



**ROCAS Y MINERALES LTDA**  
**Ingenieros Consultores**

---

**UPES – UNIDAD DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS**

**ESTUDIO GEOTÉCNICO, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE  
MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS  
RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR EL ANTIGUO ESCARPE DE  
EXPLOTACIÓN FRENTE AL BARRIO EL MIRADOR SECTOR  
CONJUNTO CERRADO  
LOCALIDAD DE USAQUEN  
No. CONTRATO: G 876-186/98**

**INFORME FINAL**

**22 de febrero de 1999**

**ESTUDIO GEOTÉCNICO, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE  
MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS  
RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR EL ANTIGUO ESCARPE DE  
EXPLOTACIÓN FRENTE AL BARRIO EL MIRADOR SECTOR  
CONJUNTO CERRADO  
LOCALIDAD DE USAQUEN**

## **1 INTRODUCCION**

La Unidad de Prevención y Atención de Emergencias, UPES - FOPAE, por medio del Contrato N<sup>o</sup> G-876-116/98 suscrito, por encargo fiduciario, entre Fiducolombia y Rocas y Minerales Ltda. Contrató el estudio geotécnico del escarpe frente al Barrio El Mirador. En la Figura 1.1 se presenta una localización de la zona de estudio.

El presente informe se rige según los términos de referencia de la Invitación a proponer, cubre los objetivos específicos planteados y más concretamente lo concerniente al análisis de la condición de riesgo por fenómenos de remoción en masa para la infraestructura y viviendas debido a la presencia del escarpe frente al barrio el Mirador conjunto cerrado.

El alcance de la propuesta incluye al análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por *fenómenos de remoción en masa*. No incluye dentro del alcance, el análisis de la estabilidad de las viviendas ante *sismo*.

## **1.1 CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS, SÍSMICAS E HIDROLÓGICAS.**

### **1.1.1 Localización**

El área de estudio, con una extensión de 1.1 Ha, está ubicada en jurisdicción de la localidad de Usaquén, en los Cerros Orientales, al este de la carrera séptima, entre las cotas 2680 y 2710, inmediatamente al noreste del Barrio El Codito, en lo que correspondería aproximadamente a la calle 183 de la nomenclatura de Bogotá.

La vía de acceso al área es la carretera Bogotá - El Triunfo (Sopó), que se inicia en la carrera 7<sup>a</sup> con calle 172 (Colegio Claustro Moderno).

### **1.1.2 Amenaza Sísmica y Precipitación**

De acuerdo con el estudio de “*Microzonificación Sísmica de Santa fe de Bogotá* (Ingeominas, Universidad de los Andes 1997), el área de estudio corresponde a la zona 1 Cerros, con los siguientes coeficientes espectrales de diseño:  $T_0$  (Periodo Inicial) = 0.20,  $T_c$  (Periodo corto) = 1.00,  $T_l$  (Periodo largo) = 5.00,  $A_m$  (Aceleración máxima) = 0.24,  $A_n$  (Aceleración nominal) = 0.30,  $F_a$  (Factor de Amplificación de la aceleración) = 1.00,  $F_v$  (Factor de Amplificación de la aceleración en el rango de velocidades constantes) = 2.00. Para efectos de aplicación de la Norma Sismoresistente/98 la ciudad sigue perteneciendo a una zona de amenaza sísmica intermedia.

En cuanto a los aspectos hidrológicos del sector se presenta en el Anexo de Aspectos Hidrológicos, el numeral 3.6 del Estudio realizado por Hidrotec en Agosto de 1998 para una cantera ubicada 10 cuadras al sur del área de Estudio del presente proyecto. En el numeral del estudio mencionado se presenta la información del régimen de precipitación media, máxima y media mensual multianual, las relaciones Intensidad – frecuencia – duración de las lluvias máximas, requeridas para el cálculo de caudales de diseño y el dimensionamiento de diferentes obras hidráulicas. Las estaciones de precipitación de la EAAB en las que se baso el estudio mencionado son:

Contador, La Cabaña y San Rafael con periodos de registro desde 1957 a 1995 en Contador, 1976 a 1994 en San Rafael y 1976 a 1995 en La Cabaña.

### **1.1.3 Morfología del Area**

La parte de la ladera donde se ubica el barrio El Mirador Conjunto Cerrado, se caracteriza por estar constituida por rocas sedimentarias (areniscas y algo de arcillolitas) y poseer, hacia arriba del Barrio, una morfología de escarpes escalonados, como se observa en el Plano Topográfico (Plano CD-01). Se destaca el sector sur del escarpe por su mayor extensión y por estar constituido por tres escarpes menores escalonados pero irregulares en su geometría y continuidad lateral, de éstos el superior en cota tiene una altura máxima de 15 m y una inclinación de  $65^{\circ}$ , el intermedio 9m y  $65^{\circ}$  de buzamiento y el inferior 7 m de altura y  $75^{\circ}$  de inclinación. Algunos de los peldaños del extremo norte de esta parte del escarpe están ocupados parcialmente por bloques de roca en condición suelta.

El otro tramo de la ladera corresponde a la cancha de fútbol la cancha por su costado sur está limitada por un solo escarpe con altura máxima de 16 m e inclinación de  $67^{\circ}$  y por el borde oriental por un talud de 10 m de altura e inclinación de  $45^{\circ}$ .

La morfología anteriormente expuesta es el resultado final de una explotación poco técnica, de arena de peña y rajón, realizada hasta comienzos de la década de los noventa por mineros de hecho.

## ***1.2 Metodología del Estudio.***

Para la realización de este estudio la metodología que se empleó fue la siguiente:

### **1.2.1 Revisión bibliográfica.**

Se consultaron todos los documentos técnicos disponibles en la UPES y libros técnicos sobre los temas de análisis geotécnicos y de probabilidad. El detalle bibliográfico de estos documentos se puede consultar al final del informe.

### 1.2.2 Fotointerpretación geológica.

Con el objeto de entender un poco la evolución morfológica del área de estudio y sus alrededores por efecto de la actividad de explotación a la que se ha visto sometida, se hizo la fotogeología del sector, para lo cual se emplearon las fotografías aéreas de los vuelos IGAC: C 1080, fotos N<sup>o</sup> 2236 a 2238, escala 20.000, de 1960; y R 1131, fotos N<sup>o</sup> 557 a 558, escala 5000 de mayo de 1990 (vuelo SADEC, SAC 310)

### 1.2.3 Control de campo.

Esta parte del trabajo tuvo como objetivos la realización del estudio geológico, la evaluación geotécnica del escarpe y toma de información litológica y estructural y de muestras para ensayos de laboratorio. Además se realizó el levantamiento topográfico del área de estudio y la ejecución de encuestas a los pobladores del barrio El Mirador Conjunto Cerrado. Se desarrolló durante diferentes periodos de tiempo.

### 1.2.4 Elaboración del modelo geológico para fines geotécnicos.

Esto implicó la realización de la cartografía geológica regional, en escala 1: 10.000, y la elaboración de la cartografía geológica detallada (planta y cinco perfiles), en escala 1: 500, del escarpe de la antigua cantera.

### 1.2.5 Análisis geotécnico del escarpe de la antigua cantera.

Para su realización de una manera objetiva, fue indispensable, primero, hacer una sectorización del escarpe por mecanismos de falla cinemáticamente posibles con su correspondiente cartografía en escala 1: 500, para a partir de ésta sectorización proceder a armar los modelos geotécnicos de análisis de estabilidad y realizar los cálculos determinísticos necesarios para conocer la condición de estabilidad de cada uno de los sectores.

### 1.2.6 Estudio de probabilidades de falla y análisis de riesgo.

Una vez definidos los mecanismos de inestabilidad geotécnicamente factibles en los diferentes sectores del escarpe, se procedió a determinar la zonificación

por amenaza y su correspondiente documento cartográfico, en escala 1: 500. Se hicieron los cálculos de probabilidad de ocurrencia de cada uno de los movimientos. Se hizo la zonificación por vulnerabilidad con los correspondientes costos de afectación

**1.2.7 Definición de los tipos de obras a implementar y diseño detallado de las obras de mitigación y de las obras paisajísticas.**

Las obras de mitigación son indispensables para disminuir el grado de vulnerabilidad de las viviendas. Para efectos de la localización precisa de las obras, se materializaron dos (2) mojones que aparecen ubicados en todos los planos que se anexan al final del informe. Las coordenadas de estos mojones de acuerdo con el sistema de coordenadas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi se presentan a continuación:

Mojón 1: N = 118151.6080; E = 106140.6330 Cota = 2708.79

Mojón 2: N = 118224.9300; E = 106151.3490 Cota = 2709.94

**1.2.8 Elaboración del Informe Técnico .**

## 2 CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DEL SECTOR

### 2.1 *Características Geológicas Regionales del Area de Estudio.*

#### 2.1.1 Estratigrafía.

El sitio de estudio se encuentra localizado sobre un área ubicada entre las partes media y baja de la ladera del costado occidental de los “Cerros Orientales” (ver Figura 2.1). Allí se encuentran aflorando estratos correspondientes al Grupo Guadalupe, y específicamente pertenecientes a la Formación Arenisca Tierna, tal como se ilustra en el Plano CD-02. En el pasado, estas circunstancias hicieron atractiva el área para la explotación de arena de peña y rajón que por lo general se realizó con un conocimiento escaso sobre técnicas de explotación. De esta manera, en el análisis fotogeológico de la foto R 1131 N<sup>o</sup> 558, se registra en el año de 1990 la existencia del orden de 11 “canteras activas” y los patios de otras ya abandonadas, ocupadas por viviendas.

#### 2.1.2 Estructuras geológicas.

Los rasgos estructurales más destacables por su incidencia sobre las características geométricas de la masa rocosa son:

El flanco occidental del Anticlinal de Bogotá: sobre el cual se ubica el área de estudio. Este flanco se encuentra en posición normal, por lo tanto los estratos tienen azimut de buzamiento hacia el occidente e inclinación menor de 45<sup>o</sup>, estas consideraciones teóricamente dan origen a una pendiente estructural como geoforma predominante pero debido a la presencia de fallas geológicas (ver Plano CD-02), las cuales se describen a continuación, no se evidencia dicha pendiente estructural.

Fallas geológicas: Estas clases de estructuras de corte están presentes con buena frecuencia en la ladera. En la zona de estudio se distinguen dos modelos de fallamiento. El primero y más antiguo está conformado por una

serie de fallas de tendencia paralela a los cerros, cuya orientación es noreste - suroeste e inclinación mayor de  $60^{\circ}$  hacia el suroriente. En la Figura 2.1 y en el Plano CD-02 se puede apreciar la existencia de dos fallas mayores que han influido en la morfología de la ladera pues han generado escarpes de falla escalonados y peldaños topográficos; estas fallas se han clasificado como fallas normales escalonadas, en las cuales el bloque oriental bajo con relación al bloque occidental.

El otro modelo de fallamiento consiste en una serie de fallas que poseen una tendencia transversal a la orientación de las montañas, es decir su orientación es noroeste – sureste y poseen inclinación hacia el noreste con ángulo de buzamiento superior a  $70^{\circ}$ ; estas fallas parecen ser de movimiento compuesto. En la Figura 2.1 y en el Plano CD-02 se pueden observar las trazas de dos fallas mayores de este sistema.

De lo anteriormente expuesto se concluye que el área del antiguo escarpe del Mirador está ubicada dentro de un bloque estructural limitado por fallas de los dos modelos anteriormente descritos, además que la pendiente estructural está modificada en su continuidad por el efecto de los cortes y desplazamientos generados por las fallas, como también por procesos de erosión.

## **2.2 Características Geológicas Detalladas del Area de Estudio**

### **2.2.1 Litológicas.**

Como se observa en el Plano Geológico del sector (CD-03) los materiales presentes en el antiguo escarpe del Mirador y sus alrededores, son preferencialmente rocas sedimentarias pertenecientes a la Formación Arenisca Tierna y en una menor proporción depósitos recientes resultantes de acumulaciones de origen natural y rellenos antrópicos. Los principales rasgos de estos materiales son:

Rocas arenosas (Ksgat). Las cuales conforman el escarpe dejado por la antigua explotación. Litológicamente son estratos de arenisca cuarzosa, de grano medio



a grueso, con cemento débil, razón por la cual los granos son fácilmente disgregables. El espesor de los estratos oscila entre 1.5m 3.5m con predominio de los estratos más gruesos. La superficie de los estratos es ondulada. Según la clasificación de Dearman (1979), el grado de meteorización oscila entre III y II. El espesor total de esta secuencia arenosa es de 14m y fue medido en el escarpe de la cancha de fútbol.

Rocas arcillosas (Kgsar). Inmediatamente debajo de la secuencia de areniscas anteriormente descrita se halla un paquete de arcillolitas caoliníticas, de color gris claro con manchas moradas y con películas de óxidos de hierro sobre las superficies de las diaclasas. Los estratos son laminares y de superficie ligeramente rugosa.

El grado de meteorización es III (Dearman) en los sitios donde está expuesta al intemperismo, los cuales corresponden al costado oriental del piso de la cancha de fútbol y el borde noroccidental del patio de la antigua explotación.

El espesor de 4.0m que se reporta es parcial, pues no hay afloramientos continuos de techo a piso de esta secuencia, y por otro lado existe la influencia de las fallas locales que afectan al macizo rocoso.

Depósitos recientes: como se mencionó anteriormente, es conveniente diferenciar entre depósitos naturales (Qbt), (Qc) y aquellos de origen antrópico (Qdr). Los rasgos más significativos de cada uno de ellos son:

*Suelos de origen antrópico (Qdr):* corresponden a materiales de desecho originados por algunas de las excavaciones realizadas para las construcciones aledañas a los kioscos y a basuras domésticas que por lo general son arrojados desde la cresta del talud. Esta clase de materiales se encuentran principalmente en la parte media y baja del costado sur oriental del escarpe, como se muestra en el Mapa Geológico CD-02. Están constituidos principalmente por arenas limo arcillosas con fragmentos angulares de

arenisca. Estos materiales que no poseen ninguna clase de compactación ni clasificación han entrado a rellenar los escarpes resultantes del avance de la explotación de la arenisca, originando unas pendientes topográficas suaves. Actualmente este sector está parcialmente recubierto por pastos y arbustos. Su espesor máximo es del orden de 2 m.

*Depósitos de origen natural (Qbt):* son el resultado de antiguos procesos de inestabilidad superficial que afectaron los estratos de arenisca que conforman la masa rocosa del escarpe, los procesos correspondieron principalmente a mecanismos de volteo de bloques, falla planar y rodamiento de bloques.

Dependiendo del mecanismo predominante e intensidad del mismo se desarrollaron diferentes grados de entramamiento entre los bloques movilizados. En el caso del área ocupada por esta unidad en el extremo sur, donde el mecanismo predominante fue el de falla planar con algo de volteo sumado a algunas restricciones que impidieron que el movimiento sobrepasara un límite determinado hacia el occidente, condujo a un fuerte entramamiento de los bloques de arenisca, alcanzando un espesor promedio del orden de 3 m.

En el costado nororiental del escarpe, los mecanismos predominantes parecen haber sido volteo y rodamiento de bloques sin ningún tipo de restricción hacia el costado oeste, por lo cual su entramamiento es mínimo lográndose encontrar bloques aislados y en condiciones precarias de estabilidad. El espesor máximo de bloques en este sector es del orden de 2m.

*Coluvión (Qc):* Este depósito está localizado en la parte baja de la ladera, en el costado noroccidental del área, como se aprecia en el Mapa Geológico CD-02. Está constituido por grandes bloques de arenisca, de forma angular con poco material fino rellenando las cavidades entre bloques; el espesor del depósito puede variar entre 2 y 3m.

### 2.2.2 Estructurales.

Como se mencionó en el numeral 2.1.2 el área del escarpe del Barrio El Mirador Conjunto Cerrado está ubicada sobre una pendiente estructural afectada por fallas geológicas. Esta circunstancia desde el punto de vista de la geología estructural para ingeniería tiene las siguientes implicaciones:

Planos de estratificación: estas superficies de discontinuidad están bastante espaciadas en las areniscas pues los estratos son gruesos, en tanto que en las arcillolitas se encuentran cercanos por ser la estratificación laminar. En las areniscas las superficies son onduladas y en las arcillolitas son ligeramente rugosas. La orientación de los planos se mantiene bastante uniforme a todo lo largo y ancho del escarpe, variando en sentido sur norte en el rango de N-03-W a N-10-W, en cuanto al buzamiento, éste varía de  $43^{\circ}$  SW, en el extremo sur del escarpe a  $33^{\circ}$  SW en el costado norte (escarpe de la cancha de fútbol). En el talud oriental de la cancha de fútbol la inclinación es de  $23^{\circ}$  y el azimut de buzamiento de los estratos es hacia el suroeste.

Fallas geológicas: Se determinó la presencia de una serie de fallas normales de pequeño desplazamiento, pertenecientes al primer modelo de fallamiento regional descrito en el numeral 2.1.2. En el escarpe de la cancha de fútbol se identificaron cinco de estas estructuras de corte (ver Mapa Geológico CD-03), en tanto que en el escarpe del Mirador se pudo ubicar la traza de dos de los cinco planos mencionados anteriormente. Estas fallas se caracterizan por poseer una orientación aproximadamente paralela a la orientación de la estratificación, pero con azimut de buzamiento hacia el noreste e inclinación del orden de  $66^{\circ}$  a  $68^{\circ}$ . El desplazamiento vertical entre los pequeños bloques estructurales limitados por las fallas, varía entre 30 y 60 cm lo cual genera un arreglo geométrico en forma de escalones o peldaños descendentes hacia el oriente. Estos peldaños en buena medida impiden, en el escarpe del Mirador, el movimiento, en la dirección de buzamiento de los planos de estratificación, de

masas de roca hacia el Barrio, tal como se ilustra en los Perfiles Geológicos, Figuras 2.2 a 2.6. La ubicación de estos perfiles se muestra en los Planos CD-01 y CD-03.

Del segundo modelo regional de falla no se identificaron planos en el sector del escarpe.

Planos de diaclasa: la masa rocosa está afectada por esta clase de discontinuidad. Se determinaron dos familias principales cuyas características en detalle serán descritas en el Capítulo 3, estabilidad de taludes, no obstante se observa que las tendencias en orientación e inclinación de estas familias concuerda con las de los dos modelos de fallamiento geológico. En efecto, se identificaron dos familias de diaclasas que se han denominado D1 y D2, cuyas orientaciones e inclinaciones varían un poco de un sector a otro, dentro de los siguientes intervalos:

**D1** N-69-W / 82 NE a N-81-W / 78 NE    **D2** N-29-E / 65 SE a N-15-E / 71 SE

### **3 ESTABILIDAD DE TALUDES DEL ESCARPE DE LA ANTIGUA EXPLOTACION DEL MIRADOR**

#### **3.1 *Introducción***

El barrio “El Mirador” Conjunto Cerrado, se desarrolló en los patios dejados por una vieja cantera en que se explotaban arenas y otros materiales de construcción, todos provenientes de las areniscas friables y bien Cementadas que afloran en el sector. Según versiones de algunos de los habitantes de la zona y que trabajaron en la antigua cantera, varios predios fueron entregados a cambio de salarios y otras retribuciones no pagadas durante mucho tiempo. Según esas mismas versiones, la cantera empezó a convertirse en barrio hace más o menos unos treinta años. La inspección de las fotografías aéreas y los relatos de algunos de los vecinos permiten afirmar que la mayoría de las construcciones son bastante recientes y posteriores a 1990.

La presión demográfica sobre todo el sector, parece haber ido creciendo y generando desarrollos residenciales sin ninguna planeación y sin mayor claridad y precisión de las amenazas a que pueden estar sometidos por la existencia de los cortes abandonados de la antigua cantera cuyo desarrollo no se hizo, ni mucho menos, siguiendo criterios técnicos ni pensando posteriormente en la restitución morfológica o ambiental de las laderas afectadas.

El presente estudio, pretende evaluar, precisamente, esas amenazas y los riesgos derivados para una población muy vulnerable, de escasos recursos y con su barrio completamente sin legalizar a la fecha. En esas condiciones, el costo social de una tragedia debida a remociones en masa, que no parece ser muy probable en este caso o que se puede mitigar fácilmente, sería muy grande.

Las evaluaciones geotécnicas de campo y los análisis de la información estructural sobre discontinuidades recolectada, mostraron la conveniencia de

sectorizar el escarpe con base en que los mecanismos de falla de talud cinemáticamente posibles no eran los mismos para todo el escarpe.

En el plano de Sectorización según mecanismos de inestabilidad (Plano CD-04) se puede apreciar el talud que es motivo de estudio.

En el talud se pueden distinguir los siguientes sectores, debidamente numerados y ordenados de Sur a Norte, así:

**Sector 1, Talud Sur-Oriental Escarpe del Mirador:** este sector se ubica en el extremo sur del escarpe de la antigua cantera. Tiene una altura media de 23 m e inclinación promedio de  $36^{\circ}$  (ver Figura 2.2). Está conformado por areniscas, bastante diaclasadas, y su morfología es de una pequeña divisoria de aguas en forma de una cuchilla estrecha con tendencia en su orientación este – oeste, y conforma además la frontera con otra cantera abandonada, ubicada inmediatamente hacia el sur. En este sector se evidencian movimientos antiguos translacionales que se desarrollaron siguiendo el buzamiento de los estratos de arenisca, con desplazamiento relativamente importantes de los bloques, dando lugar a una morfología de bloques de arenisca entrabados (ver Figura 2.2) y con buena permeabilidad. Sin embargo, una mirada más atenta del material sugiere que también se han presentado fenómeno de volteo de bloques aunque poco intenso. Consecuentemente, el grado de giro y de desplazamiento de esos bloques al igual que la abertura de las discontinuidades y el nivel de fracturación del macizo es mayor en esta zona comparativamente con las otras zonas del talud en estudio. Los espacios entre los bloques han sido rellenados por material areno limoso, dejando pocas oquedades. El desprendimiento de los bloques, como fruto de volteo y de pérdida del llenante de las discontinuidades, con la posterior caída y rodamiento, parece ser la amenaza más inminente en este caso. Este fenómeno se presentó hace seis años en la manzana 31, en la casa de propiedad del señor José Rodríguez, y produjo la ruptura de un muro de fachada, afortunadamente sin ningún tipo de pérdidas humanas.

No se observa flujo de agua subterránea ni zonas húmedas

Debido a que este talud presenta forma de una cuchilla o cresta más o menos delgada, los posibles movimientos iniciales de bloques se deben presentar con unas direcciones predominantes hacia el norte, y hacia el sur, antes que hacia el oeste, es decir, hacia el barrio. Sólo en la parte baja, en que la cresta citada llega hasta la cota de las casas, la amenaza puede ser mucho más inminente.

**Sector 2, Talud Centro - Oriental del Escarpe del Mirador:** La altura media en este sector varía, de sur a norte entre 27m y 29 m, mientras que su inclinación media lo hace entre  $37^{\circ}$  y  $40^{\circ}$ . (ver Figuras 2.3 y 2.4) En este sector el frente de explotación de las areniscas avanzó más hacia el oriente como consecuencia, tal vez de. Una mejor condición de estabilidad del macizo. No obstante, hacia la parte alta del talud dejaron un corte muy vertical en roca, con una altura de 13 m e inclinación de  $65^{\circ}$  siguiendo a uno de los sistemas principales de diaclasas, lo cual se ilustra en la Figura 2.3. Hacia la parte inferior el talud es menor inclinado, por la presencia de rellenos no consolidados que, en parte, son materiales arrojados por los habitantes del sector ubicado en la base del talud; coluviones; y otra parte detritos provenientes de la parte alta. La presencia de estos depósitos puede tener incidencia sobre la permeabilidad de la parte media y baja del talud del sector.

Se observa flujo de agua subterránea en la base del escarpe, en el costado noroccidental asociado a una de las fallas normales que enfrenta las areniscas del escarpe con un estrato de arcillolita, como se ilustra en la Figura 2.4; además en la base del corte subvertical de 13 m de altura hay zonas húmedas.

El mecanismo más factible de inestabilidad, desde el punto de vista cinemático, es el volteo de los bloques de la parte superior del escarpe, lo que podría generar, como fenómeno derivado, el deslizamiento, e incluso la caída de bloque.

**Sector 3, Talud NorOriental Escarpe del Mirador:** Este sector del escarpe de la antigua cantera tiene una altura media de 26 m e inclinación promedio de  $36^{\circ}$ , pero localmente existe una inclinación de  $71^{\circ}$ , como se aprecia en la Figura 2.5. En los Planos CD-03 y CD-04 se muestra su ubicación, inmediatamente abajo de los dos quioscos de observación que se construyeron cerca de la convergencia de este talud con el talud sur de la cancha de fútbol y al noreste de la imagen religiosa que hay en la parte baja. En este sector se encuentran bloques subangulares de arenisca recubriendo estratos gruesos de igual litología. Este sector no fue intervenido tan intensamente por la actividad de explotación.

En la base del talud existe un afloramiento de agua subterránea asociado a una de las fallas normales que enfrentó las areniscas del escarpe con un estrato de arcillolita gris con tintes violáceos, lo cual se ilustra en la Figura 2.5.

Se evidencian movimientos, en el pasado, de los bloques rocosos, debido fundamentalmente a volteo y rodamiento dando lugar a una morfología de tipo coluvial pero con espacios vacíos entre los bloques. Los movimientos citados han ocasionado la abertura de las diaclasas alcanzado la magnitud suficiente para romper completamente el entramamiento entre los bloques. En esta área se podrían llegar a presentar rodamiento y desplazamientos planares de bloques como también volteos adicionales. Hay evidencias no muy contundentes pero factibles de que fenómenos como los anteriores hayan ocurrido en el pasado.

Por la forma convexa del talud en esta parte, es difícil predecir con precisión, cual será la dirección del movimiento de un bloque que sufra desprendimiento y rodamiento posterior.

**Sector 4, Talud Sur de la cancha de fútbol:** Es un talud subvertical, de 17 m de altura, compuesto básicamente por estratos gruesos de areniscas afectados por pequeñas fallas normales que han generado un escalonamiento de los bloques estructurales por el desplazamiento escalonado hacia abajo del bloque



oriental, rasgo que es favorable a la estabilidad de los tres sectores anteriormente descritos.

En términos globales, el macizo está compuesto por estratos gruesos de areniscas, perteneciente al Grupo Guadalupe, los cuales buzcan hacia el occidente, es decir, hacia el Barrio. Las rocas tienen un grado II de meteorización, se encuentran fracturadas y afectadas por un sistema vistoso de fallamiento y diaclasadas. La disposición geométrica de las discontinuidades y los acontecimientos ocurridos en el pasado indican que el mecanismo de inestabilidad cinemática en el talud es el desprendimiento y caída esporádica de bloques que pueden llegar a ser de buen tamaño.

