL
3. MAPA DE GEOLOGÍA LOCAL
4. MAPA MORFODINÁMICO
5. MAPA DE GEOMORFOLOGÍA REGIONAL
6. MAPA DE EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO
7. MAPA DEREGIONES ESTRUCTURALES
8. MAPA DE ZONAS HOMOGÉNEAS
9. MAPA DE DISTANCIAS DE VIAJE DE LAS MASAS POTENCIALMENTE INESTABLES
10. MAPA DE AMENAZA POR FALLA PLANAR CON GRIETA DE TRACCIÓN
11. MAPA DE AMENAZA POR CAÍDA DE ROCAS (VOLTEO)
12. MAPA DE AMENAZA POR FALLA TRASLACIONAL DE SUELO
13. MAPA DE AMENAZA ACTUAL
14. MAPA DE TIPOLOGÍA Y CODIFICACIÓN DE VIVIENDAS.
15. MAPA DE EXPOSICIÓN
16. MAPA DE VULNERABILIDAD FÍSICA ACTUAL
17. MAPA DE RIESGO ACTUAL
18. MAPA DE MEDIDAS CORRECTIVAS
19. PLANO DE DETALLES (A, B-1, B-2)
20. MAPA DE PLANTEAMIENTO PAISAJISTICO

1 INTRODUCCIÓN

En desarrollo del Contrato de Consultoría No.CCS-549/99, suscrito entre la DIRECCION DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS E HIDROGEOLOGÍA Y GEOTECNIA AMBIENTAL LTDA, cuyo objeto es el Estudio de Riesgos por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras de Control y Protección en el Barrio Casa Loma – Localidad de Ciudad Bolívar, se presenta en el siguiente documento el Informe técnico correspondiente al barrio en mención.

Casa Loma, en su contexto urbano, ocupa parte de la superficie de una pendiente estructural, entallada en las estribaciones de los cerros suroccidentales del Distrito Capital, en la localidad de Ciudad Bolívar. Las laderas presentan deslizamientos potenciales; evidencias de procesos antiguos de remoción en masa y alto grado de erosión. El sector del barrio Casa Loma se urbanizo en la parte baja de un antiguo frente de explotación de fuente de materiales para construcción, mientras el barrio Mirador de la Estancia ocupa la parte superior (talud alto) de la misma zona de explotación de materiales; estos barrios en la actualidad cuentan con cobertura de servicios públicos de agua, alcantarillado, luz y teléfono, mientras las principales vías de acceso carecen de pavimentación.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General

Realizar una evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa y diseñar las obras de mitigación y control requeridas para estabilizar el sector objeto de estudio, para que sirva como instrumento en la planificación integral, bajo el marco de la Prevención de Desastres.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Inventariar el marco morfodinámico del área de estudio y sus alrededores, con el fin de poder establecer los mecanismos de falla. Es decir, determinar los factores condicionantes y desencadenantes de la inestabilidad local.
- Evaluar la condición actual de estabilidad que involucre por una parte, la elaboración del modelo estratigráfico del área de estudio, y por otra investigar los cambios en la probabilidad de falla en relación con los intervalos de dominio (o de variación) de los parámetros geotécnicos.
- Estudiar la condición de vulnerabilidad del sector con respecto al tipo de movimiento involucrado y al nivel de daño de los elementos expuestos.
- Definir árboles de decisión que faciliten la selección de alternativas con relación beneficio-costo aceptable.
- Diseñar las obras de mitigación y control correspondientes, las cuales contribuirán notablemente tanto para la conservación del área, como para la disminución del riego hacia los elementos fijos y móviles aledaños.

1.2 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO

1.2.1 Alcances

- Recopilación y análisis de estudios geotécnicos, geológicos y de riesgos anteriores, disponibles en las distintas entidades del distrito.

- Realización de estudios básicos de Topografía, Geología Regional, Geología Local, Geomorfología Regional, Geomorfología Local, Hidrología y Geotecnia, que sirven de soporte técnico para el diseño de alternativas de solución.

- Elaboración del inventario y tipificación de las viviendas aledañas al sector ubicadas dentro del área de influencia directa del proyecto.

- Realización de la evaluación y análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa para el sector.

- Planteamiento de las acciones o medidas de mitigación necesarias para prevenir y/o mitigar los niveles de riesgo a que se encuentra expuesta la comunidad.

- Diseño de la alternativa de mitigación mas apropiada para mejorar las condiciones de estabilidad del sector.

1.2.2 Limitaciones

Las condiciones de seguridad del sector dificultaron en algún momento el desarrollo normal de las labores de campo, tales como la exploración del subsuelo y los levantamientos topográficos y geológicos.