Las evidencias de campo muestran que los bloques caídos no logran avanzar más de unos pocos metros de la pata del talud hacia el norte.

No se observan manifestaciones de agua subterránea.

**Sector 5, Talud Oriental de la cancha de fútbol:** Allí hay remanentes de estratos de arenisca por encima de estratos laminares de arcillolitas grises y violáceas que afloran prácticamente a nivel de la cancha, y un poco por encima de esa cota. La altura media de este talud es de 10 m y su inclinación media de  $29^{\circ}$ , tal como se ilustra en la Figura 2.6

.El principal mecanismo previsible de movimientos del terreno estaría constituido por el deslizamiento planar de bloques de arenisca sobre el estrato arcilloso. La amenaza es clara, pero se ve disminuida por la relativamente baja altura de los taludes.

Las impresiones que se acaban de consignar, en lo que respecta a la sectorización, parten de consideraciones eminentemente cinemáticas, desde la perspectiva de la posibilidad de movimientos dependiendo de las condiciones morfológicas de los taludes y estructurales de la masa rocosa. Sin embargo, la posibilidad real de que esos tipos de movimientos se presenten depende de las propiedades mecánicas de los materiales involucrados y de su evolución con el

tiempo. Igualmente, depende de las características de resistencia de las discontinuidades y de detalles estructurales menos evidentes pero trascendentales para este propósito, como son los dientes generados por las fallas normales escalonadas.

El análisis más exhaustivo y detallado de los diferentes mecanismos de fallas, en los diferentes sectores del talud, se presentará en este Capítulo en el numeral 3.4. Para cada uno de estos mecanismos se realiza en el Capítulo 4 un análisis probabilístico que dependen, entre otros factores, del comportamiento histórico de los taludes.

Al respecto la mayoría de los conceptos recogidos en el sitio y entre los habitantes del sector, indican que el talud ha permanecido estable durante los últimos años y que, incluso durante las épocas de explotación de la cantera, no se presentaron fenómenos importantes de inestabilidad. En ese mismo sentido, las observaciones de campo han mostrado que aún en momentos de precipitaciones intensas, como las que se presentaron durante el mes de Diciembre de 1998 y en Enero de 1999, el talud no ha mostrado signos de inestabilidad o de aumento considerable en el nivel interno de las aguas.

Para finalizar esta parte se presenta la Tabla No.3.1 la cual resume, los tipos de movimientos que se podrían presentar, de acuerdo con los sectores del talud del barrio “El Mirador Conjunto Cerrado.”.

**Tabla .1 Resumen De Potenciales Movimientos Cinemáticamente Posibles.**

SECTOR DEL TALUD	PLANAR	VOLTEO	DESLIZAMIENTO	CAIDA DE BLOQUES	RODAMIENTO DE BLOQUES
1	BAJA	MEDIA	MEDIA	ALTA	ALTA
2	BAJA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA

3	BAJA	MEDIA	MEDIA	ALTA	ALTA
4	BAJA	BAJA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
5	ALTA	BAJA	NO FACTIBLE	MUY BAJA	MEDIO A BAJA

La probabilidad real dependerá de la magnitud de las fuerzas actuantes y de los parámetros de resistencia. La evaluación de las probabilidades de falla se presentan en el Capítulo 4.

### **3.2 Análisis Cinemático de Estabilidad de Taludes.**

Como se indico en el Numeral 2.2.2, las familias de discontinuidades que afectan la masa rocosa, como son los planos de estratificación, de diaclasa y sus intersecciones, son quienes determinan la geometría interna del macizo rocoso. Por lo tanto, con base en la zonificación cualitativa hecha del escarpe. Se procedió a la recolección de información estructural (324 datos) que permitiera determinar en cada sector el plano más representativo de cada familia de discontinuidades y estratificación lo cual se realizó utilizando el método vectorial. En la Tabla .2 se consignan la totalidad de datos utilizados en los análisis.

**Tabla .2 Datos Estructurales Proyecto UPES – El Codito**

SECTOR 1. DATOS ASOCIADOS AL PERFIL 1							SECTOR 2. DATOS ASOCIADOS AL SECTOR 2						
ESTRATOS	$\alpha^1$	$\beta^2$	D2 <sup>3</sup>		D1 <sup>3</sup>		ESTRATOS	$\alpha$	$\beta$	D2		D1	
			$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$				$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
	280	48						282	27				
	250	34	92	58	176	90		280	30	110	52	352	72
	250	36	70	58	360	77		257	48	98	56	358	80

- 
- 1      Azimut de Buzamiento
  - 2      Buzamiento
  - 3      D1 y D2 Familias de diaclasas

SECTOR 1. DATOS ASOCIADOS AL PERFIL 1								SECTOR 2. DATOS ASOCIADOS AL SECTOR 2							
ESTRATOS	$\alpha^1$	$\beta^2$	D2 <sup>3</sup>		D1 <sup>3</sup>			ESTRATOS	$\alpha$	$\beta$	D2		D1		
	258	46	82	63	176	87			274	33	92	46			
	260	42	92	88	175	89			260	54					
	256	42	88	50	6	78			264	47					
	272	48	94	80	2	88			276	44					
	262	30	90	58	28	65			248	36					
	278	46	94	58	24	72			258	45					
	264	48	112	68	33	77			272	40					
	267	48	110	66	18	77									
	270	48	112	63	30	84									
								SECTOR 5. DATOS ASOCIADOS AL PERFIL 5							
ESTRATOS	$\alpha$	$\beta$	D2		D1			ESTRATOS	$\alpha$	$\beta$	D2		D1		
	265	49	93	78					271	20	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	
	272	45	108	80					266	16	268	84	9	78	
	268	56	110	77					254	18	274	88	212	81	
	286	62	158	63					258	20	284	90	2	72	
	264	44	170	64					288	27	276	88	8	78	
	280	68	272	63					287	24	264	85	2	80	
	272	58							280	34	284	78	24	84	
	274	58							270	26	278	82	14	76	
	274	74							276	22	106	68	22	82	
	262	70							252	30	104	70			
	275	57							270	32	110	78			
									270	46	112	66			
SECTOR 2. DATOS ASOCIADOS AL PERFIL 2								SECTOR 3. DATOS ASOCIADOS AL PERFIL 4							
ESTRATOS	$\alpha$	$\beta$	D2		D1			ESTRATOS	$\alpha$	$\beta$	D2		D1		
	258	38	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$			274	38	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	
	264	46	102	52	186	86			278	42	126	68	328	72	
	264	50	98	56	350	78			284	38	122	70	24	78	
	268	33	93	57	178	88			264	32	128	68	358	81	
	280	34	116	77	370	76			270	34	114	76	358	78	
	270	34	104	63	358	76			274	38	126	72	32	84	
	258	37	98	68	16	70			278	42	124	70	37	85	
	254	37	86	62	10	78			284	38	282	88	34	83	
	258	42	80	65	18	75			264	32	108	42	40	86	
	274	38			138	88			270	34	116	70	42	78	
	258	38			130	86			252	30	127	56			
	272	33			122	87			270	32	120	63			
	270	34			134	64			270	46	118	58			
	276	36							272	38	120	66			
	234	44							268	32	128	64			
	238	38							280	32	118	66			
	230	42							278	28	126	68			
									272	26	134	58			
									272	34	126	54			
									270	34	128	66			
									268	36	120	62			
											110	63			

SECTOR 1. DATOS ASOCIADOS AL PERFIL 1								SECTOR 2. DATOS ASOCIADOS AL SECTOR 2							
ESTRATOS	$\alpha^1$	$\beta^2$	D2 <sup>3</sup>		D1 <sup>3</sup>			ESTRATOS	$\alpha$	$\beta$	D2		D1		
											128	66			
SECTOR 2. DATOS ENTRE LOS PERFILES 2 Y 3								SECTOR 4. DATOS DEL TALUD SUR CANCHA DE FUTBOL							
ESTRATOS	$\alpha$	$\beta$	D2		D1			ESTRATOS	$\alpha$	$\beta$	D2		D1		
	268	28	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$			242	36	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	
	262	28	80	55	310	63			248	40	126	68	32	72	
	274	27	62	54	320	72			268	38	122	70	24	78	
	278	24	54	80	314	82			278	20	128	68	35	81	
	272	30	116	80	370	76			276	28	114	76	35	78	
	264	32	118	78	358	76			258	42	126	72	32	84	
	250	32	128	50	360	76			260	41	124	70	37	85	
	258	38	130	72	24	82			258	18	282	88	34	83	
	264	46	228	76	32	66					108	42	40	86	
	264	50	106	68	34	78					116	70	42	78	
	268	33	138	74	18	73					127	56			
	280	34	122	76	43	64					120	63			
	270	34	114	70	24	68					118	58			
	258	37	290	88	358	88					120	66			
	254	37	96	72	356	84					128	64			
	258	42	96	68	358	80					118	66			
	274	38	118	74	34	76					126	68			
	258	38	114	66	30	75					134	58			
	272	33	120	68	24	78					126	54			
	270	34	118	78	22	78					128	66			
	276	36	118	65	28	88					120	62			
	234	44	102	52	186	86					110	63			
	238	38	98	56	350	78					128	66			
	230	42	93	57	178	88									

Al evaluar los planos más representativos es posible además realizar la correspondiente clasificación del macizo rocoso (R.M.R, Bieniawski 1989) y el análisis cinemático de los taludes más críticos de cada zona. Los resultados obtenidos del análisis cinemático se exponen a continuación.

**Sector 1.** Corresponde al extremo sur del escarpe, allí debajo de la acumulación de bloques de arenisca entrabados, se halla la masa rocosa “in situ” conformada por estratos de arenisca, como se ilustra en la Figura 2.2. En la Figura 3.1 se muestran los polos de las diferentes estructuras geológicas de esta zona y en la Figura 3.2 su representación estereográfica con las

características de la masa rocosa y del talud más crítico para esta zona. De acuerdo con el arreglo geométrico obtenido y realizando los análisis cinemáticos se determina que el talud es cinemáticamente estable.

**Sector 2.** Como se muestra en el Plano de Sectorización, CD-04, por mecanismos de inestabilidad, este sector comprende el tramo de escarpe localizado entre los perfiles 2 y 3 (ver Figuras 2.3 y 2.4), con una extensión en el rumbo de aproximadamente 50 m. En este sector la masa rocosa está constituida por estratos gruesos de arenisca y se encuentra mejor expuesta que en los otros sectores. . En las Figuras 3.3 a 3.5, se muestran los datos estructurales de este sector y en la Figura 3.6 se presenta la red estereográfica con las características de la masa rocosa y del talud más crítico. Se ha introducido el valor de la fricción obtenido para el plano de estratificación a partir de ensayos de corte directo.

La evaluación cinemática usando el análisis de Markland permite determinar que la falla planar controlada por el plano de estratificación no es posible, ya que el valor de la fricción es superior al buzamiento del plano de estratificación. Sin embargo la posibilidad de falla por volteo que estaría controlada principalmente por la discontinuidad D2, existe.

**Sector 3.** Corresponde al extremo norte del escarpe principal del área de estudio, en este sector la masa rocosa, conformada por estratos gruesos de arenisca, está bastante recubierta por las acumulaciones de bloques de arenisca, angulares, de varios tamaños, pero con predominio principalmente de bloques grandes. Por lo tanto, para determinar la geometría de la roca se contó con escasos afloramientos, sin embargo se obtuvieron los resultados que se consignan en la Figura 3.7. y 3.8. Analizando estas Figuras junto con la Figura 2.4 se puede determinar que la falla planar no es posible por las razones anteriormente expuestas para el sector 2. Tampoco sería posible la falla por

volteo controlada por la discontinuidad D2, sin embargo si el depósito de bloques Qbt se llegara a inestabilizar el volteo probablemente ocurriría.

**Sector 4.** Corresponde al escarpe de pendiente uniforme ubicado al sur de la cancha de fútbol. Las Figuras 3.9 y 3.10 registran la condición geométrica de la masa rocosa y la geometría del talud predominante. De acuerdo con este arreglo el talud es cinemáticamente estable, no obstante debido a que el talud no es continuo en su orientación y tiene algunos tramos cortos con orientación similar a la del escarpe principal, ha ocurrido en esos sitios caída de bloques por volteo lo cual se puede evidenciar gracias a los bloques que se observan en la base del escarpe.

**Sector 5.** Comprende el talud oriental de la cancha de fútbol, en este sector, como se observa en la Figura 3.11 y como se observa en la Figura 3.12, la falla planar es probable. Este mecanismo de falla ya se ha presentado. Este fenómeno es favorecido por la presencia de la arcillolita en la parte baja del talud con un valor de la fricción a lo largo del plano de estratificación de  $23^{\circ}$  cuyo valor es similar a la inclinación de los estratos como se observa en la Figura 2.6.

### **3.3 CLASIFICACION DEL MACIZO ROCOSO**

Es importante hacer la clasificación de la masa rocosa para lo cual se recolectó la información de campo y de laboratorio mínima necesaria para realizarla. Para tal fin se utilizó la metodología R.M.R (Bieniawsky, 1989), mencionada anteriormente. A partir del valor del R.M.R. obtenido en cada sector del escarpe del Mirador se procedió, usando la metodología de Hoek y Kaiser (1995) a determinar el valor del G.S.I. y de los parámetros de resistencia de la masa rocosa. Los resultados finales obtenidos se muestran a continuación.

**Tabla .3 – Barrio El Mirador Conjunto Cerrado  
Clasificación Del Macizo Rocosó Para Taludes**

**Y Evaluación De Sus Parámetros De Resistencia (R.M.R., 1989)**  
**Sector 1 a 3.**

Parámetros de Clasificación		CLASE DE ROCA: ARENISCA FRIABLE					
		SECTOR 1 <b>PERFIL 1</b>		SECTOR 2 <b>PERF. 2 y 3</b>		SECTOR 3 <b>PERFIL 4</b>	
		Valor	Indice	Valor	Indice	Valor	Indice
Resistencia Roca Intacta	$\sigma_{tb}$	19 Mpa	15	19 Mpa	15	19 Mpa	15
	$\sigma_c$	52.72 Mpa		52.72 Mpa		52.72 Mpa	
R.Q.D.		84%	17	82%	17	82%	17
Espac Discontinuidad		Estr 60 cm	15	150 cm	15	200 cm	15
Cond de Discontinuidad	Rugosidad	Estr Ondulada 5	21	Ondulada 5	21	Ondulada 5	21
	Persistencia	Estr > 20 m 1		> 20 m 1		> 2.0 m 1	
	Abertura	Estr 0 5		0 5		0 5	
	Relleno	5		5		5	
	Meteorización	Leve 5		Leve 5		Leve 5	
	Agua Subterránea	Húmedo 10		Húmedo 10		Húmedo 10	
Ajuste por orientación de las discontinuidades		Moderado	-25	Moderado	-25	Moderado	-25
R.M.R.		53		53		53	
CLASE N°		III		III		III	
DESCRIPCION		REGULAR		REGULAR		REGULAR	
G. S. I.		78		78		78	

**Tabla .4 – Barrio El Mirador Conjunto Cerrado**  
**Clasificación Del Macizo Rocoso Para Taludes**  
**Y Evaluación De Sus Parámetros De Resistencia (R.M.R., 1989)**  
**Sector Cancha De Fútbol**

CLASE DE ROCA	
ARENISCA FRIABLE	ARCILLOLITA



Parámetros de Clasificación			SECTOR 4. TALUD SUR CANCHA DE FUTBOL		SECTOR 5. TALUD ESTE CANCHA DE FUTBOL	
			Valor	Indice	Valor	Indice
Resistencia Roca Intacta	$\sigma_{tb}$	19 Mpa	15	2.21 Mpa*	7	
	$\sigma_c$	52.72 Mpa		71.98 Mpa		
R.Q.D.			82%	17	80%	13
Espac	Estr	200 cm	15	D1 50 cm	8	
Discontinuidad						
Cond de Discontinuidad	Rugosidad	Estr	Ondulada 5	21	D1 Leve 3	22
	Persistencia	Estr	> 2.0 m 1		D1 1.5 m 4	
	Abertura	Estr	0 5		D10 5	
	Relleno		5		5	
	Meteorización		Leve 5		Leve 5	
	Agua Subterránea		Húmedo	10	Húmedo	10
Ajuste por orientación de las discontinuidades			Favorable	-25	Desfavorable	-25
R.M.R.			53		35	
CLASE N°			II		IV	
DESCRIPCION			BUENA		MALA	
G. S. I.			78		60	

- (Goodman 1989).

El valor del G.S.I., es igual al R.M.R. – 5, donde este R.M.R. se calcula con talud seco, lo que significa que la calificación del agua es de 15 puntos y sin tener en cuenta el ajuste por orientación de las discontinuidades.

**Tabla .5 EL MIRADOR CONJUNTO CERRADO ESCARPE DE LA ANTIGUA EXPLOTACION (SECTOR CONJUNTO CERRADO) SECTOR 1 A 3**

DATOS DE ENTRADA								
GSI =	78							
$\sigma_{ci}$ (MPA) =	52.72							
mi =	19							
			$\sigma_3$	$\sigma_1$	$\delta\sigma_1/\delta\sigma_3$	$\sigma_n$	$\tau$	$\sigma\tau$
			0	0		0	0	
mb/mi	0.46		0.05	16.32	15.03	1.07	3.93	4.20
mb	8.66		0.10	17.08	14.45	1.20	4.18	5.02



mb	0.96		0.14	8.54	5.11	1.52	3.11	4.71	2.30
s	0.012		0.28	9.24	4.85	1.81	3.37	6.11	3.28
a	0.50		0.56	10.54	4.46	2.39	3.86	9.24	5.72
E (MPA)	17783		1.12	12.89	3.93	3.51	4.73	16.61	12.32
$\phi'$	30.36		2.25	16.95	3.35	5.63	6.19	34.83	31.70
C' (MPA)	2.46		4.50	23.77	2.79	9.58	8.49	81.36	91.81
$\sigma_{cm}$ (MPA)	8.60		9.00	35.10	2.32	16.86	11.98	201.89	284.18
					$\Sigma$	42.67	44.70	358.80	433.18

De los anteriores resultados se puede anotar que la clasificación del macizo rocoso está entre regular y buena.

Es conveniente aclarar que en las anteriores Tablas se han incluido ciertas características de cada una de las tres familias de discontinuidades, pero para fines de calificación se ha valorado solo la familia que es desventajosa para el comportamiento de la masa en la dirección que es requerida.

### **3.4 ANALISIS DE ESTABILIDAD**

Para realizar los análisis de estabilidad, se parte de los perfiles geológicos expuestos en el Capítulo 2 y en los valores de los parámetros de resistencia de los materiales que se exponen a continuación:

Los resultados de los ensayos de laboratorio realizados en un estudio anterior de la zona ubicada diez cuadras al sur, se presentan en la Tabla 3.8. Los realizados para este estudio y los valores obtenidos se muestran en la Tabla 3.9. Con base en estos resultados y en los obtenidos de la clasificación del macizo rocoso se escogieron los siguientes valores de los parámetros de resistencia para los análisis determinísticos:

Arenisca:  $C' = 9.3 \text{ T/m}^2$ ,  $\phi' = 40.5^\circ$   $\gamma = 2.43 \text{ T/m}^3$ .

Arcilla:  $C' = 5 \text{ T/m}^2$ ,  $\phi' = 24^\circ$   $\gamma = 2.0 \text{ T/m}^3$ .

Bloques sueltos:  $C' = 0 \text{ T/m}^2$ ,  $\phi' = 33^\circ$   $\gamma = 1.8 \text{ T/m}^3$ .

El coeficiente de variación de los parámetros de resistencia se tomo como un 20%, de acuerdo con la metodología recomendada por Harr (1987) para realizar los análisis probabilísticos que se muestran en el Capítulo 4.

**Tabla .8 Valores De Los Parámetros De Resistencia Del Estudio Denominado “Estudio Y Diseños De Estabilidad De Taludes Y Control De Erosión Y Manejo De Aguas Para La Estabilización De Diferentes Sitios En La Ciudad De Santafé De Bogotá Grupo 3” (Agosto De 1998).REALIZADO POR LA FIRMA HIDROTEC S.A.**

<b>MATERIAL</b>	<b>VALOR</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
<b>Arenisca grano medio a grueso friable, con abundante aumento ferruginoso; color amarillo oscuro a rojizo, cuarzosa, algo feldespática y micácea. SECTOR EL CODITO E1-M1</b>	$\sigma_c = 172.84 \text{ Kg/cm}^2$ $\gamma_t = 2 \text{ T/m}^3$	Compresión inconfiada Peso Unitario
<b>Arenisca color gris claro a blanco, cuarzosa, micácea con pocos máficos con restos de espículas de esponjas, algo de matriz arcillosa. SECTOR EL CODITO E2-M2</b>	$\sigma_c = 214.27 \text{ Kg/cm}^2$ $\gamma_t = 2.03 \text{ T/m}^3$	Compresión inconfiada Peso Unitario
<b>Arenisca de grano fino, compacta, bien cementada con cemento ferruginoso. SECTOR STA CECILIA NORTE E10-M3</b>	$\sigma_c = 1536.16 \text{ Kg/cm}^2$ $\gamma_t = 2.14 \text{ T/m}^3$	Compresión inconfiada Peso Unitario
<b>Arenisca de grano fino, compacta, bien cementada con cemento ferruginoso. SECTOR STA CECILIA NORTE E10-M4</b>	$\sigma_c = 968.09 \text{ Kg/cm}^2$ $\gamma_t = 2.18 \text{ T/m}^3$	Compresión inconfiada Peso Unitario

MATERIAL	VALOR	OBSERVACIONES
<b>Arenisca fina muy silicea con laminación muy fina, algo paralela a ondulada, muy compacta. Presenta espículos de esponja con cemento ferruginoso</b>  <b>SECTOR STA CECILIA NORTE E10-M10</b>	$\sigma_c = 2507.29 \text{ Kg/cm}^2$  $\gamma_t = 2.18 \text{ T/m}^3$	Compresión inconfiada  Peso Unitario

Adicional a estos ensayos de laboratorio, en el estudio mencionado se reporta que se hicieron 15 pruebas de bloque deslizante, en las que se obtuvieron ángulos entre 30° y 40° , con un promedio de 38°.

**Tabla .9 Valores De Los Parámetros De Resistencia Encontrados Mediante Ensayos De Laboratorio Realizados Para Este Estudio.**

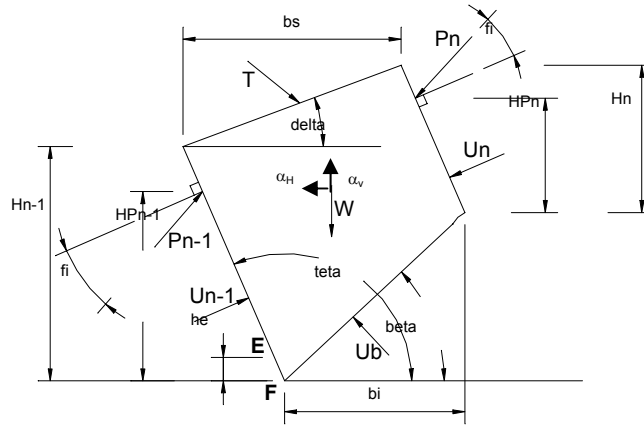
MUESTRA	ENSAYO	VALOR	DESCRIPCION
MUESTRA 1  U.NACIONAL	Compresión simple, Tracción Brasilerá y Peso Unitario	$\sigma_c = 15.53 \text{ Mpa}$ $(\sigma_c = 158.52 \text{ Kg/cm}^2)$ $\sigma_{tb} = 0.548 \text{ Mpa}$ $(\sigma_{tb} = 5.58 \text{ Kg/cm}^2)$ $\gamma_t = 2.13 \text{ T/m}^3$	Arenisca Friable de grano fino color habano.
MUESTRA 2  U.NACIONAL	Compresión simple, Tracción Brasilerá y Peso Unitario	$\sigma_c = 19.346 \text{ Mpa}$ $(\sigma_c = 197.21 \text{ Kg/cm}^2)$ $\sigma_{tb} = 0.898 \text{ Mpa}$ $(\sigma_{tb} = 9.15 \text{ Kg/cm}^2)$ $\gamma_t = 2.11 \text{ T/m}^3$	Arenisca cuarzosa friable de grano fino color habano.
MUESTRA 3  U.NACIONAL	Corte Directo y  Peso Unitario	"Envolvente curva" $C' = 0.091 \text{ Mpa}$ $(C' = 0.93 \text{ Kg/cm}^2)$ $\phi' = 40.5^\circ$ $\gamma_t = 2.43 \text{ T/m}^3$	Arenisca cuarzosa friable de grano fino color habano.  Condición inicial de la muestra: Cementada.

MUESTRA	ENSAYO	VALOR	DESCRIPCION
MUESTRA 4  U.NACIONAL	Corte Directo y  Peso Unitario	“Envolvente curva” C' = 0.078 Mpa (C' = 0.80 Kg/cm <sup>2</sup> ) φ' = 32.88° γ <sub>t</sub> = 2.49 T/m <sup>3</sup>	Arenisca cuarzosa algo friable de grano fino color habano a amarillo. Condición inicial con rugosidad natural.
MUESTRA ARCILLOLITA  SUELOS Y PAVIMENTOS	Corte Directo y  Peso Unitario	“Envolvente curva” C' = 0.017 Mpa (C' = 0.17 Kg/cm <sup>2</sup> ) φ' = 24° γ <sub>t</sub> = 2.135	Arcillolita de color habano grisáceo con tonos morados

Los ensayos realizados se realizaron sobre muestras recogidas en los sectores 2 y 3, a excepción de la muestra de arcillolita que se recogió en el sector 5.

#### 3.4.1 Análisis de estabilidad por volteo de bloques.

Se desarrolló un modelo representativo de las condiciones de campo con el fin de realizar el análisis por volteo de bloques. Dentro de las condiciones poco usuales en el común de los análisis de este tipo se encuentra el entramamiento de los bloques debido al sistema de diaclasas y fallas que han actuado en el macizo. Esto hace que los bloques tengan un punto de apoyo (diente) en la parte baja de cada uno. El planteamiento básico consiste (ver Gráfico 3.1) en evaluar las fuerzas externas actuantes sobre cada bloque para determinar así el sentido del momento resultante y considerar si se requiere o no una fuerza estabilizadora para evitar el volteo del bloque.



**Gráfico 3.1 Geometría analizada para falla por volteo**

En la formulación del problema se suponen conocidos tanto los valores de las fuerzas  $U_n$ ,  $U_{n-1}$ ,  $U_b$  y  $P_n$  como también su dirección y punto de aplicación, por lo que:

a) Sumatoria de momentos con respecto a E:

$$\Sigma M = U_b^* \times D_a + U_{n-1}^* \times D_b + U_n \times D_c + P_n \times D_d + W \times D_e + w_h \times D_f + w_v \times D_g$$

(3.1)

Donde:

$U_b^*$ : Fuerza de subpresión parcial actuando en la base del bloque.

$U_{n-1}^*$ : Fuerza hidrostática parcial en el lado izquierdo del bloque

$U_n$ : Fuerza hidrostática en el lado derecho del bloque

$P_n$ : Fuerza ejercida por el bloque adyacente al lado derecho.

$W$ : Peso del bloque

$w_h$ : Componente de la fuerza de sismo en el sentido horizontal

$w_v$ : Componente de la fuerza de sismo en el sentido vertical

$D_{a,b,\dots}$  etc. Corresponden a las diferentes distancias del punto de aplicación de cada fuerza al punto E.

b) Sumatoria de fuerzas:

Se deben descomponer todas las fuerzas en sentido perpendicular al lado E-F del bloque.

c) Determinación de los esfuerzos en el lado E-F:

Con los valores encontrados en los dos pasos anteriores se tiene que:

- ◆ Esfuerzo en el punto E (compresión)  $\sigma_e$ :

$$\sigma_e = G_e / V \quad (3.2)$$

$$G_e = 0.5 \times D_{E-F} \times (M + 2/3 \times D_{E-F} \times F) \quad (3.3)$$

$$V = - D_{E-F}^3 \times 1/12 \quad (3.4)$$

$D_{E-F}$ : Distancia puntos E y F

M: Sumatoria de momentos

F: Sumatoria de fuerzas en dirección perpendicular a E-F

- ◆ Esfuerzo en el punto F (tracción)  $\sigma_f$ :

$$\sigma_f = G_f / V \quad (3.5)$$

$$G_f = - 0.5 \times D_{E-F} \times (D_{E-F} \times 1/3 \times F + M) \quad (3.6)$$

Se debe comparar el esfuerzo encontrado  $\sigma_f$  con el valor de la tracción de la roca; de ser superior y sí la sumatoria de momentos a favor del volteo se de determinar la fuerza  $P_{n-1}$ . En el momento que el bloque intente voltearse para el análisis se supone que se generan fuerzas puntuales en los puntos E y F del bloque, se debe determinar el punto de intersección de estas dos fuerzas y efectuar la sumatoria de momentos con respecto a este punto. Este artificio busca eliminar la necesidad de conocer el valor de las fuerzas actuantes en estos puntos.

Se supone conocido el punto de aplicación de la fuerza  $P_{n-1}$ .

Este análisis se realiza para dos condiciones; una, teniendo en cuenta la presencia del diente inferior de cada bloque; la otra, en el caso de no tenerlo. Las fuerzas externas tenidas en cuenta corresponden al peso del bloque, y las fuerzas hidrostáticas debidas básicamente a tres condiciones de saturación del macizo como son: nivel freático coincidiendo o cercano al nivel del terreno, nivel



freático aproximadamente a la altura media de cada bloque y nivel freático en la base de los bloques o por debajo de los bloques.

Los análisis que incluyen el efecto sísmico se realizaron con valores de 0.24 veces la aceleración de la gravedad en sentido horizontal y 0.12 veces la aceleración de la gravedad en sentido vertical.

En los casos que se requiere la fuerza estabilizadora, este valor se introduce como dato de entrada para el análisis del siguiente bloque. Los sectores a los cuales se les realizaron los análisis por volteo son los sectores uno dos y tres. En las Figuras 3.16 a 3.18 se presentan las secciones con los bloques analizados en cada una de ellas. Los resultados obtenidos para los últimos bloques de cada sistema de bloques analizados se presentan junto con las secciones correspondientes.<sup>4</sup>

El parámetro de resistencia utilizado en este tipo de análisis corresponde solo al valor de la fricción, debido a la naturaleza del material. Este valor se varió entre el rango de 24° a 50°. Se presentan los factores de seguridad inferiores a 1.0 en los últimos bloques de los perfiles 1 y 2 (sectores 1 y 2 respectivamente) en donde para las condiciones más desfavorables (saturado y con sismo) se requiere la fuerza estabilizadora.

El análisis también se realizó en la condición tal que no se contara con el entramamiento que presenta el macizo rocoso, en este caso los resultados arrojaron un comportamiento más desfavorable comparado con los análisis anteriores, específicamente se obtienen los siguientes resultados:

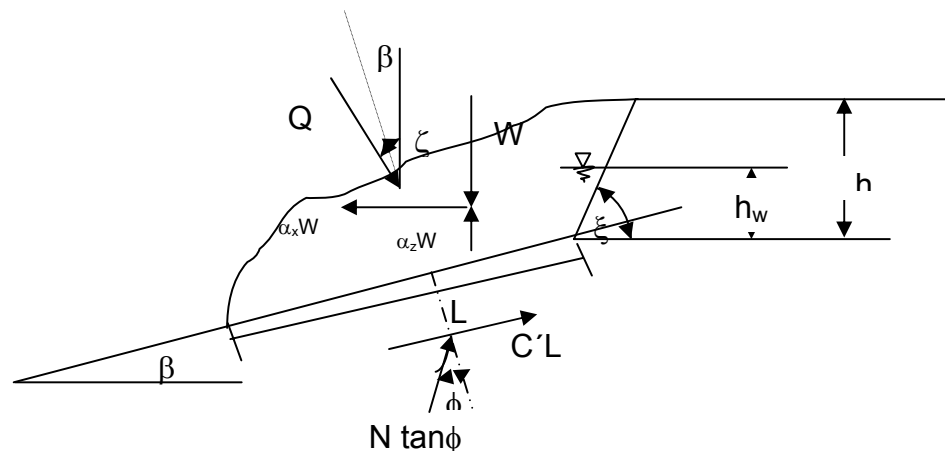
---

<sup>4</sup> Se presentan los Bloques en donde, según el análisis, se requiere Pn-1

En el sector 1 se requiere una fuerza estabilizadora de aproximadamente 31 toneladas en sentido horizontal y aplicada en la parte media del ultimo bloque para estabilizar todo el conjunto de bloques. En el sector 2, perfil No. 2, la fuerza estabilizadora tendría un valor de aproximadamente 22 Ton en sentido horizontal y en el perfil No. 3, se requiere una carga de 6 Ton. En líneas generales se puede decir que los análisis determinísticos arrojan resultados desfavorables en los casos más extremos, sin embargo, de acuerdo con lo observado en el sitio, la probabilidad de que se presenten dichas condiciones es baja. El análisis detallado de probabilidades de falla de este mecanismo se presenta en el Capítulo No.4.

### 3.4.2 Análisis de estabilidad planar

Este fenómeno que tiene posibilidad de ocurrencia en las zonas 2, 4 y 5 se ha analizado mediante un modelo de equilibrio límite, que tiene en cuenta las siguientes fuerzas: el peso del bloque ( $W$ ) que está inclinado un ángulo ( $\beta$ ) respecto a la horizontal, la presión del agua teniendo en cuenta una altura de la misma ( $h_w$ ) como porcentaje de la altura del bloque ( $h$ ), la incidencia del sismo horizontal y vertical al colocar fuerzas pseudo-estáticas como porcentaje de la gravedad ( $\alpha_x W$  y  $\alpha_z W$ ), la fuerza cohesiva ( $C'L$ ) y la fuerza friccional ( $N \tan \phi'$ ) como se observa en la Figura 3.19.



**Figura 3.19. Geometría analizada para falla planar y Fuerzas que Intervienen en el Análisis.**

El valor de la reacción Normal  $N'$  que se genera en la base del bloque, se puede obtener al hacer sumatoria de fuerzas en la dirección perpendicular a la estratificación:

$$N' = W[(1 - \alpha_z) \cos \beta - \alpha_x \operatorname{Sen} \beta] - \frac{\gamma_w h_w}{2} \left[ \frac{h_w}{\operatorname{Sen} \xi} \cos(\xi - \beta) + L \right] + Q^* \cos(\zeta - \beta) \quad (3.7)$$

$$T_a = W[(1 - \alpha_z) \operatorname{Sen} \beta - \alpha_x \cos \beta] + \frac{\gamma_w h_w^2}{2 \operatorname{Sen} \xi} \operatorname{Sen}(\xi - \beta) - Q^* \operatorname{Sen}(\zeta - \beta) \quad (3.8)$$

Conociendo que el esfuerzo total actuante es:

$$(3.9)$$

En la expresión 3.9, se puede despejar el valor de  $C'$ , presentándose de la siguiente manera:

$$(3.9a)$$

Con las ecuaciones 3.7 y 3.8 en 3.9a, se obtiene el valor de la cohesión requerida en función del ángulo de fricción requerido. Si  $h_w$  se obtiene como un porcentaje de la altura del bloque. De esta manera, se desarrollaron los análisis para diferentes condiciones del nivel freático. Los resultados del sector 1 (Figura 2.2) se presentan en la Tabla 3.10 y en la Figura 3.20. En las Tablas 3.11 a 3.15 se presenta el resumen de los Factores de Seguridad para cada uno de los sectores, de todos los posibles valores de  $C'$  y  $\phi'$ , tomando el coeficiente de variación del 20% de acuerdo con lo expuesto al comienzo del numeral 3.4. Los resultados de los análisis de los otros sectores similares a los de la Tabla 3.10 y Figura 3.20, se presentan al final del documento, en el Anexo de análisis de estabilidad. El resumen de los factores de seguridad de cada uno de los sectores se presenta en las Tablas 3.11 a 3.15.

En la información de todos los análisis, donde dice “Opción 2”, quiere decir que se analizó otro bloque dentro del mismo perfil, con opción de fallar.

De los resultados de los análisis de falla planar, se concluye que los sectores correspondientes a los taludes en roca, es decir, 1 a 3, correspondientes a los

perfiles 1 a 4, son estables. Los análisis de estabilidad por falla planar del sector 5, correspondientes al perfil 5, (cancha de fútbol) presentan Factores de Seguridad muy bajos para su geometría actual, lo cual está de acuerdo con lo observado en campo y justifica la necesidad de intervenir este talud para disminuir la amenaza para la comunidad.

### 3.4.3 Análisis de estabilidad de los depósitos cuaternarios

Para realizar el análisis de estabilidad de los depósitos recientes que se presentan en varias zonas del talud, se utilizaron dos métodos a saber: el método de Janbu con superficie de falla definida la cual corresponde al contacto roca – depósito reciente y el método de Janbu para superficies rotacionales.

Para estos análisis se utilizaron parámetros de resistencia tomados de la experiencia de Rocas y Minerales con depósitos de este tipo. La condición analizada con respecto al nivel freático corresponde a materiales secos porque es la condición que predomina en los sitios. Estos análisis se realizaron para los perfiles 1, 2 y 4. Los resultados de los análisis con superficie definida por el contacto cuaternario – roca se presentan en las Figuras 3.21 a 3.28.

El resumen de los Factores de Seguridad se presenta en la Tabla 3.16

**Tabla 3.16 Valores De Los Factores de Seguridad de los Depósitos Cuaternarios de los Sectores 1 a 3.**

Sector/Perfil	Factor de Seguridad	
	Sin Sismo	Con Sismo
Sector 1 / Perfil 1. Seco $C'=0$ $f'=33^\circ$	1.268	0.936
Sector 2 / Perfil 2. Seco $C'=0$ $f'=33^\circ$	1.152	0.667
Sector 3 / Perfil 4 Parte baja. Seco $C'=0$ $f'=33^\circ$	1.11	0.653
Sector 3 / Perfil 4 Parte alta. Seco $C'=0$ $f'=33^\circ$	1.256	0.714

Los datos consignados en la Tabla 3.16 de las Figuras 3.21 a 3.28, se realizaron considerando que el material no tiene cohesión. Estudiando las diferentes posibilidades de resistencia del material, se obtuvieron ábacos en donde se muestra el valor de la cohesión requerida para un determinado ángulo de fricción, dado un Factor de Seguridad determinado. En el desarrollo de esta



$\phi$	Tan $\phi$	F.S.=0.25	F.S.=0.50	F.S.=0.75	F.S.=1.0	F.S.=1.25	F.S.=1.50
0	0	0.276	0.552	0.828	1.104	1.38	1.656
10	0.176	0.076	0.352	0.628	0.904	1.180	1.456

**Tabla 3.21 Sector 2 Perfil 2 Parcialmente Saturado Con Sismo Cohesión para F.S y  $\phi$**

$\phi$	Tan $\phi$	Cohesión (T/m <sup>2</sup> )					
		F.S.=0.25	F.S.=0.50	F.S.=0.75	F.S.=1.0	F.S.=1.25	F.S.=1.50
0	0	0.276	0.552	0.828	1.104	1.38	1.656
20	0.364	0.04	0.316	0.592	0.869	1.144	1.420

**Tabla 3.22 Sector 2 Perfil 2 Saturado Cohesión para F.S y  $\phi$**

$\phi$	Tan $\phi$	Cohesión (T/m <sup>2</sup> )					
		F.S.=0.25	F.S.=0.50	F.S.=0.75	F.S.=1.0	F.S.=1.25	F.S.=1.50
0	0	0.276	0.552	0.828	1.104	1.38	1.656
35	0.70	0.030	0.306	0.582	0.858	1.134	1.410

**Tabla 3.23 Sector 3 Perfil 4 Seco Con Sismo Cohesión para F.S y  $\phi$**

$\phi$	Tan $\phi$	Cohesión (T/m <sup>2</sup> )					
		F.S.=0.25	F.S.=0.50	F.S.=0.75	F.S.=1.0	F.S.=1.25	F.S.=1.50
0	0	0.2213	0.47	0.7	0.94	1.174	1.41
10	0.177	0.055	0.304	0.534	0.774	1.008	1.244

**Tabla 3.24 Sector 3 Perfil 4 Parcialmente Saturado Con Sismo Cohesión para F.S y  $\phi$**

$\phi$	Tan $\phi$	Cohesión (T/m <sup>2</sup> )					
		F.S.=0.25	F.S.=0.50	F.S.=0.75	F.S.=1.0	F.S.=1.25	F.S.=1.50
0	0	0.235	0.47	0.7	0.94	1.174	1.41
20	0.364	0.0421	0.278	0.507	0.747	0.981	1.217

**Tabla 3.25 Sector 3 Perfil 4 Saturado Cohesión para F.S y  $\phi$**

$\phi$	Tan $\phi$	Cohesión (T/m <sup>2</sup> )					
		F.S.=0.25	F.S.=0.50	F.S.=0.75	F.S.=1.0	F.S.=1.25	F.S.=1.50
0	0	0.235	0.47	0.7	0.94	1.174	1.41
45	1	0.057	0.292	0.522	0.762	0.995	1.232

Adicionalmente, como se mencionó en el comienzo de este apartado, se realizaron otros análisis de estabilidad de los cuaternarios con superficies de falla rotacionales. Este análisis fue desarrollado por sugerencia de la interventoría y los resultados se presentan a continuación en las tablas 3.26 a 3.28. Se desarrollo considerando el material sin cohesión para varias condiciones de sismo y saturación y con diferentes valores de ángulo de

fricción. Además, suponiendo la ocurrencia de un deslizamiento, se realizó un análisis de la máxima distancia hasta la que llegaría el material, sin considerar que existan las viviendas en la parte baja del talud y se determino el ángulo de fricción residual para cada caso, como se observa en las tablas mencionadas.

**Tabla 3.26 Sector 1 Perfil 1. Valores del Factor de Seguridad, de la distancia máxima y de  $\phi$  residual para diferentes condiciones de Saturación y Sismo.**

Condición del Talud	Factor de Seguridad			Dist Máx. (m)	$\phi$ residual
	$\phi = 30$	$\phi = 37$	$\phi = 45$		
NO EQ* NO LL**	.9	1.174	1.555	0	30
EQ + NO LL	.546	.712	.944	2.4	3.44
NO EQ + LL	.268	.349	.462	12.3	17
EQ + LL	.081	.106	.136	9	-9.56

\* EQ: Sismo

\*\*LL: Luvia

**Tabla 3.27 Sector 2 Perfil 2. Valores del Factor de Seguridad, de la distancia máxima y de  $\phi$  residual para diferentes condiciones de Saturación y Sismo.**

Condición del Talud	Factor de Seguridad			Dist Máx. (m)	$\phi$ residual
	$\phi = 30$	$\phi = 37$	$\phi = 45$		
NO EQ NO LL	.801	1.044	1.385	2.5	30
EQ + NO LL	.481	.627	.83	7	3.44
NO EQ + LL	.199	.259	.339	15	17
EQ + LL	.035	.04	.044	7	-9.56

**Tabla 3.28 Sector 3 Perfil 4. Valores del Factor de Seguridad, de distancia máxima y de  $\phi$  residual para diferentes condiciones de Saturación y Sismo.**

Condición del Talud	Factor de Seguridad			Dist Máx. (m)	$\phi$ residual
	$\phi = 30$	$\phi = 37$	$\phi = 45$		
NO EQ NO LL	.902	1.178	1.559	0	30
EQ + NO LL	.527	.687	.911	4.6	3.44
NO EQ + LL	.27	.353	.464	12	17
EQ + LL	.052	.063	.073	7.3	-9.56

#### 3.4.4 Análisis por caída de bloques sueltos.

El análisis de caída de bloques se desarrollo para los sectores 1, 2 y 3 de la sectorización geotécnica. Para el desarrollo de este análisis se utilizó el programa Rocfall que tiene en cuenta la masa del bloque, la geometría de los perfiles del terreno y la capacidad de amortiguación de cada uno de los materiales aflorantes a lo largo del perfil sobre los cuales cae el bloque. En las Figuras 3.29 a 3.31 se presentan los resultados de la distancia hasta la que llegaría un bloque de 1.5x1.5x1.0 si cayera por el Talud para los sectores 1 a 3 respectivamente, sin barrera en la base. En las Figuras 3.32 a 3.34 se presentan los resultados de la velocidad de caída en función de la distancia para los mismos sectores, con los perfiles 1,2 y 4. Los análisis hechos con barrera en la base, permiten conocer el orden de magnitud de la fuerza de impacto del bloque sobre la barrera, para establecer el tamaño y diseño estructural de dicha barrera. En la Tabla 3.29 se presenta el resumen de los resultados de las Figuras 3.29 a 3.34.

**Tabla 3.29 Distancia Máxima y Velocidad de Rodamiento de Bloques en los Sectores 1 a 3.**

<b>Sector/Perfil</b>	<b>Dist. Casas (m)</b>	<b>Distancia (m)</b>	<b>Velocidad máx.(m/s)</b>
Sector 1 / Perfil 1	263.35	266.55	14
Sector 2 / Perfil 2.	263.4	273.11	14
Sector 3 / Perfil 4	267.7	271.4	10

De la Tabla 3.29 se puede establecer que las casas son vulnerables, ya que si un bloque de las dimensiones anotadas antes, que es el de mayor ocurrencia según lo visto en campo, cayera, entraría más allá del límite de las casas (Véase las Figuras 3.29 a 3.31).

Para establecer un valor de factor de seguridad, se realizó el análisis de la posibilidad de que un bloque con  $C' = 0$  y un valor de  $\phi'$  caiga sobre un plano inclinado con un ángulo  $\beta$ . Los resultados se presentan en la Tabla 3.30.



**Tabla 3.30 Factores de Seguridad de Falla por Rodamiento para los Sectores 1 a 3.**

Sector / Perfil	Áng. Promedio del Talud	Angulo con sismo	Factor de Seguridad					
			Sin sismo			Con sismo		
			$\phi$ mínimo	$\phi$	$\phi$ máximo	$\phi$ mínimo	$\phi$	$\phi$ máximo
Sector 1 y 3/ Perfil 1 y 4	36	51.3	0.87	1.18	1.56	0.51	0.69	0.91
Sector 2 / Perfil 2	37	52.3	0.84	1.13	1.51	0.49	0.66	0.88

$\phi$  disponible ( $^{\circ}$ ) = 40.5

C.V. = 20%

$\phi$  mínimo ( $^{\circ}$ ) = 32.4

$\phi$  máximo ( $^{\circ}$ ) = 48.6

$\alpha_H$  = 0.24

$\alpha_V$  = 0.12

$\alpha^*$  = 15.3

$\phi$  = Ángulo de fricción interno

C.V. = Coeficiente de variación

$\phi$  mínimo = Ángulo de fricción interno - C.V.

$\phi$  máximo = Ángulo de fricción interno + C.V.

$\alpha_H$  = Coeficiente de Aceleración horizontal

$\alpha_V$  = Coeficiente de Aceleración Vertical

$\alpha^*$  = Ángulo que se suma al talud, debido a sismo

## 4 ANALISIS DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO

### 4.1 INTRODUCCIÓN

Bogotá se encuentra ubicada en lo alto de la cordillera oriental, muy cerca de uno de los sistemas de fallas de mayor actividad neotectónica, como es el sistema del Borde Llanero ó de Guaicáramo. Dentro de sus límites, se encuentran zonas de alta pendiente como son los cerros orientales, zonas de grandes depósitos de material blando, como lo es la zona del antiguo lago, hoy Sabana de Bogotá.

Es la ciudad más densamente poblada del país. La población más vulnerable se ubica precisamente en las zonas de mayor amenaza. El sector de estudio se localiza en los cerros orientales al norte de la ciudad en un sitio de una antigua cantera.

Como parte del estudio se hará el análisis de riesgo, presentando un cuadro de decisiones, que permita a las autoridades gubernamentales, tomar decisiones, de acuerdo a los costos y a los riesgos que se deseen asumir. En el presente estudio se utilizó un periodo de retorno de 50 años.

#### **4.2 METODOLOGÍA**

De acuerdo con la metodología expuesta por A.J. González (1990), se evaluó el riesgo desarrollando las siguientes actividades:

- Evaluación de la amenaza.
  - Determinación de los movimientos factibles en el área de estudio
  - Análisis de estabilidad para cada uno de los movimientos y cálculo de factor de seguridad
  - Determinación de zonas de amenaza homogéneas
  - Cálculo de probabilidad de ocurrencia de cada uno de los movimientos con base en el factor de seguridad.
  - Zonificación de áreas de afectación
  - Cálculo de áreas y costos de afectación
  - Diseño de soluciones de estabilización
  - Cálculo de costo de las obras de estabilización
- Cálculo de la Vulnerabilidad
  - Vulnerabilidad social
    - Cálculo del índice de vulnerabilidad social
      - Índice de carencia de servicios
      - Índice de carencia de vivienda
  - Vulnerabilidad física

- Cálculo de índice de vulnerabilidad física
  - Área afectada
  - Personas afectadas
  - Estimativo de costos
  
- Cálculo del nivel de riesgo
- Elaboración del árbol de decisiones

#### **4.3 Análisis Probabilístico de Falla**

Se realizaron los análisis de estabilidad de los diferentes mecanismos de falla en cada uno de los sectores, teniendo en cuenta los valores extremos probables de los parámetros de resistencia y realizando los análisis con sismo. (Ver capítulo 3). Dentro de los análisis presentados en dicho Capítulo, se tuvo en cuenta la posibilidad de existencia de Tabla de agua, la cual se tomó de 3 maneras para el bloque considerado, Tabla de agua en la parte inferior del bloque, en la mitad y en la parte superior del bloque. En la Tabla 4.1 se presentan los resultados de la probabilidad de la lluvia necesaria para obtener los niveles de agua mencionados anteriormente. Se utilizó como fuente de información básica la curva de Intensidad - Duración - Frecuencia presentada en el estudio de Hidrotec mencionado atrás.

Para este análisis, se utilizó la fórmula racional, la permeabilidad estimada para cada perfil teniendo en cuenta la pendiente, el área y las condiciones de deforestación del talud.

Se realizó el cálculo de volúmenes de agua en las grietas, partiendo del bloque promedio (1.5x1.5x1) y considerando que se necesita una intensidad de lluvia igual a dos veces la intensidad necesaria para llenar las grietas de acuerdo a la permeabilidad del macizo.

Los resultados del análisis de estabilidad representados en valores de Factor de Seguridad, se utilizan para realizar el cálculo de probabilidades y de esta manera determinar los valores de amenaza para cada uno de los posibles mecanismos de falla.

De los Análisis de Estabilidad presentados en el Capítulo 3, se presentan los siguientes resultados generales:

- La falla planar no es factible en la arenisca con baja probabilidad en los sectores 1 a 4; en el sector 5 la probabilidad de falla planar es mayor, por la presencia de arcillolita sobre arenisca (Ver plano CD-02 y Figura 2.6)
- El volteo es factible en la arenisca de los Sectores 1 a 4. En el sector 5 no es factible.
- La falla rotacional ó deslizamiento de los depósitos cuaternarios es factible en los sectores 1 a 4. En el sector 5 no es factible.
- La caída de bloques de arenisca es factible en los taludes de los sectores 1 a 4 y presenta una probabilidad muy baja en el sector 5.

#### 4.3.1 Cálculo de la amenaza.

Se procedió entonces, a determinar la probabilidad de falla para cada uno de los sectores y para cada uno de los mecanismos de falla factibles.

Para tal efecto, se tomaron los datos del factor de seguridad obtenidos con los valores extremos y el valor más probable de los parámetros de resistencia.

Los parámetros tenidos en cuenta, fueron:

Angulo de fricción interna ( $\emptyset$ )

Cohesión (C)

Condiciones de agua (Tabla de agua en la parte inferior del bloque, en la parte media y en la parte superior del bloque)

Sismo.

NOTA: En este estudio de análisis y control del talud, se toma el dato de sismo únicamente para los Cálculos de Estabilidad del Talud. El estudio no pretende evaluar bajo ningún punto de vista adicional la vulnerabilidad sísmica de las construcciones.

Para el cálculo de la amenaza, se partió de los análisis de estabilidad para los perfiles representativos de cada una de las zonas (Figura 2.2 a 2.6), y para los mecanismos factibles en dichas zonas.

Se evalúan los factores de seguridad para los parámetros utilizados en el análisis (Ver numerales 3.4.1 Análisis de Estabilidad por Volteo, 3.4.2 Análisis de estabilidad planar y 3.4.3 Análisis de Estabilidad de los depósitos Cuaternarios).