Información insuficiente, debido a que pocos proyectos se han llevado a cabo para estudiar las condiciones generales del subsuelo en el área urbana del barrio. Sólo el trabajo de Ingetec S.A. (1998) "Estudios y Diseños de estabilidad de taludes, control de erosión y manejo de aguas para la estabilización de diferentes sitios en la ciudad de Santa Fe de Bogotá. Grupo 1: Ciudad Bolívar - sitio 1.5", sirvió como referencia, aunque que no contemplaba dentro de sus objetivos la zonificación por amenaza, vulnerabilidad o riesgo.

1.3 METODOLOGIA DEL ESTUDIO

1.3.1 Recopilación y Análisis de Información Existente

La recopilación y análisis de información existente en el IGAC, INGEOMINAS, DPAE, IDEAM, EAAB, DAPD, sobre cartografía, topografía, geología, geomorfología, fotografías aéreas, geotecnia, hidroclimatología, usos del suelo y sismología.

Una vez realizada la actividad anterior se hizo el reconocimiento del área por parte de los profesionales involucrados en el desarrollo del proyecto con el animo de obtener información sobre las características geológicas y geotécnicas del área, se recopilaron los estudios realizados en el área con características similares al objeto del proyecto, los cuales permitieron complementar el conocimiento geotécnico de los materiales que conforman el talud a estudiar.

1.3.2 Levantamiento Topográfico

Para propósitos de análisis, específicamente para la caracterización de riesgo y diseño de las obras, se realizo un levantamiento topográfico detallado, escala 1:500, destacando los aspectos del relieve local que involucren las franjas críticas de estabilidad y las unidades residenciales más vulnerables ante potenciales desastres. El levantamiento topográfico fue amarrado a placas del IGAC, luego se realizo una poligonal de trabajo. El barrido altimétrico y planimétrico se realizo con una semiestación, mediante un procedimiento mixto, (toma de secciones transversales y generación de una nube de puntos).

La interpretación cartográfica se ejecutó con el empleo de un Software especializado programa SWIFT para el calculo de coordenadas y elevaciones y bajo un modelo de interpretación dirigida. Esto significa definir y respetar las barreras físicas actuales y condicionar la interpretación a éstas, sin permitir el desempeño de Software a su libre esquema de triangulación.

1.3.3 Levantamiento Geológico

Con base en información existente y el resultado de interpretación de fotografías aéreas de años anteriores, se establecen los niveles litológicos en términos de unidades de roca y suelo con su ubicación espacial, se identificaron los principales rasgos tectónicos, en especial fallas y pliegues, formas estructurales, dinámica de las corrientes, morfodinámica que muestra los diferentes tipos de erosión y procesos de remoción en masa, etc. En el trabajo de campo, se identificaron los diferentes tipos de roca y depósitos cuaternarios, se estudio la geología estructural, espesores y grados de alteración de los materiales depositados, evidencias de actividad tectónica reciente y la potencialidad de movimientos en masa.

1.3.4 Estudio Geomorfológico

Se considero la génesis de las diferentes unidades morfológicas y la evolución mediante la evaluación de información existente e interpretación de fotografías aéreas y trabajos de campo: Las unidades de Terreno o geomorfológicas, se identificaron con base en diferentes condiciones de pendiente del terreno, tipo de material, influencia estructural, dinámica de las corrientes del sector, y procesos morfodinámicos. Mediante la fotointerpretación y trabajos de campo se identificaron geoformas relacionadas con distintos ambientes, las cuales fueron agrupadas en categorías, desde el punto de vista morfogenético.

1.3.5 Hidrología y Clima.

El clima se refiere al estado medio de los fenómenos meteorológicos durante un largo período de tiempo. El clima depende de factores como la temperatura, humedad, viento, precipitación. Se

determino la precipitación de corta duración que son los que generan los caudales máximos y la determinación de precipitación crítica-duración, que dispara los movimientos en masa utilizando el estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por inestabilidad del terreno para varias localidades de Santa Fe de Bogotá, INGEOCIM – DPAE, 1998.

1.3.6 Inventario de Viviendas

El inventario de viviendas para cada residencia, fue realizada mediante fichas de campo, que contienen información referente a localización, propietario, número de habitantes, estructura, servicios públicos de que dispone, condiciones del suelo de fundación, estabilidad del mismo, daños y causas de los mismos y recomendaciones.

1.3.7 Investigación del Subsuelo

La investigación del subsuelo se realizo teniendo en cuenta las características geológicas del sector. El programa de exploración se tomo con base en las siguientes actividades: en sitios de afloramiento de roca se levantaron columnas estratigráficas detalladas, identificación del tipo, espesor y condición local de la roca. La exploración directa fue desarrollada mediante apiques y trincheras, que permiten definir los principales patrones geométricos de ellos (espesor, variación).