En los cálculos, el valor de la probabilidad de falla, se realizó mediante un análisis combinado de probabilidad, tomando los valores inferiores y superiores más probables de C y Ø. El análisis parte de un plano coordenado C y Ø. Una pareja de valores tiene una probabilidad, la cual se considera en la tercera dimensión, generando una pirámide de probabilidades. (Ver figura 4.1) El volumen de dicha pirámide debe ser igual a 1.0 y la mayor probabilidad, denominada  $p_m$ , se calcula de la siguiente manera:

$$p_m = 3 / ((x_s - x_i)(y_s - y_i)), \text{ en donde}$$

$y_s$  = Valor superior de la variable y (en este caso C)

$y_i$  = Valor inferior de la variable y (en este caso C)

$x_s$  = Valor superior de la variable x (en este caso Ø)

$x_i$  = Valor inferior de la variable x (en este caso Ø)

En la pirámide se determinan cuatro sectores tales que:

1- Si  $y \leq y_i + (x-x_i)(y_m-y_i)/(x_m-x_i)$  y si  $y \leq y_i + (x-x_s)(y_m-y_i)/(x_s-x_m)$

con  $x_i \leq x \leq x_s$  y  $y_i \leq y \leq y_s$ , entonces:

$$p(x,y) = p_m^*(y-y_i)/(y_m-y_i)$$

2- Si  $y_i + (x-x_i)(y_m-y_i)/(x_m-x_i) < y$ ; y si  $y < y_m + (x-x_m)(y_s-y_m)/(x_i-x_m)$

con  $x_i \leq x \leq x_s$  y  $y_i \leq y \leq y_s$ , entonces:

$$p(x,y) = p_m^*(x-x_i)/(x_m-x_i)$$

3- Si  $y_m + (x-x_m)(y_s-y_m)/(x_i-x_m) \leq y$ ; y si  $y_m + (x-x_m)(y_s-y_m)/(x_s-x_m) \leq y$

con  $x_i \leq x \leq x_s$  y  $y_i \leq y \leq y_s$ , entonces:

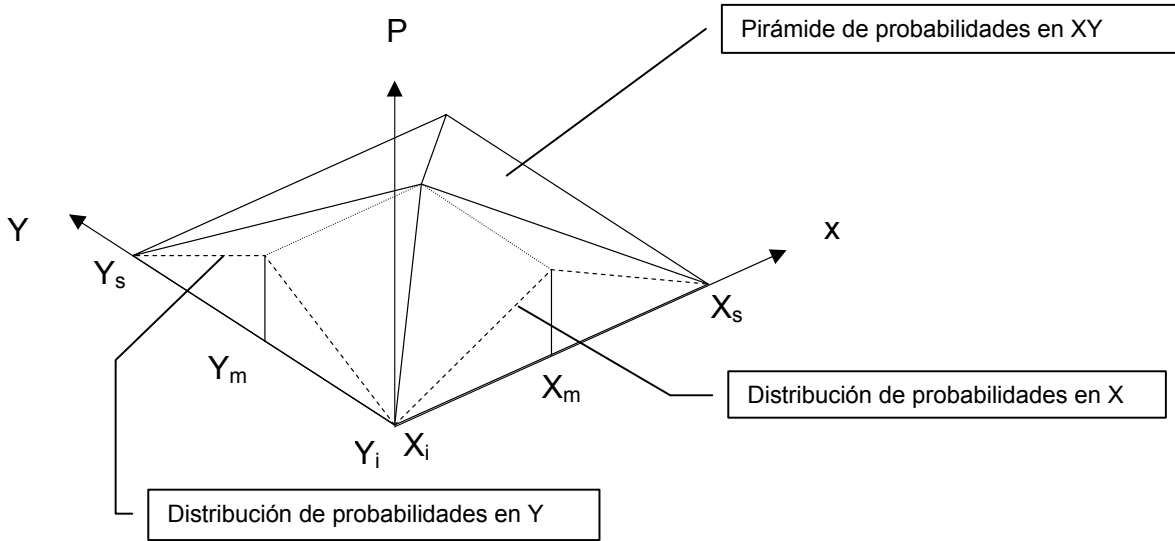
$$p(x,y) = p_m^*(y_s-y)/(y_s-y_m)$$

4- Si  $y < y_m + (x-x_m)(y_s-y_m)/(x_s-x_m)$  y si  $y_i + (x-x_s)(y_m-y_i)/(x_m-x_s) < y$

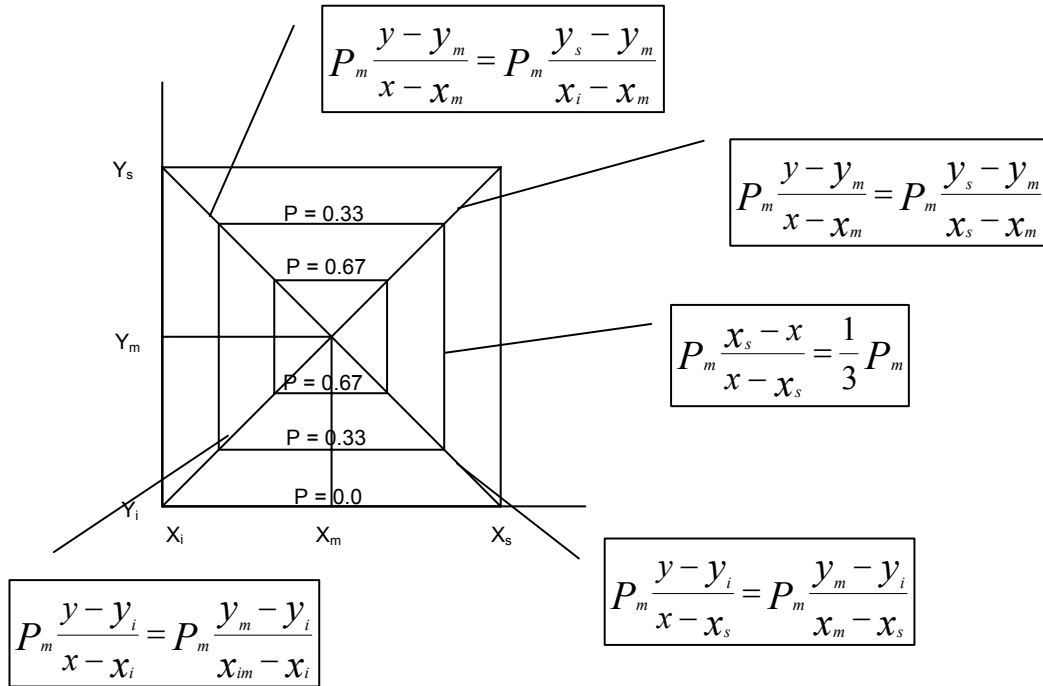
con  $x_i \leq x \leq x_s$  y  $y_i \leq y \leq y_s$

$$p(x,y) = p_m^*(x_s-x)/(x_s-x_m)$$

PERSPECTIVA



PLANTA



En los análisis de falla planar en los sectores 1 a 3, se tomaron los siguientes parámetros de resistencia:

**Figura 4.1 Pirámide de Probabilidades de dos variables.**

$\phi_s$	48°	$C_s$	11 T/m <sup>2</sup> .
$\phi_m$	40.5°	$C_m$	9.3 T/m <sup>2</sup> .

$$\emptyset_i \quad 32^\circ \quad C_i \quad 7 \text{ T/m}^2.$$

El valor medio del parámetro, sea  $\emptyset_m$  y  $C_m$ , respectivamente, significa el valor más probable. En el estudio se tomó el valor más probable obtenido en los ensayos de laboratorio. Los subíndices s e i superior e inferior del parámetro, significan el mayor y el menor valor factible de cada uno. Para el perfil 5 de la Figura 2.6 correspondiente al Sector 5, los valores de las variables para el cálculo de las probabilidades son diferentes ya que existe otro material involucrado (Arcilla), de tal manera que  $\emptyset_m = 24^\circ$  y  $C_m = 1.7 \text{ T/m}^2$ . En las Figuras 4.2 a 4.14 se presentan las distribuciones de las Frecuencias acumuladas del Factor de Seguridad encontradas para Falla planar en los sectores 1 a 3 y en el sector 5 y en la Tabla 4.2 se presentan los valores de las probabilidades de falla encontradas para cada sector.

En las Figuras 4.15 a 4.23 se presentan las Frecuencias acumuladas del Factor de Seguridad encontradas para los depósitos cuaternarios considerando los análisis desarrollados con las superficies de falla del contacto entre el cuaternario y la roca. En la Tabla 4.3 se presentan los valores de las probabilidades de falla en los sectores en los que se presentan. En las Tablas 4.4 a 4.6 se presentan los valores de las probabilidades de falla de los depósitos cuaternarios realizadas con los valores obtenidos mediante el análisis de cohesión cero presentados en el apartado 3.4.3 y que fueron realizados por recomendación de la interventoría. Las probabilidades obtenidas con los datos de las Tablas 4.4 a 4.6 se obtuvieron mediante el análisis de una sola variable propuesto por Harr (1987) y los valores corroboran la tendencia encontrada inicialmente, pero son más altos que las probabilidades obtenidas en la Tabla 4.3, por lo que fueron los valores asumidos por Rocas y Minerales Ltda. para calcular los costos de falla posteriores.



En la Tabla 4.7 se presentan las probabilidades de falla por volteo de bloques para los sectores 1 y 2, donde se encuentra posibilidad de presentarse, de acuerdo con los análisis del apartado 3.4.1. De igual manera, en la Tabla 4.8 se presentan las probabilidades de falla por caída de Bloques. En la Tabla 4.9 se presenta un resumen de las probabilidades de falla por sectores de cada uno de los mecanismos de falla.

Las probabilidades de falla se traducen en amenaza en el mapa de amenaza (CD 05), el cual se obtuvo superponiendo las áreas de afectación de cada uno de los mecanismos en cada uno de los sectores, representados por su respectivo perfil aplicando la probabilidad de falla de cada caso.

Para la categorización de la amenaza, se definieron 3 rangos

		Rango	<u>Promedio</u>
Amenaza alta	AA	0.2 a 1.0	0.6
Amenaza media	AM	0.125 a 0.2	0.1625
Amenaza baja	AB	.001 a 0.125	0.0625

De acuerdo a las probabilidades de falla, se concluye que la amenaza no es alta debido a las condiciones intrínsecas del talud. Sin embargo en el sitio de proyecto, la actividad antrópica es alta y por desconocimiento de los riesgos, pueden generar falla del talud, poniendo en peligro el sector.

#### **4.4 ANALISIS DE VULNERABILIDAD.**

Paralelo al estudio realizado para la determinación de la amenaza, se hicieron los análisis para obtener la vulnerabilidad del sector.

Dentro del Estudio de Ingeocim Ltda. (1998), se incluye la Localidad de Usaquén en donde se ubica el talud que se está analizando. De allí, se tomó la metodología para el análisis de vulnerabilidad utilizada en este estudio, pero debido al grado de detalle que requiere el proyecto, el análisis se puntualizó, de tal manera que se consideraron las condiciones reales del sitio.

Para este efecto, se realizó una encuesta al 100% de las viviendas ubicadas en la zona de riesgo por efectos de la falla del talud. Estas encuestas se presentan al final del documento, como un anexo. Como resumen de dichas encuestas, se presentan los siguientes datos:

ASPECTO	CANTIDAD
Condiciones del barrio	No legalizado
Predios definidos en el área de Estudio	35
Casas construidas	32
Lotes Sin construcción	3
Casas habitadas	28
Casas vacías	4
Casas propias	22
Casas arrendadas	6
Residentes	128
Hombres Adultos	27
Mujeres adultas	35
Hombres niños	36
Mujeres niñas	30
Nivel educativo promedio de los adultos	Tercero de primaria
Nivel educativo promedio de los niños	Mayores de 7 años están estudiando. Menores de 7 años no van a la escuela.

Valor ingreso promedio mensual por familia	\$	235.240
Valor promedio de bienes por familia	\$	1.292.860
Valor promedio de los inmuebles	\$	13.968.750

Fenómenos de inestabilidad ocurridos  
y denunciados. Uno hace 6 años - caída de bloque de Aprox.  
2 m de Espesor.

#### 4.4.1 Vulnerabilidad Social

Para el cálculo de la vulnerabilidad social, cuantificada como un Índice de Vulnerabilidad, se tuvieron en cuenta, los índices de carencia de servicios y los índices de carencia de vivienda.

El cálculo de los índices anteriores, se hicieron de acuerdo a la metodología presentada por INGEOCIM LTDA. En este estudio se hizo con los resultados de las investigaciones directas realizadas a toda la comunidad de interés.

En general el índice de Vulnerabilidad Social (IVS) relaciona las carencias en servicios, vivienda y las características de la población con un nivel cualitativo de vulnerabilidad.

##### *4.4.1.1 Cálculo del Índice General de Carencias (IGC)*

Debido al detalle del estudio, ya que se realizaron encuestas al 100% de la población dentro de la zona de estudio, los cálculos se realizaron sobre datos reales, por lo cual difieren un poco respecto a los obtenidos por INGEOCIM LTDA. en el Estudio nombrado.

##### **- Generalidades**

Para caracterizar o cuantificar las carencias de la población, se hace por medio de índices de acuerdo con los siguientes datos:

Servicios Públicos (Es el porcentaje de viviendas que no tienen un adecuado servicio)

Energía

Acueducto

Alcantarillado

Teléfono

Tipo de Vivienda (Mide el porcentaje de viviendas con características inadecuadas en cuanto a materiales de construcción. Se consideró como inadecuada una vivienda que no fuera construida con materiales competentes (Bloque - ladrillo)

Tenencia de la Vivienda. Es el porcentaje de hogares que no poseen vivienda propia.

Hogares sin vivienda Es el porcentaje de hogares que no poseen vivienda. Se halla al restar al número de hogares el número de viviendas y dividir sobre el número de hogares.

Analfabetismo Es el porcentaje de personas mayores de 5 años que son analfabetas.

Ocupación Es el porcentaje de personas mayores de 12 años que no poseen una ocupación estable o definida (no son empleados, estudiantes, obreros o empleadores)

Resultados obtenidos.

El sector de estudio no ha sido legalizado, sin embargo, poseen los servicios esenciales en forma temporal. Se considera la carencia de servicios como del 60%

Tipo de vivienda: En general todas las casas están construidas en bloque o ladrillo con algunas diferencias en la calidad de la construcción. Varias casas son de dos niveles soportados en columnas de concreto reforzado, otras de un solo nivel, aunque son en bloque y ladrillo presentan deficiencias en la construcción. Se considera como índice de carencia del 60%

Tenencia de la vivienda: En su gran mayoría son propietarios, el índice es del 19%

Hogares sin vivienda. Sólo se encontraron dos hogares sin vivienda, para un índice de 0.067

Analfabetismo. Los niños no inician su escolaridad sino hasta después de los 7 años, sin embargo, en los adultos el nivel de estudios es de tercero de primaria. Como índice se tiene 0.20

Ocupación: El nivel de desocupados es del 45%.

Al agrupar los índices de carencias en tres grupos, se tiene lo siguiente:

ICServ                    Índice de carencia de servicios.    0.60

ICViv                    Índice de carencias de vivienda    0.2857

ICPob                    Índice de carencias de la población    0.325

Índice general de carencias (IGC) =  $(ICServ + ICViv + ICPob)/3 = 0.4036$

De acuerdo a la clasificación del IGC presentado por INGEOCIM LTDA., el IGC del sitio de proyecto es de categoría media.

De acuerdo a la categoría del IGC, el cálculo del Índice de Vulnerabilidad social (IVS) se hará mediante el promedio obtenido de las siguientes expresiones

$$0.70 - 0.15 * (1 - cf) \quad \text{y} \quad 0.80 + 0.15 * (1 - cf)$$

Donde  $cf$  es una variable que cuantifica el grado de confianza de la variable. Para el presente caso, se toma 0.5, luego

$$IVS = \text{Índice de Vulnerabilidad Social} = (0.625 + 0.875)/2 = 0.75$$

$$IVS = 0.75$$

#### 4.4.2 Vulnerabilidad física.

La vulnerabilidad física, al igual que la vulnerabilidad social, fué calculada, de acuerdo a la metodología seguida por INGEOCIM LTDA., pero con los datos obtenidos de la evaluación de campo.

El índice de vulnerabilidad física (IVF) se determinó, dependiendo del tipo de movimiento, intensidad de las solicitaciones y las características del elemento expuesto, en este caso las viviendas.

Tipificación de las viviendas

La tipificación de las viviendas se realizó de acuerdo al criterio de Leone (1996), en donde:

- B1 Tugurios (ranchos)
- B2 Casas en mampostería ó prefabricadas

B3 Casas de hasta dos niveles de buena calidad de construcción (con estructura)

B4 Casas de más de 2 niveles de buena calidad de construcción (con estructura)

En general, el tipo de vivienda del sector en estudio, corresponde al numeral B2 casas en mampostería.

Se estima, que la probabilidad de ocupación es alta, aunque existen algunos lotes vacíos, ya que se espera que estos sean ocupados rápidamente.

#### Calificación de daños

Según DRM (Delégation aux Risques Majeurs) op cit 4.1 se tiene la siguiente calificación simplificada de daños

NIVEL DE DAÑO	MODOS DE DAÑO	% DE DAÑO
BAJO	Daños ligeros no estructurales. Estabilidad no afectada. Fisuración de muros. Reparaciones no urgentes	0.01 - 0.3
MEDIO	Deformaciones importantes, fisuras en elementos estructurales	0.3 - 0.6
ALTO	Fracturación de la estructura, evacuación inmediata. Derrumbe parcial o total de la estructura.	0.6 - 1.0

El nivel de daño en el sitio que nos ocupa, depende del tipo de mecanismo que se presente, pero en general se encuentra entre bajo y medio.

#### Tipos de movimientos y sollicitaciones

Los mecanismos de falla posibles en el talud de estudio son los siguientes:

Falla planar

Volteo de Bloques

Falla rotacional

Caida Rodamiento y traslación de bloques.

De acuerdo a la forma como se presenta la falla, se tienen dos zonas, una activa que es la zona que se mueve y la zona pasiva que recibe los materiales movidos de la zona anterior. En el talud del “Mirador – Conjunto Cerrado”, en la zona pasiva es donde se ubican las viviendas, sin embargo la zona activa es frecuentemente concurrida por pobladores del sitio y zonas circunvecinas

Solicitaciones.

Las solicitaciones a que se verán enfrentadas las construcciones del sector en caso de una eventual falla, son:

Desplazamientos verticales

Impactos

Presiones laterales

Desplazamientos horizontales

Cálculo del Índice de Vulnerabilidad Física (IVF)

Se espera un nivel de daño medio, por lo tanto, el IVF puede obtenerse de las siguientes expresiones:

$$IVF, = 0.3 + 0.1 * (1-cfF)$$

$$IVF = 0.6 + 0.1 * (1-cfF)$$

Como el nivel de confianza es medio, cfFD se toma como 0.5



$$IVF = 0.35$$

$$IVF = 0.65$$

$$IVF \text{ promedio} = 0.50$$

Cálculo del Índice de Vulnerabilidad general por Deslizamientos (IVD) (Se puede considerar el término deslizamientos como genérico para describir fenómenos de falla de taludes)

El Índice de Vulnerabilidad a deslizamientos (IVD) se calcula con la siguiente expresión:

$$IVD = (1 - (1 - IVF) (1/(1-a * IVS)))$$

Donde:

a es la importancia del IVS en la evaluación. El grado de importancia es alto y el valor se toma como 0.8

Con Índice de vulnerabilidad social	IVS = 0.75
Índice de vulnerabilidad física	IVF = 0.50
Índice de vulnerabilidad a deslizamiento	IVD = 0.897

Con el objeto de dar una mayor flexibilidad al sistema y permitir zonificar el área de estudio de acuerdo a la vulnerabilidad, se incluye en la Tabla No. 4.10 la categorización de la vulnerabilidad, la cual se hace en tres grandes categorías Vulnerabilidad alta (AA), media (VM) y baja (VB).

De acuerdo a las características del área de estudio, se elaboró el plano de vulnerabilidad (Plano CD 06)

#### **4.5 CALCULO DE LOS INDICES DE PERDIDA Y RIESGO**

Se puede expresar el riesgo global incurrido sobre cada una de Los sectores con su respectiva solicitud ó con una categoría de amenaza dada.

Con el objeto de simplificar la evaluación, se consideran tres índices de perdidas

Indice de pérdida de las viviendas	IPV
Indice de pérdida del terreno	IPT (Area no construida)
Indice de pérdida por habitantes	IPH

Al cruzar el plano de amenaza (Plano CD 05) con el plano de vulnerabilidad (Plano CD 06) se obtienen una serie de combinaciones.

Se obtuvieron las áreas de cada una de las combinaciones y se determinó si es construida o no, y la cantidad de habitantes afectados en cada uno de los cruces. por lo tanto se obtienen los índices de pérdidas por vivienda (IPV), índice de pérdida por terreno ó área (IPT) y el índice de pérdida por habitantes. (IPH).

A partir de estos índices, se obtienen los índices de riesgo así: Índice de riesgo por Area (IRA), Indice de riesgo por vivienda (IRV) y el índice de riesgo por habitantes (IRH).

El índice de riesgos globales (IRG) se calcula entonces como el promedio de los índices anteriormente anotados.

En la Tabla 4.9 se consignan los datos, cálculos y resultados del análisis de riesgo.

El valor del índice de riesgos globales (IRG) para el proyecto es de 0.1976 que de acuerdo a la Tabla 4.10 corresponde a la categoría de riesgo bajo.

**TABLA No. 4,11**

<b>ESTUDIO DE RIESGO</b>
<b>TABLA BASE DE CATEGORIZACIÓN DE RIESGO</b>

CONDICIÓN	CATEGORÍA DE RIESGO
$IRG < 0,125$	MUY BAJO
$0,125 \leq IRG < 0,375$	BAJO
$0,375 \leq IRG < 0,625$	MEDIO
$0,625 \leq IRG < 0,875$	ALTO
$IRG \geq 0,875$	MUY ALTO

Hay bastantes personas vulnerables, aspecto que ha de tenerse en cuenta también, debido a que la vida e integridad de las personas es invaluable.

En la Tabla 4.11 se presenta el análisis de los costos de la probabilidad de falla.

## **5 RECOMENDACIONES Y DISEÑO DETALLADO DE LAS OBRAS A IMPLEMENTAR.**

Según los resultados de los análisis. Una parte de las obras a implementar tienen el carácter de preventivas, y las otras son de tipo correctivo, ya que el talud se puede considerar predominantemente estable para las diferentes condiciones analizadas y solo localmente hay algunas posibilidades de inestabilidad.

Varias de las obras propuestas buscan principalmente contrarrestar los factores antrópicos que pueden influir y alterar la estabilidad del talud de una manera puntual y adversa y que pueden a la final dar lugar a algún riesgo para las viviendas. Esto mas específicamente se refiere a inestabilidades de bloques individuales generadas por los habitantes del sector al excavar para obtener materiales para la construcción u otras actividades similares.

Como principio de tratamiento y recuperación del talud de la cantera, se toman las siguientes premisas:

Apropiación de la cantera por parte de los ciudadanos con algunas obras de beneficio para la comunidad y de algunas labores de reconfiguración que eviten este tipo de actividades perjudiciales ya que esta en su tiempo fue el modo de vida de los habitantes que la rodean.

1. Protección de las casas vecinas más cercanas a la base del escarpe de la antigua cantera.
2. Utilización de los mismos materiales presentes en la antigua cantera.

### **5.1 Consideraciones arquitectónicas**

El diseño arquitectónico del proyecto (ver Plano Paisajístico y Arquitectónico CD-09) se desarrolla generando una barrera de protección de las viviendas con pilares de sección trapezoidal de 2.5m de altura, colocadas en forma de persiana. Para la colocación de dichos pilares, que asemejan la forma de tótems, la disposición de los pilares se hará de manera que sigan la topografía actual del terreno, preferiblemente sobre una misma curva de nivel, con lo cual el resultado visual será el de una especie de serpentín. Los planteamientos anteriores se ilustran en el plano CD-09.

La disposición de estos pilares además de ofrecer una protección eventual en caso de un desprendimiento de rocas, es una barrera útil para evitar la apropiación indebida del terreno; se busca además con esto que los habitantes no le den la espalda a su cantera. Se plantea mejorar un camino peatonal sobre la huella de uno ya existente que la comunidad ha realizado. El criterio para dichas mejoras consiste en recuperar los bloques o fragmentos de roca que tienden a rodar o están sueltos.

El criterio de recuperar la roca para tenderla sobre un camino peatonal a manera de tapete da la opción para que la comunidad colabore con la ejecución de los trabajos generando así empleo y reforzando el criterio de apropiación del lugar para hacer un espacio comunal que no solo beneficiará a la población directamente afectada sino a los transeúntes en la zona. Este camino comienza su desarrollo tanto por la parte superior como inferior con espacios abiertos a manera de plaza y se van uniendo por medio de un peatonal que asciende o

desciende acomodado a las curvas de nivel del terreno en el sector 2. Una sección Transversal del camino se observa en la Figura 5.1.

Estas plazas y el camino se integrarán al paisaje instalando en el resto del talud una vegetación recia que permitirá generar una revegetalización.

En la parte superior y como protección se crea una barrera verde con una arborización mediana y una malla eslabonada que permite tener visibilidad Apoyados en los kioscos actuales y a manera de mirador. Este cerramiento se extiende desde el sector No. 2 hasta lindar con el peatonal que se genera al norte del proyecto con la cancha múltiple; que será el otro frente de diseño fuerte y donde se pretende hacer gradas a manera de tribuna contra el talud Este, siguiendo las curvas de nivel (sector No.5), en una longitud del orden de 15 m, como se observa en el Plano CD-09. Las gradas se harán mediante el corte en roca y protección de las mismas con loza de concreto. La capacidad de las cinco gradas planteadas es de más o menos 120 personas y como remate de la propuesta arquitectónica, se plantea en la parte Sur de las graderías, la elaboración de una matera. La comunicación entre el campo múltiple y la zona superior del talud es un camino peatonal.

El proyecto arquitectónico y de paisajismo planteado se fundamenta en un criterio de apropiación social del talud estudiado.

## **5.2 Recomendaciones constructivas**

### **Pilares de protección. (Persiana Sectores 1, 2 y 3)**

Las características de los materiales a utilizar en su construcción son:

Acero con  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$  (412 Mpa)

Concreto con  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  (21 Mpa)

La forma de las columnas será trapezoidal con una base menor de 0.30m, una base mayor de 0.50m y una altura total de 4.0m con una profundidad de cimentación de 1.50m en roca. La columna debe colocarse enfrentada al talud

(la dimensión de 0.30m paralela al rumbo del talud) para resistir un posible impacto con su mayor inercia.

El material a nivel de cimentación, deberá ser roca. En los sitios donde la roca no aflore, se excavará hasta encontrarla y se debe lograr como mínimo 1.50m de empotramiento de cada pilar en la roca.

Al llegar al nivel de cimentación requerido, se garantizará, mediante un concreto de limpieza, que las varillas de refuerzo no quede exactamente sobre la roca sometidas a procesos de corrosión. El espesor mínimo del concreto de limpieza será de 7 cm y su resistencia a la compresión de 2000 psi.

El refuerzo longitudinal de las columnas trapezoidales consistirá de cuatro varillas de 1" y de 21 varillas de  $\frac{3}{4}$ ".

Todo el refuerzo deberá estar limpio de corrosión y de impurezas que afecten la durabilidad y adherencia del mismo; el refuerzo longitudinal se colocará de manera tal que las varillas de 1" de diámetro queden del lado de la menor dimensión de la columna (0.30m). La colocación se hará exactamente sobre el concreto de limpieza.

Dentro de la zona de la excavación, el refuerzo longitudinal se amarrará con dos estribos separados 50cm, para ayudar al sostenimiento del acero longitudinal. A una altura de 5cm por encima de la superficie, se colocará la primera línea de flejes como se especifica en el plano constructivo de los pilares. (ver plano CD-10).

Las paredes de la excavación en roca pueden servir de formaleta para la colocación del concreto. Del nivel del terreno hacia arriba se colocará formaleta en cualquier material que garantice que las dimensiones de la columna se respeten y que la superficie de la columna quede sin irregularidades. Las paredes internas de la formaleta deben aceitarse para evitar la adherencia con el concreto cuando ocurra su fraguado. La lubricación de la formaleta debe hacerse antes de la colocación para evitar la contaminación del acero de refuerzo.

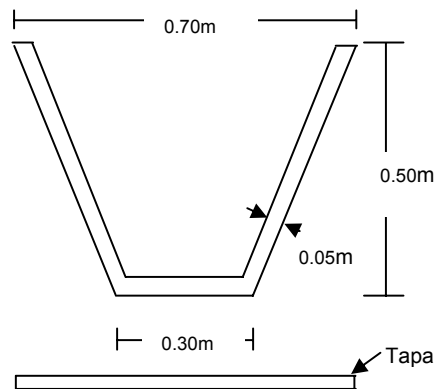
La resistencia del concreto debe ser de mínimo  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  (21 Mpa) y se colocará desde una altura tal que se evite la segregación del material. Por ningún motivo debe permitirse la adición de agua a la mezcla, una vez llegue al sitio o se halla mezclado según un diseño de la mezcla. El desencofrado no puede realizarse sino hasta que se garantice que el concreto ha alcanzado por lo menos el 70% de la resistencia especificada. La superficie de concreto debe quedar libre de hormigueros. El concreto de cada columna debe colocarse en una sola fundida, garantizando que no se presentaran juntas constructivas. El tipo y número de ensayos que se realizarán sobre los materiales, estarán acorde con la Norma Sismoresistente/98. La medida de pago de los pilares es unidad (Un) y en total son 49 unidades.

**Cuneta de coronación (Cuneta revestida Tipo 1, Sectores 5 y 6)**

Las características de los materiales a utilizar en su construcción son:

Concreto con  $f'c = 3000 \text{ psi}$

La sección de forma trapezoidal se consigna en el plano de obras de drenaje y en la siguiente Figura. La medida de pago es de metro lineal (ml) y en total son aproximadamente 194 ml.



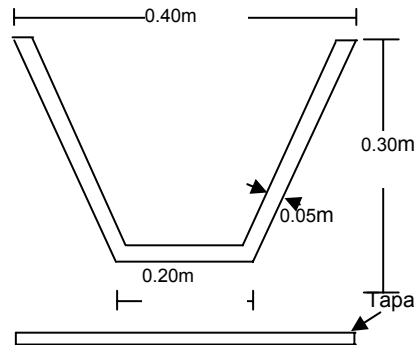
La cuneta se colocará en la parte alta del talud, desde el costado sur del sector 1 hasta la cancha de fútbol (ver plano de obras CD-11).

**Cuneta en la base del Talud. (Cuneta revestida Tipo 2, Sector 6 parte baja)**

Las características de los materiales a utilizar en su construcción son:

Concreto con  $f'c = 2000$  psi

La sección de forma trapezoidal se consigna en el plano de obras de drenaje y en la siguiente Figura. La medida de pago es metro lineal (ml) y en total son aproximadamente 96 ml.



La cuneta se colocará en la parte baja del talud, desde el costado sur del sector 1 hasta terminar la calle en el sector 2. (Ver el Plano de las Obras propuestas CD-08).

**Filtro francés (0.5\*0.5) Sector 6.** Con una longitud total de aproximadamente 30 m y sección de 0.50 m x 0.50 m este filtro recogerá principalmente el agua acumulada en la arenisca debido al efecto de sello que genera la presencia del estrato impermeable de arcillolita (ver plano de obras CD-08). La medida de pago es de metro lineal (ml) y en total son aproximadamente 30 ml.

**Remoción Manual de bloques. Sectores 2, 3 y 5.** Se considera necesario remover los bloques que se encuentran sueltos y ubicados en toda el área del talud. Esta labor se debe hacer manualmente debido a la precisión que se requiere para no desestabilizar sectores del talud. La medida de pago es de metro cúbico ( $m^3$ ) y el volumen de remoción de estos bloques es de aproximadamente  $600 m^3$ .

**Descarga de Roca Sector 1 y 4.** Se considera conveniente realizar una descarga manual en las partes altas del antiguo escarpe de explotación. Esta labor se hace necesaria con el fin de retirar los bloques que presentan fisuras relativamente recientes y con un efecto evidente de movimiento. En el extremo



sur, para eliminar la posibilidad de caída de bloque se debe generar una berma de seguridad y disminuir la pendiente actual del terreno a 30° de inclinación. En la parte Norte (Sector 4) la pendiente del talud será de 70° y tendrá una berma. La medida de pago es metro cúbico (m<sup>3</sup>) y en total son aproximadamente 325 m<sup>3</sup>.

**Cerramiento en Malla eslabonada Sectores 2 a 5.** Se proyecta colocar malla eslabonada en la parte superior del talud a manera de seguridad tanto para el parque como para la zona del mirador existente en este sitio. Los materiales a utilizar son: Malla eslabonada galvanizada calibre No. 10, alambre galvanizado No.9, concreto de 2000 psi para las bases de los módulos cada 3.0m y tubo H.G de diámetro de 2". La localización de la malla se presenta en el plano CD-11. En este también se muestran los detalles constructivos. Este cerramiento irá acompañado por vegetación de tipo arbustivo de tal manera que no tape la panorámica que desde este sitio se tiene sobre la ciudad de santa fé de Bogotá. La medida de pago es metro lineal (ml) y en total son aproximadamente 120 ml.

**Malla de Sostenimiento de Rocas. Sector 4.** En la parte superior del talud del costado Sur de la cancha de fútbol se colocará la malla para evitar la caída de pequeños bloques que han caído en este sector. La ubicación de se puede observar en el Plano CD-08. Los materiales a utilizar son: Malla eslabonada calibre No. 10 y alambre No.9 para amarre. La malla irá anclada con varillas de 3/8" con gancho, con una de longitud de 30 cm, ancladas en cuadrícula de 2.50m \* 2.50m. El empotramiento de la varilla será de 20cm. La medida de pago es de metro cuadrado (m<sup>2</sup>) y en total son aproximadamente 350 m<sup>2</sup>.

**Camino en Piedra. Sector 2.** Se proyecta colocar un camino en piedra planteado en el proyecto arquitectónico, aprovechando el material que se recogerá de la remoción manual de bloques de los sectores 2, 3 y 5 y el descargue de rocas de los sectores 1 y 4. La localización del camino se encuentra en el Plano CD-09. El ancho del camino será de 1.50m. La medida de pago es de metro cuadrado (m<sup>2</sup>) y en total son aproximadamente 110 m<sup>2</sup>.

**Muro en Piedra. Sector 2.** Se proyecta colocar el muro en piedra como baranda del camino en piedra planteado en el proyecto arquitectónico. El espesor de este muro será del orden de 0.30m. La Ubicación se encuentra en el Plano CD-09. La medida de pago es de metro cuadrado ( $m^2$ ) y en total son aproximadamente 75  $m^2$ .

**Siembra de Eucalipto. Sectores 1 a 5.** Se debe colocar arbustos de Eucalipto en los sectores 1 a 5 para protección de las casas en la base del talud de los sectores 1 a 3, de manera que armonicen con la colocación de los pilares de protección. Además en diferentes zonas de los sectores nombrados se plantea la colocación de arbustos. Los arbustos deben tener una edad superior a 1 año y su colocación debe garantizar su supervivencia. Como parámetro importante, se debe verificar que sus raíces no se encuentren dobladas, ya que este factor impide su crecimiento. La Ubicación de los arboles se encuentra en el Plano CD-09. La medida de pago es de unidad (Un) y en total son 71 Un.

**Revegetalización. Sectores 1 a 6.** Se debe revegetalizar toda el área, excepto los sitios en donde se plantearon las obras propuestas. Las especies de pastos que se deben colocar son carretón y retamo, u otra que se garantice, sobreviva en el sector. La medida de pago es de metro cuadrado ( $m^2$ ) y en total son aproximadamente 2500  $m^2$ .

**Graderías de la Cancha de Fútbol.** Se plantea la construcción de 5 graderías en el sector 5, aledaño a la cancha de Fútbol. Las graderías tendrán unas dimensiones de 0.50m de ancho por 0.50m de alto. Serán construidas en concreto de 3000 psi ( $210 \text{ Kg/cm}^2$ ) reforzadas con malla electrosoldada. Para su construcción se consideran dos ítems. El primero. la excavación que se pagará por  $m^3$  y en total se excavarán del orden de  $5m^3$ . El segundo corresponde a la colocación de concreto, que se pagará por  $m^3$ . En total son 9.5  $m^3$  de concreto.

Las consideraciones de diseño de varias de las obras aquí propuestas se presentan en el Anexo No 5. *Consideraciones de Diseño.*

## **6 CÁLCULO DE COSTOS**

Con datos de costos de vivienda obtenidos en las encuestas, por estimativos del valor de la tierra en el sector de acuerdo a conclusiones del estudio de Ingeocim Ltda, y a los valores de probabilidad se elaboró la Tabla 6.1 de análisis de costos.

A las sumas de los costos de afectación de vivienda, áreas y a los habitantes afectados se le adicionó el estimativo de costo de rescate y atención de heridos, reconstrucción de servicios públicos, remoción de escombros y de la reubicación de las personas damnificadas.

El costo total estimativo de afectación del proyecto es de \$59.218.699 pesos

### **6.1 RELACIÓN BENEFICIO - COSTO**

#### **6.1.1 Diseño de medidas de estabilización, mitigación y control.**

Con el objeto de minimizar el riesgo, controlando la amenaza, se diseñan medidas de estabilización, mitigación y control. Estas medidas son:

Construcción de obras de drenaje (Cunetas de coronación, estructuras de disipación y control)

Descargue de material en la parte superior del talud.

Remoción de material suelto

Terraceo de taludes

Construcción de estructura de contención sencilla

Manejo paisajístico

#### **6.1.2 Costos de Obras:**

En la Tabla 6.2 se presenta el presupuesto estimado para las obras aquí presentadas.

Como resumen de estas obras, tenemos:

- Obras de estabilización, mitigación y control	\$ 66.416.000
---	---------------

- Obras de control paisajístico	\$ 10.015.000
- Reubicación temporal de habitantes durante construcción	\$ 3.000.000
- Obras de protección durante construcción	\$ 3.500.000
<b>COSTO TOTAL DE LAS LABORES A EJECUTAR</b>	<b>\$ 82.931.000</b>
<b>COSTO TOTAL DE LAS LABORES SIN PAISAJISMO</b>	<b>\$ 72.916.000</b>

La posible reubicación de las personas se consideró con el pago del arriendo para 10 familias durante un período de dos meses, considerando un arriendo por familia de \$150.000 por cada mes.

El valor de las obras de protección durante la construcción, se tomo como el valor correspondiente al 5% del valor de las obras de estabilización mitigación y control y tiene que ver con apuntalamientos temporales que se hagan a los bloques sueltos, barricadas de protección para las casas en la parte baja del talud, señalización, etc.

### 6.1.3 Relación Beneficio- Costo

De acuerdo con los resultados expuestos en los capítulos 4 y 5, tenemos:

Costo de la Falla a precios de hoy.	\$422.473.950
Costo de las obras	\$82.931.000
Relación Beneficio - Costo	5.09

Esta relación debe aumentar dado que al construir las obra propuestas, se mejorará aspectos no cuantificados en dicha relación, como: la seguridad de los habitantes, con la consecuencia de la elevación de la calidad de vida de la comunidad y de los eventuales visitantes al sector.

## **7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### ***Conclusiones***

1. El presente estudio se ha realizado para la determinación y control de riesgo por movimientos en masa del terreno del escarpe. No contempla la

vulnerabilidad de las edificaciones a la acción sísmica, por lo tanto si se quiere precisar si las edificaciones están amenazadas por este fenómeno, se deberá realizar un estudio específico para tal fin.

2. El escarpe de la antigua explotación frente al Barrio El Mirador – Conjunto Cerrado, para las condiciones existentes topográficas, de los materiales aflorantes e hidrológicas, en el momento de la realización del presente estudio, se ha dividido en seis (6) sectores, que se observan en el Plano CD-04, de sur a norte, los cuales tienen las siguientes condiciones de estabilidad:

- **Sector 1.** La parte del escarpe en roca es estable. Los materiales sueltos (bloques entrabados) existentes en la parte media y alta, tienen posibilidad de movimiento por caída de bloques; por tanto es necesario hacer una descarga de un volumen de material de aproximadamente 235 m<sup>3</sup> y conformar esta parte del talud.
- **Sector 2.** El escarpe en roca es estable. Existe probabilidad de falla rotacional de los materiales de derrubio acumulados en la parte baja del talud. Debido a las eventuales caídas de bloques y material suelto localizado en la cresta del talud, este material será descargado. El volumen a remover es de 70 m<sup>3</sup> aproximadamente.
- **Sector 3.** La porción del escarpe en roca es estable. El depósito de bloques sueltos localizado en la parte alta y media del escarpe tiene posibilidad de falla por caída de bloques; luego es necesario hacer una remoción de todo el material suelto, cuyo volumen es del orden de 300 m<sup>3</sup>.
- **Sector 4.** Es un corte en roca estable. Pero en la parte alta del borde occidental del escarpe existen aberturas importantes en las diaclasas y localmente se ha presentado caída de bloques. Para mejorar la condición de estabilidad del sector, se ha previsto la realización de una descarga de material y la colocación de una malla para confinar los bloques

suelos. El volumen de material a remover es del orden de  $90 \text{ m}^3$  y área de colocación de la malla es de  $350 \text{ m}^2$ .

- **Sector 5.** Comprende el talud oriental de la cancha de fútbol. Allí ha ocurrido falla planar. Para controlar el incremento de este proceso de inestabilidad se requiere remover el material fallado, que es del orden de  $230 \text{ m}^3$  y conformar el talud, construyendo una gradería para la cancha.
  - **Sector 6.** Corresponde a las áreas de terreno estable. Comprende el área donde está ubicado el barrio El Mirador Conjunto Cerrado y la franja de terreno del borde oriental del área de estudio
3. Las medidas de estabilización del escarpe están orientadas principalmente a controlar la acción antrópica y a minimizar el riesgo por caída de bloques y deslizamientos. Existen bastantes personas vulnerables (128 personas directamente afectadas), aspecto que ha de tenerse en cuenta, debido a que la vida e integridad de las personas son invaluableles.
  4. El índice de riesgo global es bajo, 0.1976, sin embargo, hay algunos aspectos puntuales que deben tenerse en cuenta, como la acción antrópica, que dispara el grado de amenaza.
  5. Las obras a realizar se han dividido en: Obras de mitigación y Obras de paisajismo. Las de mitigación requeridas para mejorar la estabilidad global del escarpe de la antigua cantera y disminuir el riesgo sobre las viviendas ubicadas en la parte baja del escarpe son básicamente: una cuneta revestida ubicada en la parte alta del escarpe con una longitud de 194m, un filtro en la parte baja del escarpe con 30m de longitud e igualmente en la parte baja del escarpe una cuneta de 96m. de longitud; tres descargas de material con conformación morfológica del talud que suman un volumen de  $325 \text{ m}^3$  y una remoción de bloques sueltos en una cantidad de  $600 \text{ m}^3$ ; elaboración de una persiana en la base del escarpe constituida por 49 pilares en concreto reforzado e intercalaciones de 71 arboles; como ultima obra de mitigación, en el costado Sur de la cancha de fútbol, la colocación

de una malla de contención en un área de 350m<sup>2</sup>. Estas Obras se muestran en el Plano CD-08.

6. Como obras paisajísticas se plantea la conveniencia de construir por el escarpe un camino peatonal, hacer un cerramiento con malla en la parte alta del escarpe en una longitud de 120m con una altura de 1.50m, en el tramo aledaño a la cancha de fútbol, la construcción de unas graderías en su costado oriental y la revegetalización de toda el área de estudio
7. El valor del riesgo se evalúa como la amenaza por la vulnerabilidad. Para cada movimiento es evaluado, teniendo en cuenta los costos que generaría una eventual falla. Estos valores son cotejados con los costos en que se incurriría al construir las obras de estabilización mitigación y control.
  - El costo de las obras de mitigación es de \$66.416.000
  - El costo de las obras de paisajismo es de \$10.015.000
  - El costo de reubicación temporal y protección mientras ejecución de obras es de \$6.500.000.
  - De acuerdo con el análisis probabilístico de falla, el costo de la falla, *sin tener en cuenta las vidas humanas*, es de \$422.473.950.
  - La relación Costo de Falla vs Costo de Obras (Sin incluir las paisajísticas) es de 5.79. Si se tiene en cuenta las obras de paisajismo, la relación mencionada da un valor de 5.09, por tanto las obras son viables, máxime si se tiene en cuenta que la relación de los costos no incluye el costo de las vidas humanas.
8. Las obras diseñadas están ajustadas a las condiciones del proyecto, su costo es bajo y se va a beneficiar a la comunidad, por que además, una vez construida la protección, que da mayor seguridad del barrio, este podría ser legalizado si cumple con los demás requisitos.

### **Recomendaciones**

1. Hacer un trabajo social con la comunidad del sector para concientizarla y comprometerla en la preservación y mejora de las condiciones de estabilidad del escarpe.
2. Todas las labores de descarga y remoción de materiales se harán manualmente, *descargando siempre de arriba hacia abajo* y aislando temporalmente las áreas aledañas al sitio de trabajo. Incluso durante el lapso que dure el trabajo, en los sectores 1 y 3, se deben evaluar la conveniencia de desocupar *temporalmente algunas de* las viviendas, aledañas hacia abajo, al sitio de la descarga, actividad que ha sido contemplada en los costos.
3. A la cuneta recolectora de aguas de escorrentía que existe actualmente en las vecindades del Salón Comunal se le debe aumentar su capacidad ya que es insuficiente para el volumen de agua que recoge en la actualidad, según los estudios realizados por la UPES, en la zona. Además, la cuneta planteada en este estudio entregará el agua a la cuneta anteriormente mencionada.

**Rocas y Minerales Ltda.**

**22 de febrero de 1999**



## TABLA DE CONTENIDO

<b>1 INTRODUCCION.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1 Características Geográficas, Sísmicas e hidrológicas.....</b>	<b>3</b>
1.1.1 Localización.....	3
1.1.2 Amenaza Sísmica y Precipitación.....	3
1.1.3 Morfología del Area.....	4
<b>1.2 Metodología del Estudio.....</b>	<b>4</b>
1.2.1 Revisión bibliográfica.....	4
1.2.2 Fotointerpretación geológica.....	5
1.2.3 Control de campo.....	5
1.2.4 Elaboración del modelo geológico para fines geotécnicos.....	5
1.2.5 Análisis geotécnico del escarpe de la antigua cantera.....	5
1.2.6 Estudio de probabilidades de falla y análisis de riesgo.....	5
1.2.7 Definición de los tipos de obras a implementar y diseño detallado de las obras de mitigación y de las obras paisajísticas.....	6
1.2.8 Elaboración del Informe Técnico.....	6
<b>2 CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DEL SECTOR.....</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Características Geológicas Regionales del Area de Estudio.....</b>	<b>7</b>
2.1.1 Estratigrafía.....	7
2.1.2 Estructuras geológicas.....	7
<b>2.2 Características Geológicas Detalladas del Area de Estudio.....</b>	<b>9</b>
2.2.1 Litológicas.....	9
2.2.2 Estructurales.....	12
<b>3 ESTABILIDAD DE TALUDES DEL ESCARPE DE LA ANTIGUA EXPLOTACION DEL MIRADOR.....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 Introducción.....</b>	<b>19</b>
<b>3.2 Análisis Cinemático de Estabilidad de Taludes.....</b>	<b>25</b>
<b>3.3 CLASIFICACION DEL MACIZO ROCOSO.....</b>	<b>29</b>
<b>3.4 ANALISIS DE ESTABILIDAD.....</b>	<b>33</b>
3.4.1 Análisis de estabilidad por volteo de bloques.....	36

3.4.2	Análisis de estabilidad planar.....	40
3.4.3	Análisis de estabilidad de los depósitos cuaternarios.....	42
3.4.4	Análisis por caída de bloques sueltos.....	46
<b>4</b>	<b><i>ANÁLISIS DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO</i></b> .....	<b>48</b>
<b>4.1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>48</b>
<b>4.2</b>	<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>49</b>
<b>4.3</b>	<b>Análisis Probabilístico de Falla</b> .....	<b>50</b>
4.3.1	Cálculo de la amenaza.....	51
<b>4.4</b>	<b>ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD.</b> .....	<b>56</b>
4.4.1	Vulnerabilidad Social.....	57
4.4.1.1	Cálculo del Índice General de Carencias (IGC) .....	58
4.4.2	Vulnerabilidad física. ....	61
<b>4.5</b>	<b>CALCULO DE LOS INDICES DE PERDIDA Y RIESGO</b> .....	<b>64</b>
<b>5</b>	<b><i>RECOMENDACIONES Y DISEÑO DETALLADO DE LAS OBRAS A IMPLEMENTAR.</i></b> .....	<b>65</b>
<b>5.1</b>	<b>Consideraciones arquitectónicas</b> .....	<b>66</b>
<b>5.2</b>	<b>Recomendaciones constructivas</b> .....	<b>68</b>
<b>6</b>	<b><i>CÁLCULO DE COSTOS</i></b> .....	<b>73</b>
<b>6.1</b>	<b>RELACIÓN BENEFICIO - COSTO</b> .....	<b>74</b>
6.1.1	Diseño de medidas de estabilización, mitigación y control.....	74
6.1.2	Costos de Obras: .....	74
6.1.3	Relación Beneficio- Costo .....	75
<b>7</b>	<b><i>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i></b> .....	<b>75</b>

## INDICE DE TABLAS

<b><i>Tabla .1 Resumen De Potenciales Movimientos Cinemáticamente Posibles. ....</i></b>	<b><i>24</i></b>
<b><i>Tabla .2 Datos Estructurales Proyecto UPES – El Codito.....</i></b>	<b><i>25</i></b>
<b><i>Tabla .3 – Barrio El Mirador Conjunto Cerrado .....</i></b>	<b><i>29</i></b>
<b><i>Tabla .4 – Barrio El Mirador Conjunto Cerrado .....</i></b>	<b><i>30</i></b>
<b><i>Tabla .5 EL MIRADOR CONJUNTO CERRADO ESCARPE DE LA ANTIGUA EXPLOTACION (SECTOR CONJUNTO CERRADO) SECTOR 1 A 3 .....</i></b>	<b><i>31</i></b>
<b><i>Tabla .6 ESCARPE DE LA ANTIGUA EXPLOTACION (SECTOR CONJUNTO CERRADO) SECTOR 4.....</i></b>	<b><i>32</i></b>
<b><i>Tabla .7 ESCARPE DE LA ANTIGUA EXPLOTACION (SECTOR CONJUNTO CERRADO) SECTOR 5.....</i></b>	<b><i>33</i></b>
<b><i>Tabla .8 Valores De Los Parámetros De Resistencia Del Estudio Denominado “Estudio Y Diseños De Estabilidad De Taludes Y Control De Erosión Y Manejo De Aguas Para La Estabilización De Diferentes Sitios En La Ciudad De Santafé De Bogotá Grupo 3” (Agosto De 1998).REALIZADO POR LA FIRMA HIDROTEC S.A.</i></b>	<b><i>34</i></b>
<b><i>Tabla .9 Valores De Los Parámetros De Resistencia Encontrados Mediante Ensayos De Laboratorio Realizados Para Este Estudio. ....</i></b>	<b><i>35</i></b>
<i>Tabla 3.10 Análisis de Falla Planar Sector 1 Perfil 1_____</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 3.11 Sector 1 Perfil 1 Resumen de los Factor de seguridad de Falla Planar_____</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 3.12 Sector 2 Perfil 2 Resumen de los Factor de seguridad de Falla Planar_____</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 3.13 Sector 2 Perfil 3 Resumen de los Factor de seguridad de Falla Planar_____</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 3.14 Sector 3 Perfil 4 Resumen de los Factor de seguridad de Falla Planar_____</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 3.15 Sector 5 Perfil 5 Resumen de los Factor de seguridad de Falla Planar_____</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 3.16 Valores De Los Factores de Seguridad de los Depósitos Cuaternarios De los Sectores 1 a 3._____</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 3.17 Cohesión requerida para F..S y <math>\phi</math> del Talud Seco en el Sector 1_____</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 3.18 Cohesión requerida para F..S y <math>\phi</math> del Talud parcialmente Saturado en el Sector 1_____</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 3.19 Cohesión requerida para F..S y <math>\phi</math> del Talud parcialmente Saturado en el Sector 1_____</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 3.20 Cohesión requerida para F..S y <math>\phi</math> del Talud Seco en el Sector 2_____</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 3.21 Cohesión requerida para F..S y <math>\phi</math> del Talud parcialmente Saturado en el Sector 2_____</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 3.22 Cohesión requerida para F..S y <math>\phi</math> del Talud parcialmente Saturado en el Sector 2_____</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 3.23 Cohesión requerida para F..S y <math>\phi</math> del Talud Seco en el Sector 4_____</i>	<i>93</i>