1.3.8 Análisis y Modelamiento Geotécnico

Con base en la investigación de campo, en los ensayos de laboratorio y principios básicos de la geología estructural se elaboro un modelo (aproximado) del subsuelo para la zona de estudio, que destaca la secuencia estratigráfica y la disposición estructural del área de interés.

1.3.9 Evaluación de Amenaza por Remoción en Masa

Como resultado de la evaluación de la susceptibilidad y de los eventos detonantes, del inventario de fenómenos de remoción en masa, de la determinación de la magnitud, estado de actividad y tendencia a la propagación de los actuales procesos de inestabilidad, se estiman los niveles de amenaza actuales y futuros del sector. Debido a la escala de trabajo del proyecto (1:500) y al nivel de detalle que se obtiene de la investigación geotécnica, se emplea un método cuantitativo (técnica determinística) para la evaluación de la Amenaza. Para ello se siguen los lineamientos de probabilidad de falla presentados por Hoek (1996) en el curso teórico-práctico “Decisiones Prácticas y Riesgos Aceptables en la Ingeniería de Rocas”

1.3.10 Evaluación de Vulnerabilidad y Riesgo

La evaluación de vulnerabilidad y riesgo se realiza por tipo de movimiento y solicitación que este someta al elemento expuesto, (p. e. Empujes laterales, impactos o desplazamientos verticales) de acuerdo con el trabajo presentado por LEONE, 1996, CONCEPTE DE VULNERABILITE APPLIQUE A L EVALUATION DES RISQUES GENERES POUR LES PHENOMENES DE MOUVEMENTS DE TERRAIN, en su tesis doctoral

1.3.11 planteamiento de alternativas de mitigación y prevención.

Con base en los análisis de estabilidad y condición de amenaza establecida y en el estudio de vulnerabilidad de las unidades de vivienda, se plantearon acciones y medidas de mitigación que fueron seleccionados según su análisis básico beneficio-costo mediante árboles de decisión.

Igualmente se establecieron niveles de intervención de los diferentes actores de riesgo para las diferentes alternativas de solución, de forma que permita o facilite a la dirección la toma de decisiones.

Desde el punto de vista de las medidas y obras de control de los procesos identificados y analizados en el área, se hacen las recomendaciones y se plantea una serie de obras civiles y medidas de mitigación y prevención que buscan mejorar la condición ambiental de los sitios de estudio. De igual manera, se plantearon medidas y/o obras de tipo general y local, con el fin de cambiar y mejorar la actitud de los habitantes frente a su entorno físico, al igual que obras de ejecución de obras civiles tendientes a mejorar las condiciones de estabilidad del talud y laderas naturales.

1.3.12 Diseño de obras de mitigación

Una vez definidas las medidas de mitigación, se procedió al diseño de las obras de ingeniería y mejoramiento del medio físico a nivel detallado, haciendo énfasis en las obras de manejo de aguas y de contención o estabilización del fenómeno principal y secundario.

1.3.13 Elaboración de cantidades de obra, presupuesto y especificaciones

Una vez establecida la alternativa a implementar y los diseños de ingeniería, se elaboró el presupuesto teniendo en cuenta las cantidades de obra, especificaciones técnicas y presupuesto.

1.4 ESTRUCTURA DEL INFORME

El documento se presenta en forma coherente, en la cual se hace un recuento de las investigaciones realizadas, los análisis efectuados y las conclusiones a que se llegó en cada uno de los diferentes aspectos de estudio.

Los dos primeros capítulos encierran los objetivos del proyecto, el procedimiento de ejecución y la descripción de algunos elementos que introducen al lector en el problema y área por tratar, como son: localización, historia, tipo de población, calidad de vida de los habitantes y condición actual de la zona.

El resumen de los estudios básicos de Topografía, Geología, Geomorfología, Hidrología, Geotecnia e Inventario de viviendas están contenidos en el capítulo 3. Las condiciones actuales de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa son tratadas en los Capítulos 4 y 5.

Las alternativas de diseño, su papel en las condiciones de estabilidad y en el mejoramiento del nivel de riesgo para la población hacen parte del Capítulo 6. Las cantidades de obra, el costo estimado y el tiempo de ejecución de la alternativa seleccionada (cronograma) integran el capítulo 7.

Cabe resaltar, como algunas de las más importantes conclusiones consignadas en el Capítulo 8, el bajo grado de inestabilidad de algunos sectores de estudio y por ende la mínima probabilidad de falla de los taludes, y la amplia reducción que se obtendrán en el nivel de riesgo con el retiro de las masas potencialmente inestables (perfilado) y la puesta en marcha de un sistema de intercepción y drenaje del agua de escorrentía, así como la restricción en el uso para cualquier actuación de tipo urbanístico.

Finalmente, se presentan los anexos que compilan la información complementaria y necesaria para la comprensión del documento.