Tabla 3.24 Cohesión requerida para F..S y $\phi$ del Talud parcialmente Saturado en el Sector 4	93
Tabla 3.25 Cohesión requerida para F..S y $\phi$ del Talud parcialmente Saturado en el Sector 4	93
Tabla 3.26 F..S, distancia máxima y $\phi$ residual para diferentes condiciones de Saturación y sismo en el Sector 1	94
Tabla 3.27 F..S, distancia máxima y $\phi$ residual para diferentes condiciones de Saturación y sismo en el Sector 2	94
Tabla 3.28 F..S, distancia máxima y $\phi$ residual para diferentes condiciones de Saturación y sismo en el Sector 4	95
Tabla 3.29 Distancia Máxima y Velocidad de Rodamiento de Bloques en los Sectores 1 a 3	95
Tabla 3.30 Factores de Seguridad de Falla por Rodamiento para los sectores 1 a 3	96
Tabla 4.1 Calculo de Probabilidad de la Lluvia para diferentes Niveles de Tabla de Agua	106
Tabla 4.2 Calculo de probabilidades de falla para falla planar	126
Tabla 4.3 Calculo de Probabilidades de falla para Falla de Cuaternarios	136
Tabla 4.4 Calculo de Probabilidades de Falla para falla de cuaternarios Del Sector 1. Condición C =0	137
Tabla 4.5 Calculo de Probabilidades de Falla para falla de cuaternarios Del Sector 2. Condición C =0	138
Tabla 4.6 Calculo de Probabilidades de Falla para falla de cuaternarios Del Sector 4. Condición C =0	139
Tabla 4.7 Calculo de Probabilidades de Falla para Volteo de Bloques	140
Tabla 4.8 Calculo de Probabilidades de Falla para Caída de Bloques	141
Tabla 4.9 Resumen de Probabilidades de Falla	142
Tabla 4.10 Análisis de Riesgo	152
Tabla 4.11 Tabla Base de Categorización de Riesgo	153
Tabla 6.1 Análisis de Costos	163
Tabla 6.2 Presupuesto de Obras	164

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Localización de la zona de estudio.	3
Figura 2.1 Fotogeología del área de estudio y sus alrededores	8
Figura 2.2 Perfil 1. Sector1. Escala 1:500	14
Figura 2.3 Perfil 2. Sector2. Escala 1:500	15
Figura 2.4 Perfil 3. Sector2. Escala 1:500	16
Figura 2.5 Perfil 4. Sector3. Escala 1:500	17
Figura 2.6 Perfil 5. Sector5. Escala 1:500	18
Figura 3.1 Diagrama de Polos, sector 1, perfil 1.	29
Figura 3.2 Familias de discontinuidades sector 1, perfil 1.	30
Figura 3.3 Diagrama de Polos, sector 2, perfil 2.	31
Figura 3.4 Diagrama de Polos, sector 2, perfil 3.	32
Figura 3.5 Diagrama de Polos, sector 2, entre perfiles 2 y 3.	33
Figura 3.6 Familias de discontinuidades sector 2, entre perfiles 2 y 3	34
Figura 3.7 Diagrama de Polos, sector 3, perfil 4.	36
Figura 3.8 Familias de discontinuidades sector 3, perfil 4.	37
Figura 3.9 Diagrama de Polos, sector 4.	38
Figura 3.10 Familias de discontinuidades sector 4.	39
Figura 3.11 Diagrama de Polos, sector 5, perfil 5.	40
Figura 3.12 Familias de discontinuidades sector 5, perfil 5.	41
Figura 3.13(a) Sectores 1 a 3 Relación de esfuerzo cortante vs esfuerzo Normal	44
Figura 3.13(b) Sectores 1 a 3 Relación de esfuerzo principal menor vs esfuerzo principal mayor.	44
Figura 3.14(a) Sector 4 Relación de esfuerzo cortante vs esfuerzo Normal	45
Figura 3.14(b) Sector 4 Relación de esfuerzo principal menor vs esfuerzo principal mayor.	45

Figura 3.15(a) Sector 5 Relación de esfuerzo cortante vs esfuerzo Normal	46
Figura 3.15(b) Sector 5 Relación de esfuerzo principal menor vs esfuerzo principal mayor.	46
Figura 3.16. Sector 1, Perfil 1 Modelo Estructural para Anál. Geotécnico de Volteo. Esc 1:500	54
Figura 3.17. Sector 2, Perfil 2 Modelo Estructural para Anál. Geotécnico de Volteo. Esc 1:500	62
Figura 3.18. Sectores 2 y 3, Perfil 3 Mod. Estruct. para Anál. Geotécnico de Volteo. Esc 1:500	67
Figura 3.19 Geometría analizada para falla planar y fuerzas que intervienen en el análisis.	74
Figura 3.20. Sector 1. Análisis de Falla Planar del Perfil 1. con Sismo $C' r$ en función de $\phi' r$	77
Figura 3.21. Sector 1. Perfil 1 Talud Seco con $C' = 0$ y $\phi' = 33^\circ$ Sin Sismo	84
Figura 3.22. Sector 1. Perfil 1 Talud Seco con $C' = 0$ y $\phi' = 33^\circ$ Con Sismo	85
Figura 3.23. Sector 2. Perfil 2 Talud Seco con $C' = 0$ y $\phi' = 33^\circ$ Sin Sismo	86
Figura 3.24. Sector 2. Perfil 2 Talud Seco con $C' = 0$ y $\phi' = 33^\circ$ Con Sismo	87
Figura 3.25. Sector 3. Perfil 4 Talud Seco con $C' = 0$ y $\phi' = 33^\circ$ Sin Sismo	88
Figura 3.26. Sector 3. Perfil 4 Talud Seco con $C' = 0$ y $\phi' = 33^\circ$ Con Sismo	89
Figura 3.27. Sector 3. Perfil 4 Segunda Opción Talud Seco con $C' = 0$ y $\phi' = 33^\circ$ Sin Sismo	90
Figura 3.28. Sector 3. Perfil 4 Segunda Opción Talud Seco con $C' = 0$ y $\phi' = 33^\circ$ Con Sismo	91
Figura 3.29 Perfil 1 Sector 1 Máxima Distancia de Caída de Bloque sin Barrera.	97
Figura 3.30 Perfil 1 Sector 1 Distancia vs Velocidad de Caída de Bloque con Barrera.	98
Figura 3.31 Perfil 2 Sector 2 Máxima Distancia de Caída de Bloque sin Barrera.	99
Figura 3.32 Perfil 2 Sector 2 Distancia vs Velocidad de Caída de Bloque con Barrera.	100
Figura 3.33 Perfil 4 Sector 3 Máxima Distancia de Caída de Bloque sin Barrera.	101
Figura 3.34 Perfil 4 Sector 3 Distancia vs Velocidad de Caída de Bloque con Barrera.	102
Figura 4.1 Pirámide de Probabilidades de dos Variables.	110
Figura 4.2 Distribución de las Frecuencias acumuladas del Factor de Seguridad del Sector 1 para falla planar Seco Con sismo	113
Figura 4.3 Distribución de las Frecuencias acumuladas del Factor de Seguridad del Sector 1 para falla planar parcialmente saturado Con sismo	114
Figura 4.4 Distribución de las Frecuencias acumuladas del Factor de Seguridad del Sector 1 para falla planar Saturado Con sismo	115
Figura 4.5 Distribución de las Frecuencias acumuladas del Factor de Seguridad del Sector 2 para falla planar Seco Con sismo	116
Figura 4.6 Distribución de las Frecuencias acumuladas del Factor de Seguridad del Sector 2 para falla planar parcialmente saturado Con sismo	117
Figura 4.7 Distribución de las Frecuencias acumuladas del Factor de Seguridad del Sector 2 para falla planar Saturado Con sismo	118
Figura 4.8 Distribución de las Frecuencias acumuladas del Factor de Seguridad del Sector 3 para falla planar Seco Con sismo	119
Figura 4.9 Distribución de las Frecuencias acumuladas del Factor de Seguridad del Sector 3 para falla planar parcialmente saturado Con sismo	120
Figura 4.10 Distribución de las Frecuencias acumuladas del Factor de Seguridad del Sector 3 para falla planar Saturado Con sismo	121
Figura 4.11 Distribución de las Frecuencias acumuladas del Factor de Seguridad del Sector 4 para falla planar Seco Con sismo	113
Figura 4.12 Distribución de las Frecuencias acumuladas del Factor de Seguridad del Sector 4 para falla planar parcialmente saturado Con sismo	114
Figura 4.13 Distribución de las Frecuencias acumuladas del Factor de Seguridad del Sector 4 para falla planar Saturado Con sismo	115
Figura 4.14 Distribución de las Frecuencias acumuladas del Factor de Seguridad del Sector 5 para falla planar Seco Con sismo	113
Figura 4.15 Distribución de las Frecuencias acumuladas del Factor de Seguridad del Sector 1 para falla de cuaternarios Seco Con sismo	127
Figura 4.16 Distribución de las Frecuencias acumuladas del Factor de Seguridad del Sector 1 para falla de cuaternarios parcialmente saturado Con sismo	128

<i>Figura 4.17 Distribución de las Frecuencias acumuladas del Factor de Seguridad del Sector 1 para falla de cuaternarios Saturado Con sismo</i>	129
<i>Figura 4.18 Distribución de las Frecuencias acumuladas del Factor de Seguridad del Sector 2 para falla de cuaternarios Seco Con sismo</i>	130
<i>Figura 4.19 Distribución de las Frecuencias acumuladas del Factor de Seguridad del Sector 2 para falla de cuaternarios parcialmente saturado Con sismo</i>	131
<i>Figura 4.20 Distribución de las Frecuencias acumuladas del Factor de Seguridad del Sector 2 para falla de cuaternarios Saturado Con sismo</i>	132
<i>Figura 4.21 Distribución de las Frecuencias acumuladas del Factor de Seguridad del Sector 4 para falla de cuaternarios Seco Con sismo</i>	133
<i>Figura 4.22 Distribución de las Frecuencias acumuladas del Factor de Seguridad del Sector 4 para falla de cuaternarios parcialmente saturado Con sismo</i>	134
<i>Figura 4.23 Distribución de las Frecuencias acumuladas del Factor de Seguridad del Sector 4 para falla de cuaternarios Saturado Con sismo</i>	135
<i>Figura 5.1 Detalle Paisajístico, Perfil 2.</i>	156
<i>Gráfico 3.1. Geometría analizada para falla por volteo.</i>	51

## INDICE DE PLANOS

<i>Plano CD-01 Mapa Topográfico Esc 1:500</i>
<i>Plano CD-02 Geología regional Esc 1:10000</i>
<i>Plano CD-03 Plano Geológico Esc 1:500</i>
<i>Plano CD-04 Sectorización de la ladera por Mecanismos de Inestabilidad. Esc 1:500</i>
<i>Plano CD-05 Zonificación de la ladera por Amenaza Esc 1:500</i>
<i>Plano CD-06 Zonificación de la ladera por Vulnerabilidad Esc 1:500</i>
<i>Plano CD-07 Zonificación de la ladera por Riesgo Esc 1:5000</i>
<i>Plano CD-08 Propuesta de las Obras para mejoramiento de la Estabilidad del Escarpe. Esc 1:5000</i>
<i>Plano CD-09 Paisajismo y Diseño Arquitectónico Esc 1:250</i>
<i>Plano CD-10 Plano Estructural de las Persianas. Esc 1:10</i>
<i>Plano CD-11 Plano de Detalles de las Obras Propuestas. Esc 1:250</i>

## INDICE DE ANEXOS

<i>Anexo 1. Anexo Topográfico.</i>
<i>Anexo 2. Aspectos Hidrológicos.</i>
<i>Anexo 3. Ensayos de Laboratorio.</i>
<i>Anexo 4. Encuestas Realizadas.</i>
<i>Anexo 5. Consideraciones de los Diseños de las Obras a Implementar.</i>
<i>Anexo 6. Resultados de Análisis de Estabilidad.</i>
<i>Anexo 7. Anexo Fotográfico.</i>
<i>Anexo 8. Planos.</i>
<i>Anexo 9. Recomendaciones Constructivas de las Obras a Implementar.</i>

## BIBLIOGRAFIA

- *Ingeominas - Universidad de los Andes, (Junio de 1997), Proyecto de Microzonificación Sísmica de Santa fe de Bogotá D.C.*

- *Hoek E, Kaiser P.K. Bawden W.F; (1995), Support of Underground Excavations in Hard Rock (Cap.- 4), A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield. Ed.*
- *Goodman Richard E.; (1989), Introduction to Rock Mechanics, John Wiley & Sons,Inc, Second Edition. Ed.*
- *Turner A.K.,(1996), Landslides – Investigation and Mitigation TRB Special Report 247, Schuster R.L. Ed.*
- *Harr H.E. (1987), Reliability – Based Design in Civil Engineering, Mc Graw Hill Ed.*
- *Relaciones de Precipitación Crítica - Duración de Lluvias que disparan movimientos en masa en Santafé de Bogotá. Alvaro González G. Eduardo Zamudio H. y Ramiro Castellanos J.*
- *Conceptos Sobre la Evaluación de Riesgo por Deslizamientos. Alvaro J. González G.. VI jornadas Geotécnicas. Sociedad Colombiana de Ingenieros. 1990*
- *Metodología de Estudios de Riesgo por Deslizamientos a escala Intermedia. Alvaro J. González G.. VI jornadas Geotécnicas. Sociedad Colombiana de Ingenieros. -1990*

### **BIBLIOGRAFIA C.D.I. DE LA UPES.**

<u>DOC.</u>	<u>AUTOR</u>	<u>AÑO</u>	<u>TITULO</u>
E 2	Asoc. Def. ciudadano	94	Proyecto de factibilidad para el mejoramiento y/o relocalización del asentamiento humano ubicado en "El Mirador" Usaquen.
E3-E9	Sandra López Torres	95	Desarrollo y puesta en marcha de acciones para mitigación de riesgos en la localidad de Usaquen.
E 15	Hidrogeocol	93	Estudio de Hidrogeología de Santa Bárbara.
E 27	Rescate Ambiental	94	Mejoramiento de asentamientos ubicados en zonas de alto riesgo de Sn Cristobal.
E 83	Servita Asoc. Ltda.	95	Estudio para estabilidad de taludes en el costado Nor-occidental de Servitá.
E 85	Servitá Asoc. Ltda.	95	Informe Técnico caracterización Geomorfológica, Geotécnica y ambiental cantera Cra. 7a CII 165.
E 100	S. O. P.	95	Informe Técnico recuperación Geomorfológica cantera Cabaña Cra. 7a CII 215.
E 115	Rescate Ambiental*	96	Plan integral de riesgo y recuperación Ambiental zonas de alto riesgo de la localidad de Usaquen. Estudio Hidrológico e Hidráulico.
E 122			Estudio Geotécnico y Geológico lote Cra. 4a # 165-24 Santa Cecilia Baja Norte.
E 151		96	Diseño y cantidad de obra para puntos críticos de Suba y Usaquen.
E 164	Prodea	94	Perfil de proyecto de disminución de riesgo y recuperación ambiental de Soratama.
E 197	Bocacolina	95	Cantera lote El Cerro. Estudio Hidrogeológico e Hidráulico.

E 249	Ingetec	98	Informe fenómenos de Inundación.
E 234	Ingenel y Cía.	90	CII 154 y 157 Soratama. Geotécnia y Geología.
E 235	Tecnoconsulta	98	Soratama en Usaquen Cra. 11 CII 166 Bogotá.
T 85	CII 182 Cra 24	95	. Solicitó DAPD - CMU. Emitió Alberto Rincón.
T 359	CII 182 # 28-21	95	DAPD Isabel de Rojas.
E 297	Hidrotec	97	Estudio y diseños de estabilidad de Taludes. Control de erosión y manejo de aguas para la estabilización de diferentes sitios en la ciudad de Santafé de Bogotá.
Varios	Ingeocim	98	Zonificación por Inestabilidad del terreno para diferentes localidades de Santafé de Bogotá

\* Rescate ambiental Ltda. Valderrama y Cía Ltda. Ing. Consultores Informe Final. Santafé de Bogotá.

Ago 26/96



## DISEÑO DE COLUMNA (PERSIANA)

Para dimensionar las columnas de contención en caso que algún bloque de arenisca se desprenda de algún sitio de la parte alta de la ladera; se utilizó la siguiente metodología:

1- Características del bloque con mayor probabilidad de caer:

El bloque promedio que puede caer tiene las siguientes dimensiones: 1.5m x 1.5m x 1m para un volumen de 2.25m<sup>3</sup>. El peso unitario del material es 2.43 Ton/m<sup>3</sup>, y por consiguiente el peso del bloque es de 5.47 Ton f. Al pasar este peso a masa en S.I., da una masa de 5462 Kg.

2- Fuerza de Impacto:

Con ayuda del programa *ROCFALL*, se establecieron las velocidades de llegada del bloque al caer y pegar contra la columna, las cuales dan del orden de 14 m/s, como se puede observar en las Figuras 3.29 a 3.34. Suponiendo que la caída se desarrolla en menos de un segundo, la fuerza con la que el bloque golpearía a la columna es del orden de 79200 New, que transformada a sistema M.K.S. es 8.1 Ton f. Tomando en cuenta una variación en las dimensiones del bloque, el diseño de la columna se realizó con el fin de que soporte una carga de 10 Ton f a 0.50m de la parte más alta de la misma.

3- Diseño:

El diseño de la columna se realizó con ayuda del programa *STAAD III*, que sigue los lineamientos del código ACI – 318, Base de la Norma Sismoresistente/98, vigente y obligatoria en Colombia. Las características de los materiales a utilizar son:

Acero con  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$  (412 Mpa)

Concreto con  $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  (21 Mpa)

Las memorias de los datos de entrada y del diseño se anexan a continuación y de ella se desprende que la forma de las columnas será trapezoidal en planta, con una base menor de 0.30m, una base mayor de 0.50m y una profundidad de 1m. La columna debe colocarse enfrentada al talud (la dimensión de 0.30m paralela al rumbo del talud) para resistir un posible impacto con su mayor inercia.

La cuantía de refuerzo que resulta en el diseño es de 4 varillas de 1" de diámetro + 5 varillas de  $\frac{3}{4}$ " de diámetro. Previendo que es posible que la columna reciba un impacto lateralmente, se adiciona a esta cuantía, 8 varillas de  $\frac{3}{4}$ " de diámetro en cada costado de la columna. De esta manera, la cuantía total de acero será de 2%, la cual queda dentro de los límites recomendados en la norma.

Como refuerzo para cortante; aunque en el diseño no se requiere, acatando las especificaciones de la Norma Sismoresistente/98 se colocan estribos de diámetro  $\frac{1}{2}$ " cada 0.30m.

Adicional a este refuerzo se deben colocar ganchos de amarre de las varillas intermedias, tal como se explica en el plano CD-10.

### **Recomendaciones Constructivas:**

Excavación: El nivel de cimentación, debe ser roca. En los sitios donde la roca no aflore, se excavará hasta encontrarla y una vez se llegue a este nivel, se debe continuar excavando hasta lograr 1.50m de profundidad de excavación en roca.

Concreto de limpieza:

Al llegar al nivel de excavación requerido, se garantizará mediante un concreto de limpieza, que las varillas de refuerzo no queden exactamente sobre la roca con el objetivo de prevenir la corrosión. El espesor mínimo que deberá existir entre el terreno natural y el refuerzo es de 7cm.

#### Colocación de acero de refuerzo:

Todo el refuerzo estará limpio de corrosión y/o impurezas que afecten la durabilidad y adherencia del mismo.

El refuerzo longitudinal se colocará de manera que las varillas de 1" de diámetro queden paralelas a la menor dimensión de la columna (0.30m), La colocación se hará exactamente sobre el concreto de limpieza.

Dentro de la zona de la excavación, el refuerzo longitudinal se amarrará con dos estribos separados 0.50m, para ayudar al sostenimiento del acero longitudinal. A una altura de 5cm por encima de la superficie, se colocará la primera línea de flejes como se especifica en el Plano CD-10 y cada 30cm en altura, se colocaran estos estribos. Las características de longitud y ganchos del acero se encuentran en el Plano nombrado. La resistencia del acero debe cumplir con un  $f_y$  mínimo de  $4200 \text{ Kg/cm}^2$  (412 Mpa).

#### Colocación de Formaleta:

Las paredes de la excavación en roca pueden servir de formaleta para la colocación del concreto. Del nivel del terreno hacia arriba se colocará formaleta en cualquier material que garantice que las dimensiones de la columna se respeten y que la superficie de la columna quede sin irregularidades. Las paredes internas de la formaleta deben aceitarse para evitar la adherencia con el concreto cuando ocurra su fraguado. La lubricación de la formaleta debe hacerse antes de la colocación para evitar la contaminación del acero de refuerzo.

#### Colocación del concreto:

La resistencia del concreto debe ser de mínimo  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  (21 Mpa) y se colocará desde una altura tal que se evite la segregación del material. Por ningún motivo debe permitirse la adición de agua a la mezcla, una vez llegue al sitio o se halla mezclado según un diseño de mezcla. Por ningún motivo debe permitirse la colocación de concreto de diferentes edades que propicien la generación de una junta de construcción, es decir, cada columna se debe construir monolíticamente. El desencofrado no puede realizarse hasta que se garantice que el concreto ha alcanzado por lo menos el 70% de la resistencia especificada. La superficie de concreto debe quedar libre de hormigueros.

El tipo y número de ensayos que se realizarán sobre los materiales, estarán de acuerdo con la Norma Sismoresistente/98.

## **DISEÑO DE CUNETETA**

El presente diseño se realiza partiendo de la base de que la cuneta de la vía Bogotá – El Triunfo (Sopo), conserva la eficiencia con la que trabaja actualmente.

Para establecer las dimensiones de la cuneta, se procedió de la siguiente manera:

Conociendo:

Area de infiltración = 6Ha.

Longitud máxima de infiltración = 250m

Pendiente promedio = 21%

Tiempo de concentración  $T_c = 10$  minutos.

$C = 0.7$

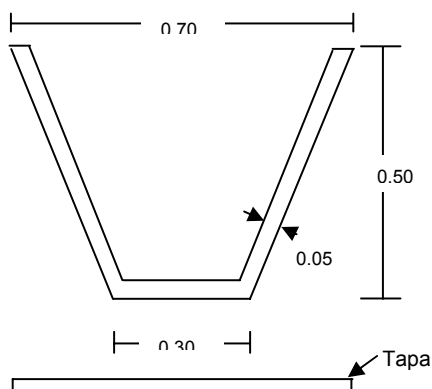
$I = 80 \text{ mm/h}$

$Q = 0.93 \text{ m}^3/\text{s}$

Suponiendo para una verificación posterior, una velocidad máxima de 3.5 m/s, se encuentra que la sección de la cuneta debe ser de 0.267 m<sup>2</sup>. Suponiendo una altura de 0.50m de la cuneta, se llega a que con una sección trapezoidal la base inferior será de 0.30m y la base mayor será de 0.70m.

Verificando con la ecuación de Manning  $V = (1/n)r^{2/3}s^{1/2}$  que da como resultado una velocidad de 3.6 m/s para una pendiente de la cuneta del 2%.

De acuerdo con estas dimensiones, la forma de la cuneta será como el que se muestra en la siguiente Figura:

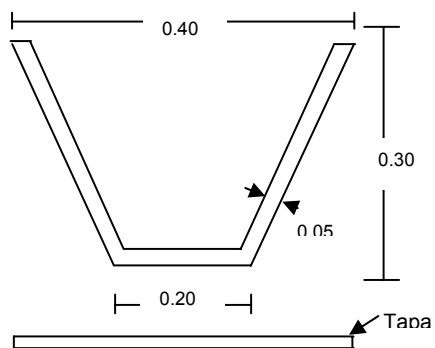


La cuneta se colocará en la parte alta del talud, desde el costado sur del sector 1 hasta la cancha de fútbol.

Es importante anotar que de no ser eficiente el canal que se encuentra en la vía Bogotá – El Triunfo (Sopo), el área de infiltración se aumenta a 11.9 Ha y la longitud máxima de drenaje cambia a 880m con una pendiente promedio de 19.3% con lo cual, el caudal a manejar sería de 1.9 m<sup>3</sup>/seg y la sección de la

cuneta sería de  $0.48\text{m}^2$  para una sección trapezoidal con bases de  $0.40\text{m}$  y  $1.0\text{m}$  y con una altura de  $0.70\text{m}$ .

Adicionalmente a la anterior cuneta, en la base del talud se colocará otra cuneta para recoger el agua que llegue hasta este nivel, el concreto que se utilizará será de  $f'c = 2000$  psi. La sección de forma trapezoidal se consigna en la siguiente figura cuyas dimensiones obedecen más a facilidad constructiva que a un estudio de caudales.



La cuneta se colocará desde el costado sur del sector 1 hasta terminar la calle del sector 2.

# ANEXO 9

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN

### *Pilares de protección. (Persiana Sectores 1, 2 y 3)*

**Alcance:** Se debe realizar la construcción de 49 columnas en concreto reforzado, de sección trapezoidal, cada una con dimensiones así: base mayor = 0.50m; base menor = 0.30m, Profundidad = 1m y altura = 4m. De la altura, por lo menos, 1.50m debe estar empotrado en roca; por consiguiente la altura efectiva del nivel del terreno hacia arriba, será de 2.50m.

**Materiales:** Acero con  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$  (412 Mpa), Concreto con  $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  (21 Mpa).

**Herramientas y Equipos:** Se utilizará *formaleta* metálica o de madera, de manera que se garantice las dimensiones de la columna y el buen terminado de la superficie. Igualmente, en el momento del vaciado se utilizaran vibradores para concreto y martillos de cabeza plástica para ayudar a la colocación del concreto. Se debe tener en el sitio los suficientes cilindros metálicos para la toma de núcleos para verificación de la resistencia del concreto, de acuerdo con las disposiciones que aparecen en la Norma Sismoresistente/98.

**Procedimiento Constructivo:** Para garantizar las dimensiones de las columnas se debe proceder, en cada sitio de ubicación de las mismas, el cual aparece en el Plano CD-09, de la siguiente manera: 1- Excavación: Se excavará un área en planta, de manera que se cumpla con la forma de las columnas, la cual es trapezoidal con una base menor de 0.30m, una base mayor de 0.50m y un largo de 1m. La excavación de esta área se hará hasta que se complete una profundidad de cimentación de 1.50m en roca. La columna debe colocarse enfrentada al talud (la dimensión de 0.30m paralela al rumbo del talud) para resistir un posible impacto sobre su mayor inercia.

El material a nivel de cimentación, deberá ser roca. En los sitios donde la roca no aflore, se excavará hasta encontrarla y se debe lograr como mínimo 1.50m de empotramiento de cada pilar en la roca.

2- Concreto de limpieza: Al llegar al nivel de cimentación requerido, se efectuará un concreto de limpieza, para que las varillas de refuerzo no quede exactamente sobre la roca y evitar que estas estén sometidas a procesos de corrosión. El espesor mínimo del concreto de limpieza será de 7 cm y su resistencia a la compresión, mayor de 110 Kg/cm<sup>2</sup>.

3- Colocación del refuerzo: El refuerzo longitudinal de las columnas trapezoidales consistirá de cuatro varillas de 1" y de 21 varillas de ¾".

Todo el refuerzo deberá estar limpio de corrosión y de impurezas que afecten la durabilidad y adherencia del mismo; el refuerzo longitudinal se colocará de manera tal que las varillas de 1" de diámetro queden del lado de la menor dimensión de la columna (0.30m). La colocación se hará exactamente sobre el concreto de limpieza.

El refuerzo transversal, dentro de la zona de la excavación, el refuerzo longitudinal se amarrará con dos estribos separados 50cm, para ayudar al sostenimiento del acero longitudinal. A una altura de 5cm por encima de la superficie, se colocará la primera línea de flejes que en total por columna corresponden a 11 estribos de ½" de diámetro.

La ubicación del refuerzo se especifica en el plano constructivo de los pilares. (plano CD-10).

4- Colocación de Formaleta: Las paredes de la excavación en roca pueden servir de formaleta para la colocación del concreto. Del nivel del terreno hacia arriba se colocará formaleta en cualquier material que garantice que las dimensiones de la columna se respeten y que la superficie de la columna quede sin irregularidades. Las paredes internas de la formaleta deben aceitarse para evitar la adherencia con el concreto cuando ocurra su fraguado. La lubricación de la formaleta debe hacerse antes de su colocación para evitar la contaminación del acero de refuerzo.



5- Colocación del concreto: Se colocará desde una altura tal que se evite la segregación del material. Por ningún motivo debe permitirse la adición de agua a la mezcla, una vez llegue al sitio o se haya mezclado según un diseño de mezcla. El concreto de cada columna debe colocarse en una sola fundida, garantizando que no se presentaran juntas constructivas. Dentro de cada fundida de columnas, se deben tomar muestras de núcleos para ser ensayados en laboratorio. El tipo y número de ensayos que se realizarán sobre los materiales, estarán acorde con la Norma Sismoresistente/98.

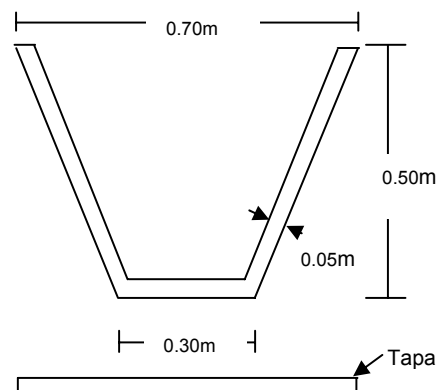
6- Desencofrado: El desencofrado se debe realizar después de que la resistencia del concreto haya alcanzado por lo menos el 70% de la resistencia especificada. La superficie de concreto debe quedar libre de hormigueros.

**Medida de Pago:** La medida de pago de los pilares es por unidad (Un).

### **Cuneta de coronación (Cuneta revestida Tipo 1, Sectores 5 y 6)**

**Alcance:** Se debe realizar un total de 194 ml. de cuneta revestida en concreto con una sección de 0.70m en la parte superior, 0.30m en la base y una altura de 0.50m. El espesor de la pared de la cuneta será de 0.05m y tendrá una tapa de 0.70m de ancha por 0.05m de espesor. La cuneta se colocará en la parte alta del talud, desde el costado sur del sector 1 hasta la cancha de fútbol, como se ubico en el plano de obras CD-11.

**Materiales:** Acero con  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$  (412 Mpa), Concreto con  $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  (21 Mpa).

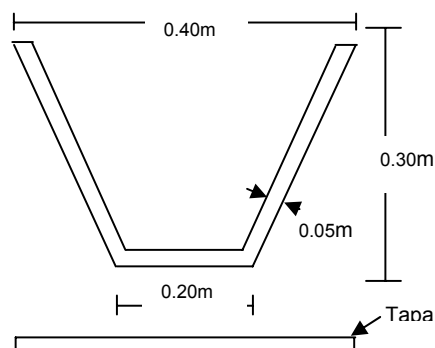


**Procedimiento Constructivo:** 1- Excavación: Se debe excavar un área igual a la sección transversal de la cuneta. 2- Colocación de refuerzo: Se debe colocar, tanto en las paredes como en la tapa, acero para retracción de fraguado, en una cuadrícula de varillas de diámetro de  $\frac{3}{8}$ " cada 20cm. Esta cuadrícula de refuerzo puede ser reemplazada por una malla electrosoldada que brinde un área de refuerzo igual o mayor de  $4.30\text{cm}^2$ . 3- Colocación de concreto: Se debe colocar en el espesor de 5 cm.

**Medida de Pago:** La medida de pago será metro lineal (ml).

**Cuneta en la base del Talud. (Cuneta revestida Tipo 2, Sector 6 parte baja)**

**Alcance:** Se debe realizar un total de 96 ml. de cuneta revestida en concreto con una sección de 0.40m en la parte superior, 0.20m en la base y una altura de 0.30m. El espesor de la pared de la cuneta será de 0.05m y tendrá una tapa de 0.40m de ancha por 0.05m de espesor. La cuneta se colocará en la parte baja del talud, desde el costado sur del sector 1 hasta terminar la calle del sector 2, como señala en el plano de obras CD-08.



**Materiales:** Acero con  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$  (412 Mpa), Concreto con  $f'_c = 140 \text{ Kg/cm}^2$  (14.3 Mpa).

**Procedimiento Constructivo:** 1- Excavación: Se debe excavar un área igual a la sección transversal de la cuneta. 2- Colocación de refuerzo: Se debe colocar tanto en las paredes como en la tapa, acero para retracción de fraguado, en una cuadrícula de varillas de diámetro de  $\frac{3}{8}$ " cada 20cm. Esta cuadrícula de

refuerzo puede ser reemplazada por una malla electrosoldada que brinde un área de refuerzo igual o mayor de  $4.30\text{cm}^2$ . 3- Colocación de concreto: Se debe colocar en el espesor de 5 cm.

**Medida de Pago:** La medida de pago será metro lineal (ml).

#### **Filtro francés (0.5\*0.5) Sector 6.**

**Alcance:** Tendrá una longitud total de aproximadamente 30 ml y sección de 0.50 m x 0.50 m; este filtro recogerá principalmente el agua acumulada en la arenisca debido al efecto de sello que genera la presencia del estrato impermeable de arcillolita en la parte baja del sector 6.(ver plano de obras CD-08).

**Materiales:** Geotextil no tejido ref. 5000 y gravas con diámetro entre 5 y 15 cm..

**Procedimiento Constructivo:** 1- Excavación: Se debe excavar un área igual a 0.50 m de ancho por 0.50m de alto. 2- Colocación del geotextil en las caras de la excavación. 3- Colocación de las gravas en el sitio de la excavación.

**Medida de Pago:** La medida de pago será metro lineal (ml).

#### **Remoción Manual de bloques. Sectores 2, 3 y 5.**

**Alcance:** Se debe remover los bloques que se encuentran sueltos y ubicados en toda el área del talud. La remoción debe ser de los bloques sueltos que se encuentran marcados en el plano CD-08. Esta labor se debe hacer manualmente debido a la precisión que se requiere para no poner en riesgo las personas y sus viviendas y no desestabilizar el talud. El volumen de bloques a remover es de aproximadamente  $600\text{ m}^3$ .

**Equipo y Herramienta:** Se debe utilizar almadena y punteros para romper los bloques, y soportes inferiores en las rocas de gran tamaño.

**Procedimiento de la labor:** Los bloques deben ser apuntalados en la parte inferior de los mismos, para evitar que al romperse, caigan sobre las casas. Una vez apuntalados, deben romperse con almadena hasta que queden bloques de tamaño y peso suficiente para poder ser cargados y sacados manualmente del

sitio para ser almacenados en un patio, para ser usados posteriormente en la construcciones de gaviones, caminos en piedra, etc... Se aconseja que esta labor se realice después de la elaboración de las persianas para disminuir el riesgo de caída e impacto de estos materiales contra las viviendas.

**Medida de Pago:** La medida de pago es de metro cúbico ( $m^3$ ) colocado en el patio de acopio.

#### **Descarga de Roca Sector 1 y 4.**

**Alcance:** Se debe realizar una descarga manual en las partes altas del antiguo escarpe de explotación con el fin de retirar los bloques que presentan fisuras relativamente recientes y con un efecto evidente de movimiento. En el extremo sur, para eliminar la posibilidad de caída de bloques en el futuro, se debe excavar y generar una berma de seguridad y disminuir la pendiente actual del terreno a  $30^\circ$  de inclinación. En la parte Norte (Sector 4) la pendiente del talud será de  $70^\circ$  y tendrá una berma intermedia. La configuración final, se muestra en el plano CD-08. En total son aproximadamente  $325 m^3$  de excavación.

**Procedimiento de la labor:** Una vez construidas las persianas propuestas, se debe proceder a realizar la labor de remoción y descarga manual de las rocas sueltas de los sectores 1 y 4.

**Medida de Pago:** La medida de pago es metro cúbico ( $m^3$ ).

#### **Cerramiento en Malla eslabonada Sectores 2 a 5.**

**Alcance:** Se proyecta colocar malla eslabonada en la parte superior del talud , como una barrera de seguridad, tanto para el parque como para la zona del mirador existente en este sitio. La localización de la malla se presenta en el plano CD - 11. en total son 120 ml.

**Materiales:** Malla eslabonada galvanizada calibre No. 10, alambre galvanizado No.9, Concreto de  $140 \text{ Kg/cm}^2$  para las bases de los módulos, espaciadas cada 3.0m y tubo H.G de diámetro de 2".

**Procedimiento Constructivo:** En el plano CD – 11 se muestran los detalles constructivos. Para elaborar el cerramiento se debe realizar una excavación de 0.20m de ancho por 0.20m de alto. La colocación de la malla se hará de acuerdo con los planos constructivos del plano mencionado.

**Medida de Pago:** metro lineal (ml)

#### **Malla de Sostenimiento de Rocas. Sector 4.**

**Alcance:** En la parte superior del talud del costado Sur de la cancha de fútbol se colocará la malla para evitar la caída de pequeños bloques en este sector. La ubicación se puede observar en el Plano CD-08. En total son aproximadamente 350 m<sup>2</sup>.

**Materiales:** Malla eslabonada calibre No. 10 y alambre No.9 para amarre.

**Procedimiento Constructivo:** La malla irá anclada con varillas de 3/8" con gancho, con una de longitud de 30 cm, ancladas en cuadrícula de 2.50m \* 2.50m. El empotramiento de la varilla será de 20cm. e irá pegada con cemento.

**Medida de Pago:** metro cuadrado (m<sup>2</sup>).

#### **Camino en Piedra. Sector 2.**

**Alcance:** Se debe realizar un camino y su revestimiento en piedra, planteado en el proyecto arquitectónico, aprovechando el material que se recogerá de la remoción manual de bloques de los sectores 2, 3 y 5 y el descargue de rocas de los sectores 1 y 4. La localización del camino se encuentra en el Plano CD-09. El ancho del camino será de 1.50m. En total son aproximadamente 110 m<sup>2</sup>.

**Procedimiento Constructivo:** De acuerdo con la localización propuesta, ver el plano CD – 09, se deberá realizar la acomodación manual de los materiales pétreos, provenientes de la descarga manual de los sectores 2, 3 y 5 y la remoción manual de bloques de los sectores 1 y 4, en un camino de 1.50m de ancho y 74m de longitud.

**Medida de Pago:** Metro cuadrado (m<sup>2</sup>)

### **Muro en Piedra. Sector 2.**

**Alcance:** Se debe colocar el muro en piedra como baranda del camino en piedra planteado en el proyecto arquitectónico. El espesor de este muro será del orden de 0.30m. La Ubicación se encuentra en el Plano CD-09. En total son aproximadamente 75 m<sup>2</sup>.

**Procedimiento Constructivo:** De acuerdo con la localización propuesta en el plano CD – 09, se deberá realizar la acomodación manual de los materiales provenientes de la descarga de los sectores 2, 3 y 5 y la remoción de bloques de los sectores 1 y 4. en una baranda de 0.30m de ancho por 1m de altura.

**Medida de Pago :** Metro cuadrado (m<sup>2</sup>).

### **Siembra de Eucalipto. Sectores 1 a 5.**

**Alcance:** Se debe colocar arbustos de Eucalipto en la base del talud de los sectores 1 a 5 para protección de las casas , de los sectores 1 a 3, de manera que armonicen con la colocación de los pilares de protección. Además en diferentes zonas de los sectores nombrados se plantea la colocación de arbustos de eucalipto. La Ubicación de los arboles se encuentra en el Plano CD – 09. En total son 71 Unidades.

**Materiales:** Arbustos con una edad superior a 1 año, sin raíces dobladas, ya que este factor impide su crecimiento.

**Procedimiento de Plantación:** El arbusto debe plantarse en un hueco de sección cuadrada de 0.5m x,0,5m y profundidad de 0.5m y se le rellenará con tierra franco arenosa. La planta para sembrarla se sacará de la bolsa plástica en la cual viene y se colocará en la excavación rellena con tierra. Se deben dar instrucciones concretas a la comunidad para que colaboren con la supervivencia y crecimiento de los arboles.

**Medida de Pago:** Unidad (Un) plantada.

### **Revegetación. Sectores 1 a 6.**

**Alcance:** Revegetalizar toda el área, excepto los sitios en donde se plantearon las obras propuestas. Las especies de pastos que se deben colocar son carretón y retamo, u otra que se garantice, sobreviva en el sector.

**Materiales:** 2500m<sup>2</sup> de pastos.

**Proceso constructivo:** Colocación del pasto, anclándolo sobre un lecho en tierra negra, con el fin de que sobreviva.

**Medida de Pago:** Metro cuadrado (m<sup>2</sup>).

### **Graderías de la Cancha de Fútbol.**

**Alcance:** Se deben construir 5 graderías en el sector 5, aledaño a la cancha de Fútbol. Las graderías tendrán unas dimensiones de 0.50m de ancho por 0.50m de alto.

**Materiales:** Las gradas serán construidas en concreto de 210 Kg/cm<sup>2</sup> reforzadas con malla electrosoldada que garantice un área de refuerzo de 4.3 cm<sup>2</sup> o una cuadrícula de acero de diámetro 3/8", cada 0.20m en ambas direcciones. En total se excavarán, en roca, del orden de 6m<sup>3</sup>. y se fundirá un total 9.5 m<sup>3</sup> de concreto.

**Proceso constructivo:** Para su construcción se consideran dos ítems. El primero corresponde a la excavación manual para conformar los peldaños, de acuerdo con el corte que aparece en el plano CD – 09. Una vez se hayan conformado los peldaños, se procederá a realizar la colocación del acero de refuerzo y finalmente se hará la fundición del concreto que tendrá un espesor de 0.05m.

**Medida de Pago:** la excavación se pagará por m<sup>3</sup> de excavación realizada y transporte, y la colocación de concreto, que se pagará por m<sup>3</sup> fundido.

**Tabla 6.2 Presupuesto de Obras.**

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL
1. Cuneta Revestida Tipo 1. Sectores 5 y 6	ml	194	\$35,000	\$6,790,000
Cuneta Revestida Tipo 2. Sector 6 Parte Baja.	ml	96	\$35,000	\$3,360,000
2. Descarga de Roca Sectores 1 y 4	m <sup>3</sup>	325	\$18,000	\$5,850,000
3. Remoción Manual de Bloques. Sectores 2, 3 y 5	m <sup>3</sup>	600	\$6,000	\$3,600,000
4. Filtro Frances (0.5x0.5). Sector 6	ml	30	\$35,000	\$1,050,000
5. Persiana Sectores 1, 2 y 3	Un	49	\$770,000	\$37,730,000
6. Muro en Piedra (Borde camino) Sector 2*	m <sup>2</sup>	75	\$25,000	\$1,875,000
7. Siembra de Eucalipto. Sectores 1, 2 y 3	Un	71	\$2,000	\$142,000
8. Revegetalización en todos los Sectores *	m <sup>2</sup>	2500	\$1,800	\$4,500,000
9. Camino en Piedra Sector 2*	m <sup>2</sup>	110	\$15,000	\$1,650,000
10. Cerramiento en malla. Sectores 2, 3, 4 y 5.	ml	120	\$51,200	\$6,144,000
11. Malla de Sostentamiento de Rocas. Sector 4.	m <sup>2</sup>	350	\$5,000	\$1,750,000
12. Graderías de la Cancha de Fútbol * Excavación en roca. Construcción concreto simple.	m <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	5 9.5	\$18,000 \$200,000	\$90,000 \$1,900,000
13. Reubicación Temporal de habitantes durante la construcción	Gl	1		\$3,000,000
14. Obras de Protección durante la Construcción.	GL	1		\$3,500,000
COSTO DE LAS OBRAS SIN INCLUIR LAS DE PAISAJISMO			COSTO TOTAL	\$82,931,000
				\$72,916,000

\* Obras de Paisajismo

**Para el detalle de la ubicación de las Obras Ver Plano CD-08**, Las especies de arboles recomendadas aparecen final del anexo "Consideraciones de Diseño".





**ESTUDIO GEOTÉCNICO, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE  
MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS  
RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR EL ANTIGUO ESCARPE DE  
EXPLOTACIÓN FRENTE AL BARRIO EL MIRADOR SECTOR  
CONJUNTO CERRADO  
LOCALIDAD DE USAQUEN**

**RESUMEN EJECUTIVO**

La Unidad de Prevención y Atención de Emergencias, UPES - FOPAE, por medio del Contrato N<sup>o</sup> G-876-116/98 suscrito, por encargo fiduciario, entre Fiducolumbia y Rocas y Minerales Ltda. Contrató el estudio geotécnico del escarpe frente al Barrio El Mirador. En la Figura 1.1 se presenta una localización de la zona.

Bogotá se encuentra dentro de una zona de amenaza sísmica intermedia, sin embargo, el área de interés, de acuerdo con el “Estudio de Microzonificación de Bogotá” (Ingeominas - Universidad de los Andes /1997) se encuentra en la Zona 1 - Cerros. Los aspectos hidrológicos del sector se tomaron del documento realizado por Hidrotec<sup>1</sup> en Agosto de 1998 para una cantera ubicada diez cuadras al sur. En el estudio de Hidrotec se presenta la información del régimen de precipitación media, máxima y media mensual multianual, las relaciones Intensidad – frecuencia – duración de las lluvias máximas requeridas para el cálculo de caudales de diseño.

---

<sup>1</sup> ESTUDIOS Y DISEÑOS ESTABILIDAD TALUDES Y CONTROL DE EROSIÓN Y MANEJO DE AGUAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE DIFERENTES SITIOS EN LA CIUDAD DE SANTA FE DE BOGOTÁ GRUPO 3., INFORME FINAL SECTOR 3.1 EL CODITO, DOCUMENTO 51 IF -04-01, HIDROTEC LTDA. INGENIEROS CONSULTORES, AGOSTO DE 1998

El alcance de la propuesta de este estudio incluye el análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por *fenómenos de remoción en masa*. No se incluye dentro del alcance, el análisis de la estabilidad de las viviendas ante *sismo*.

Este estudio contempló en los siguientes ítems:

- Revisión Bibliográfica: De información de estudios anteriores contratados por la UPES, así como de libros técnicos sobre los temas de análisis geotécnicos y de probabilidades.
- Fotointerpretación geológica: de las las fotografías aéreas de los vuelos IGAC:C1080, fotos N° 2236 a 2238, escala 20.000, de 1960; y R 1131, fotos N° 557 a 558, escala 5000 de mayo de 1990 (vuelo SADEC, SAC 310)
- Control de campo: Se desarrollaron las actividades de levantamiento topográfico, toma de información para elaborar los modelos geológicos y geotécnicos para los análisis, toma de muestras para ensayos de laboratorio y realización de encuestas a la población en riesgo.
- Elaboración del modelo geológico para fines geotécnicos: Se realizó la cartografía geológica regional, en escala 1: 10.000, y la elaboración de la cartografía geológica detallada en planta y cinco perfiles a escala 1: 500, del escarpe del área de estudio.
- Análisis geotécnico: Inicialmente se realizó una sectorización por mecanismos de falla cinemáticamente posibles para a partir de esta, desarrollar los modelos geotécnicos de análisis de estabilidad y los cálculos determinísticos necesarios para conocer la condición de estabilidad de cada uno de los sectores.
- Estudio de probabilidades de falla y análisis de riesgo: Se realizó el análisis de probabilidades de falla para cada uno de los mecanismos de inestabilidad en los diferentes sectores del escarpe. Se realizó la zonificación por amenaza con su correspondiente documento cartográfico y la zonificación por vulnerabilidad con los correspondientes costos de

afectación. Finalmente se realizó la zonificación del riesgo de la zona afectada por los mecanismos de remoción en masa.

- Definición de los tipos de obras a implementar y diseño detallado de las obras de mitigación y de las obras paisajísticas.
- Elaboración del informe final.

De la realización de este estudio se obtuvieron las siguientes conclusiones y recomendaciones:

### **Conclusiones**

1. El presente estudio se ha realizado para la determinación y control de riesgo por movimientos en masa del terreno del escarpe. No contempla la vulnerabilidad de las edificaciones a la acción sísmica, por lo tanto si se quiere precisar si las edificaciones están amenazadas por este fenómeno, se deberá realizar un estudio específico para tal fin.
2. El escarpe de la antigua explotación frente al Barrio El Mirador – Conjunto Cerrado, para las condiciones existentes topográficas, de los materiales aflorantes e hidrológicas, en el momento de la realización del presente estudio, se ha dividido en seis (6) sectores, que se observan en el Plano CD-04, de sur a norte, los cuales tienen las siguientes condiciones de estabilidad:
  - **Sector 1.** La parte del escarpe en roca es estable. Los materiales sueltos (bloques entrabados) existentes en la parte media y alta, tienen posibilidad de movimiento por caída de bloques; por tanto es necesario hacer una descarga de un volumen de material de aproximadamente 235 m<sup>3</sup> y conformar esta parte del talud.
  - **Sector 2.** El escarpe en roca es estable. Existe probabilidad de falla rotacional de los materiales de derrubio acumulados en la parte baja del talud. Debido a las eventuales caídas de bloques y material suelto

- localizado en la cresta del talud, este material será descargado. El volumen a remover es de 70 m<sup>3</sup> aproximadamente.
- **Sector 3.** La porción del escarpe en roca es estable. El depósito de bloques sueltos localizado en la parte alta y media del escarpe tiene posibilidad de falla por caída de bloques; luego es necesario hacer una remoción de todo el material suelto, cuyo volumen es del orden de 300 m<sup>3</sup>.
  - **Sector 4.** Es un corte en roca estable. Pero en la parte alta del borde occidental del escarpe existen aberturas importantes en las diaclasas y localmente se ha presentado caída de bloques. Para mejorar la condición de estabilidad del sector, se ha previsto la realización de una descarga de material y la colocación de una malla para confinar los bloques sueltos. El volumen de material a remover es del orden de 90 m<sup>3</sup> y área de colocación de la malla es de 350m<sup>2</sup>.
  - **Sector 5.** Comprende el talud oriental de la cancha de fútbol. Allí ha ocurrido falla planar. Para controlar el incremento de este proceso de inestabilidad se requiere remover el material fallado, que es del orden de 230 m<sup>3</sup> y conformar el talud, construyendo una gradería para la cancha.
  - **Sector 6.**Corresponde a las áreas de terreno estable. Comprende el área dónde está ubicado el barrio El Mirador Conjunto Cerrado y la franja de terreno del borde oriental del área de estudio
3. Las medidas de estabilización del escarpe están orientadas principalmente a controlar la acción antrópica y a minimizar el riesgo por caída de bloques y deslizamientos. Existen bastantes personas vulnerables (128 personas directamente afectadas), aspecto que ha de tenerse en cuenta, debido a que la vida e integridad de las personas son invaluable.
4. El índice de riesgo global es bajo, 0.1976, sin embargo, hay algunos aspectos puntuales que deben tenerse en cuenta, como la acción antrópica, que dispara el grado de amenaza.

5. Las obras a realizar se han dividido en: Obras de mitigación y Obras de paisajismo. Las de mitigación requeridas para mejorar la estabilidad global del escarpe de la antigua cantera y disminuir el riesgo sobre las viviendas ubicadas en la parte baja del escarpe son básicamente: una cuneta revestida ubicada en la parte alta del escarpe con una longitud de 194m, un filtro en la parte baja del escarpe con 30m de longitud e igualmente en la parte baja del escarpe una cuneta de 96m. de longitud; tres descargas de material con conformación morfológica del talud que suman un volumen de 325m<sup>3</sup> y una remoción de bloques sueltos en una cantidad de 600m<sup>3</sup>; elaboración de una persiana en la base del escarpe constituida por 49 pilares en concreto reforzado e intercalaciones de 71 arboles; como ultima obra de mitigación, en el costado Sur de la cancha de fútbol, la colocación de una malla de contención en un área de 350m<sup>2</sup>. Estas Obras se muestran en el Plano CD-08.
6. Como obras paisajísticas se plantea la conveniencia de construir por el escarpe un camino peatonal, hacer un cerramiento con malla en la parte alta del escarpe en una longitud de 120m con una altura de 1.50m, en el tramo aledaño a la cancha de fútbol, la construcción de unas graderías en su costado oriental y la revegetalización de toda el área de estudio
7. El valor del riesgo se evalúa como la amenaza por la vulnerabilidad. Para cada movimiento es evaluado, teniendo en cuenta los costos que generaría una eventual falla. Estos valores son cotejados con los costos en que se incurriría al construir las obras de estabilización mitigación y control.
  - El costo de las obras de mitigación es de \$66.416.000
  - El costo de las obras de paisajismo es de \$10.015.000
  - El costo de reubicación temporal y protección mientras ejecución de obras es de \$6.500.000.
  - De acuerdo con el análisis probabilístico de falla, el costo de la falla, *sin tener en cuenta las vidas humanas*, es de \$422.473.950.

- La relación Costo de Falla vs Costo de Obras (Sin incluir las paisajísticas) es de 5.79. Si se tiene en cuenta las obras de paisajismo, la relación mencionada da un valor de 5.09, por tanto las obras son viables, máxime si se tiene en cuenta que la relación de los costos no incluye el costo de las vidas humanas.
8. Las obras diseñadas están ajustadas a las condiciones del proyecto, su costo es bajo y se va a beneficiar a la comunidad, por que además, una vez construida la protección, que da mayor seguridad del barrio, este podría ser legalizado si cumple con los demás requisitos.

### ***Recomendaciones***

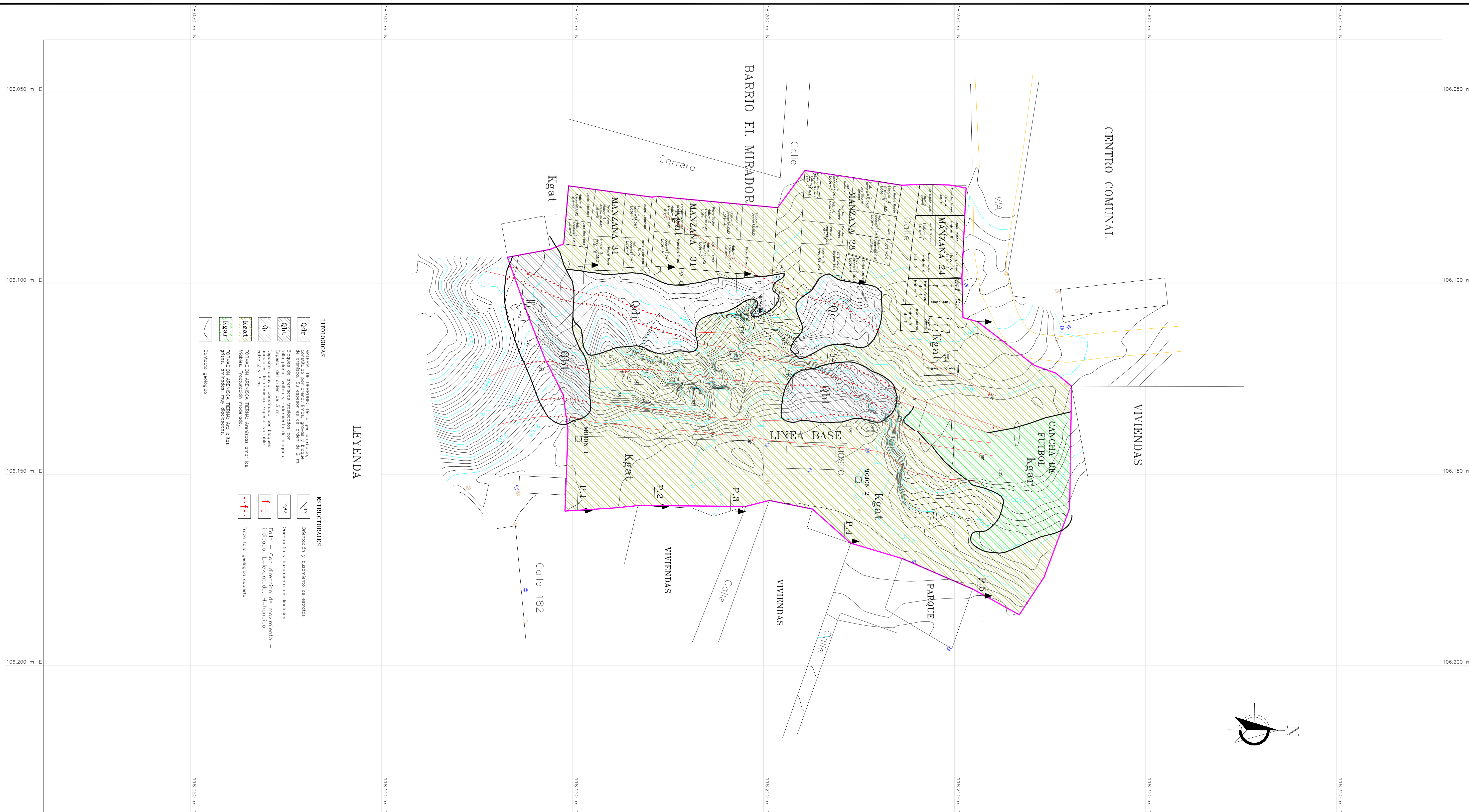
1. Hacer un trabajo social con la comunidad del sector para concientizarla y comprometerla en la preservación y mejora de las condiciones de estabilidad del escarpe.
2. Todas las labores de descarga y remoción de materiales se harán manualmente, *descargando siempre de arriba hacia abajo* y aislando temporalmente las áreas aledañas al sitio de trabajo. Incluso durante el lapso que dure el trabajo, en los sectores 1 y 3, se deben evaluar la conveniencia de desocupar *temporalmente algunas de* las viviendas, aledañas hacia abajo, al sitio de la descarga, actividad que ha sido contemplada en los costos.
3. A la cuneta recolectora de aguas de escorrentía que existe actualmente en las vecindades del Salón Comunal se le debe aumentar su capacidad ya que es insuficiente para el volumen de agua que recoge en la actualidad, según los estudios realizados por la UPES, en la zona. Además, la cuneta planteada en este estudio entregará el agua a la cuneta anteriormente mencionada.

**Rocas y Minerales Ltda.**

**22 de febrero de 1999**

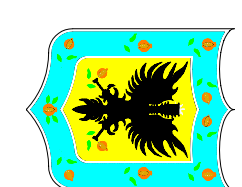
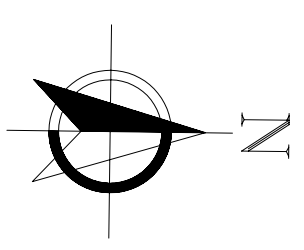






- LITOLÓGICAS**
- qtr** MATRIZ DE DESARROLLO DE OBRAS PÚBLICAS, constituido por arena, limo, arena y bloque de arenisca. Su espesor es del orden de 2 m.
  - qbt** Bloques de arenisca volcánicas por arenisca, con un espesor del orden de 3 m.
  - qc** Depósito coluvial constituido por bloques angulares de arenisca. Espesor variable entre 2 y 3 m.
  - Kgat** FORMACION ARENISCA TERNA. Areniscas amarillentas, frías. Fracturación moderada.
  - Kgat** FORMACION ARENISCA TERNA. Areniscas verdes, húmedas; muy fracturadas.
  - Contacto geológico
- ESTRUCTURALES**
- Orientación y buzamiento de estratos
  - Orientación y buzamiento de diáclasis
  - Fallo - Con dirección de movimiento - indicado: L=levantado, H=hundido.
  - Trazo tipo geológico caliente

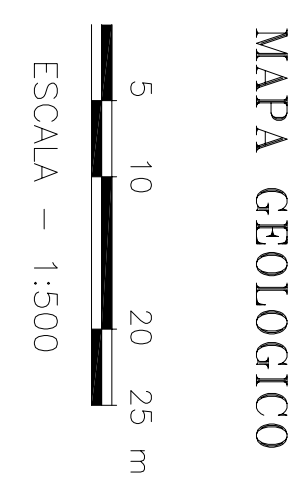
**LEYENDA**



Unidad de Prevención y Atención de Emergencias  
**ALCALDÍA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.**

**ROCAS Y MINERALES LTDA.**  
 Ingenieros Consultores

**ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACION**  
 BARRIO EL MIRADOR – CONJUNTO CERRADO  
 No. CONTRATO G-876-116/98



- CONVENCIONES**
- Postes de energía
  - Postes de teléfono
  - Curvo de nivel redonda 20m
  - Curvo de nivel intermedia 10m
  - Viviendas o Paramentos
  - Perfil topográfico
  - Límite área de estudio
  - Contorno

PREPARO:  
**PEDRO A. HERNANDEZ B.**  
 GEOLOGO M.P. 114

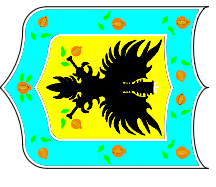
DIBUJO:  
**AMANDA DUARTE C.**

INTERVENTORIA:  
**ANÁLISIS GEOTÉCNICOS COLOMBIANOS LTDA.**

FUENTE:  
**ROCAS Y MINERALES LTDA.**

ENERO DE 1.999  
 PLANO No.  
**CD-03**  
 ARCHIVO:  
**Plano CD-03.dwg**





Unidad de Prevención y  
Atención de Emergencias

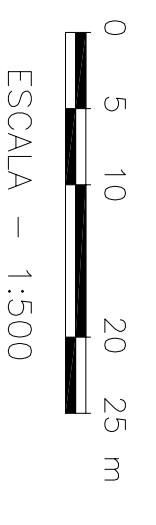
ALCALDIA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.

ROCAS Y MINERALES LTDA.  
Ingenieros Consultores

ANTIGUO ESCARPE DE  
EXPLOTACION

BARRIO EL MIRADOR – CONJUNTO CERRADO  
No. CONTRATO G-876-116/98

SECTORIZACION DE LA LADERA  
POR MECANISMO DE INESTABILIDAD



#### CONVENCIONES

- Postes de energía
- Postes de teléfono
- Curvo de nivel redondeado
- Curvo de nivel intermedio
- Viviendas o Paramentos
- Perfil topográfico
- Límite obra de estudio
- Camino

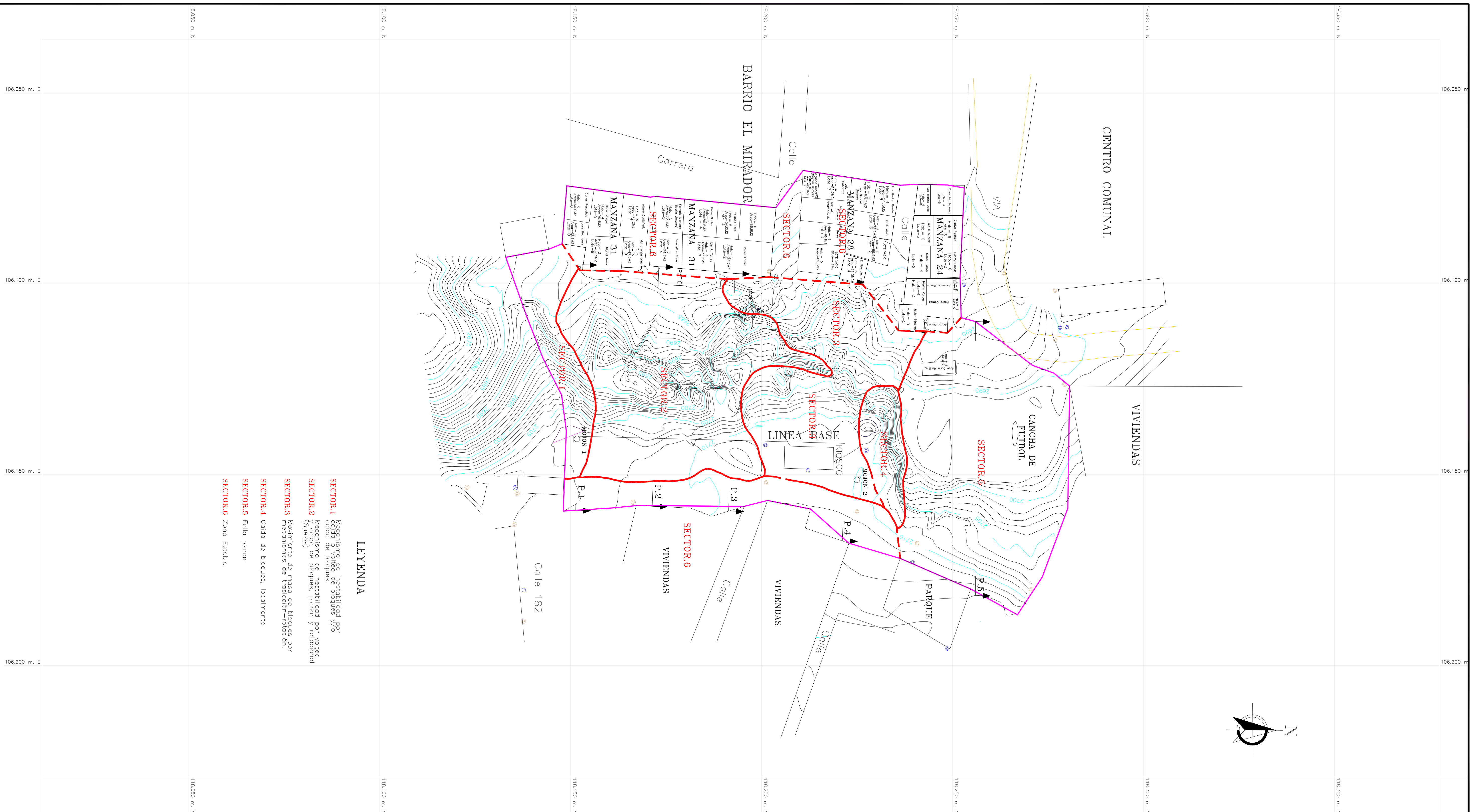
PREPARO:  
PEDRO A. HERNANDEZ B.  
GEOLOGO M.P. 114

DIBUJO:  
AMANDA DUARTE C.

INTERVENTORIA:  
ANÁLISIS GEOTÉCNICOS COLOMBIANOS LTDA.

FUENTE:  
ROCAS Y MINERALES LTDA.

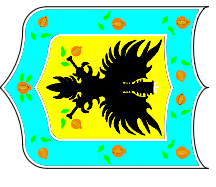
ENERO DE 1.999  
PLANO No.  
CD-04  
ARCHIVO:  
Plano CD-04.dwg



#### LEYENDA

- SECTOR 1 Mecanismo de inestabilidad por caída o volteo de bloques.
- SECTOR 2 Mecanismo de inestabilidad por volteo y caída de bloques, planar y rotacional (Suelos).
- SECTOR 3 Movimiento de masa de bloques por mecanismos de "trascisión-rotación".
- SECTOR 4 Caída de bloques, localmente.
- SECTOR 5 Falla planar.
- SECTOR 6 Zona Estable.





Unidad de Prevención y  
Atención de Emergencias

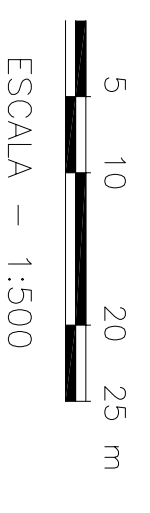
ALCALDIA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.

**ROCAS Y MINERALES LTDA.**  
Ingenieros Consultores

**ANTIGUO ESCARPE DE  
EXPLOTACION**

BARRIO EL MIRADOR – CONJUNTO CERRADO  
No. CONTRATO G-876-116/98

**ZONIFICACION POR AMENAZA**



- CONVENCIONES**
- Poste de energía
  - Poste de teléfono
  - Curva de nivel redonda
  - Curva de nivel intermedia
  - Viviendas o Poramientos
  - Perfil topográfico
  - Límite vial de estudio
  - Camino

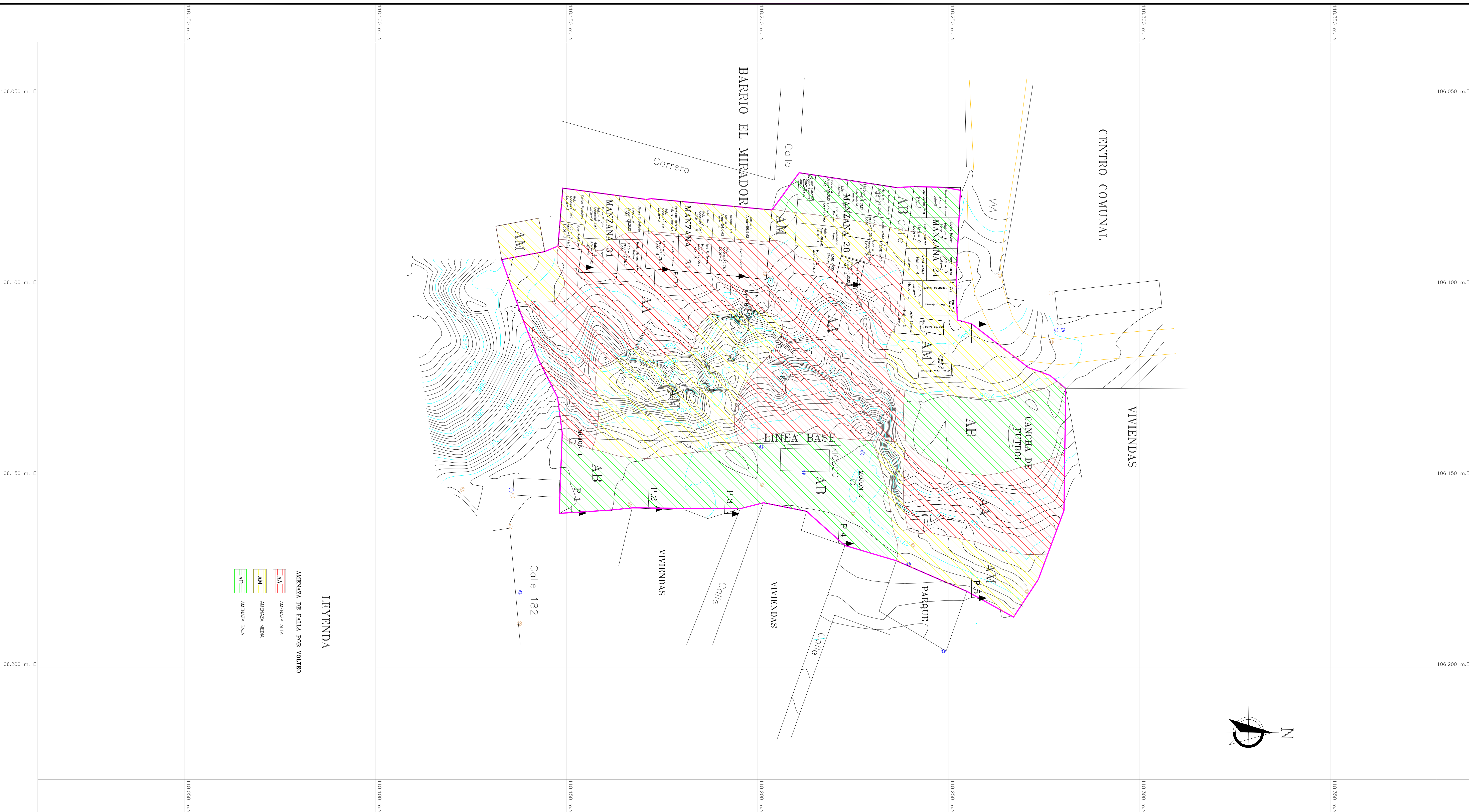
PREPARO:  
**LUIS F. PEREZ C.**  
ING. CIVIL, M.P. 2520214570 CND

DIBUJO:  
**AMANDA DUARTE C.**

INTERVENTORIA:  
ANÁLISIS GEOTECNICOS COLOMBIANOS LTDA.

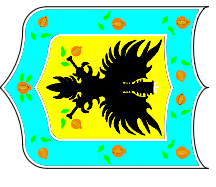
FUENTE:  
ROCAS Y MINERALES LTDA.

ENERO DE 1.999  
PLANO No.  
CD-05  
ARCHIVO:  
Plano CD-05.dwg



- LEYENDA**
- AMENAZA DE FALLA POR VOLTRO
- AMENAZA ALTA
  - AMENAZA MEDIA
  - AMENAZA BAJA





Unidad de Prevención y  
Atención de Emergencias

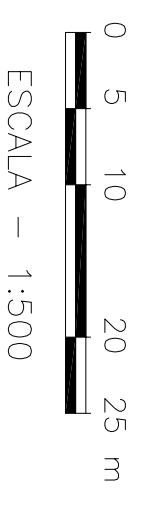
ALCALDIA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.

**ROCAS Y MINERALES LTDA.**  
Ingenieros Consultores

**ANTIGUO ESCARPE DE  
EXPLOTACION**

BARRIO EL MIRADOR – CONJUNTO CERRADO  
No. CONTRATO G-876-116/98

**ZONIFICACION DE LA LADERA  
POR VULNERABILIDAD**



- CONVENCIONES**
- Poste de energía
  - Poste de teléfono
  - Curva de nivel redonda
  - Curva de nivel intermedia
  - Viviendas o Parentesis
  - Perfil topográfico
  - Límite vial de estudio
  - Camino

PREPARO:  
**LUIS F. PEREZ C.**  
ING. CIVIL M.P. 2520214570 CND

DIBUJO:  
**AMANDA DUARTE C.**

INTERVENTORIA:  
ANÁLISIS GEOTECNICOS COLOMBIANOS LTDA.

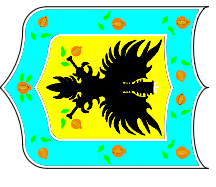
FUENTE:  
ROCAS Y MINERALES LTDA.

ENERO DE 1.999  
PLANO No.  
**CD-06**  
ARCHIVO:  
Plano CD-06 .dwg



- LEYENDA**
- AREA DE VULNERABILIDAD ALTA
  - AREA DE VULNERABILIDAD MEDIA
  - AREA DE VULNERABILIDAD BAJA





Unidad de Prevención y  
Atención de Emergencias

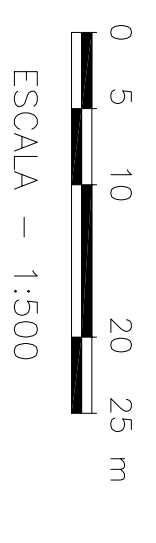
ALCALDIA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.

**ROCAS Y MINERALES LTDA.**  
Ingenieros Consultores

**ANTIGUO ESCARPE DE  
EXPLOTACION**

BARRIO EL MIRADOR – CONJUNTO CERRADO  
No. CONTRATO G-876-116/98

**MAPA DE RIESGO**



- CONVENCIONES**
- Postes de energía
  - Postes de teléfono
  - Curvo de nivel redonda 20m
  - Curvo de nivel intermedia
  - Viviendas o Parapetos
  - Perfil topográfico
  - Límite área de estudio
  - Contorno

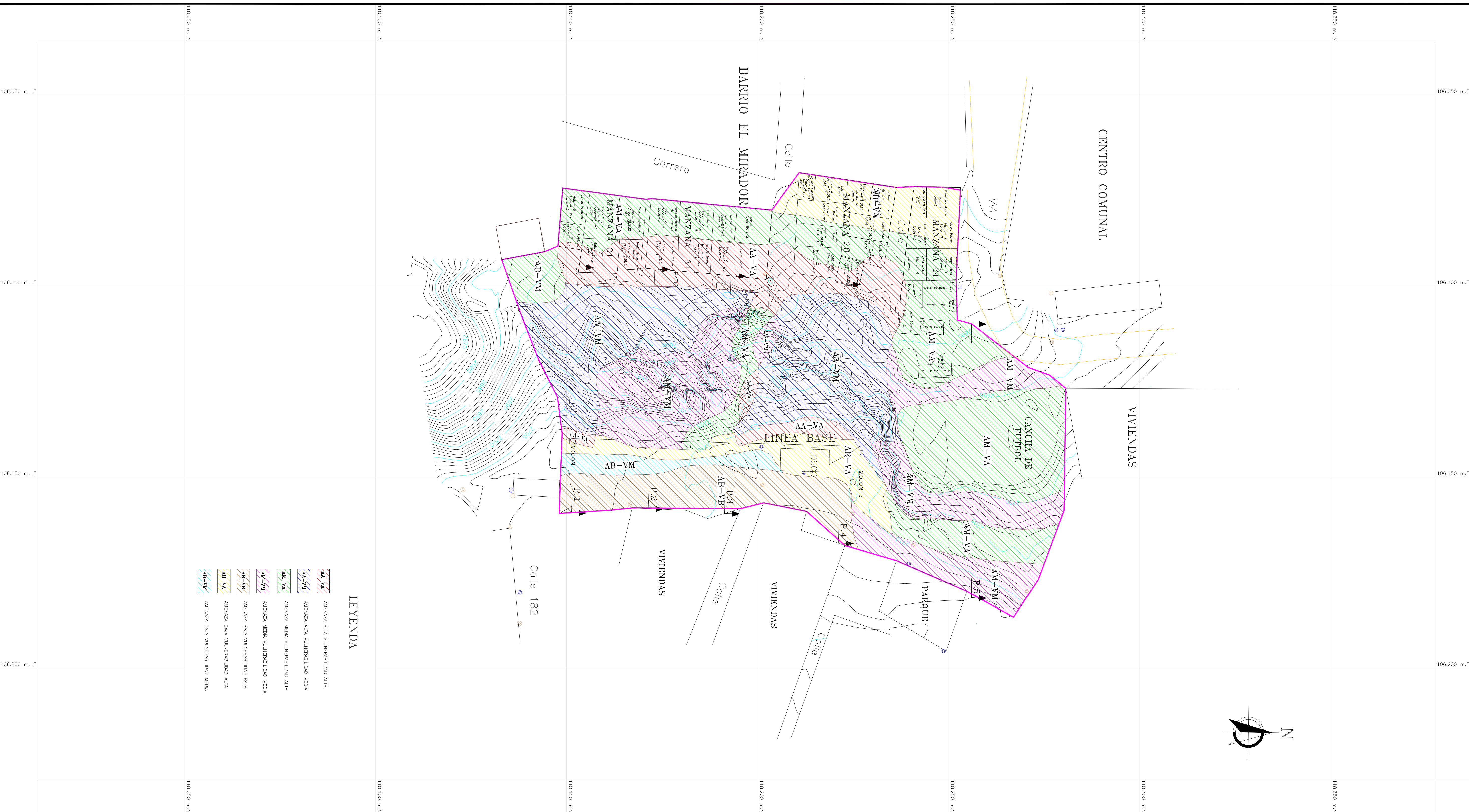
PREPARO:  
**LUIS F. PEREZ C.**  
ING. CIVIL, M.P. 2520214570 CND

DIBUJO:  
**AMANDA DUARTE C.**

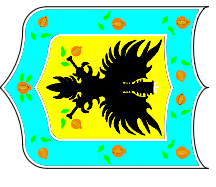
INTERVENTORIA:  
ANALISIS GEOTECNICOS COLOMBIANOS LTDA.

FUENTE:  
ROCAS Y MINERALES LTDA.

ENERO DE 1.999  
PLANO No.  
CD-07  
ARCHIVO:  
Plano CD-07.dwg







Unidad de Prevención y  
Atención de Emergencias

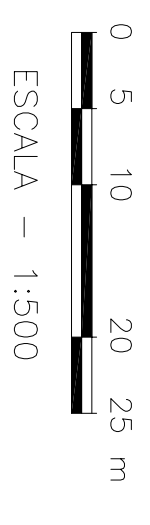
**ALCALDIA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.**

**ROCAS Y MINERALES LTDA.**  
Ingenieros Consultores

**ANTIGUO ESCARPE DE  
EXPLOTACION**

BARRIO EL MIRADOR – CONJUNTO CERRADO  
No. CONTRATO G-876-116/98

**PROPUESTA DE LAS OBRAS  
PARA MEJORAMIENTO DE LA  
ESTABILIDAD DEL ESCARPE**



- CONVENCIONES**
- Poles de energía
  - Poles de teléfono
  - Curvo de nivel redonda 20m
  - Curvo de nivel intermedia
  - Viviendas o Paramentos
  - Perfil topográfico
  - Límite area de estudio
  - Contorno

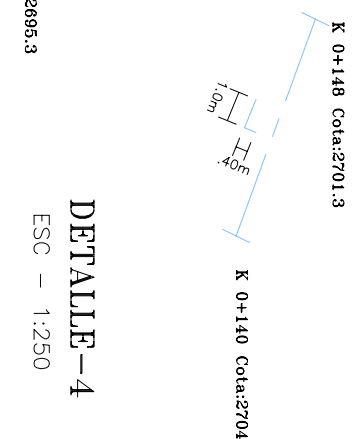
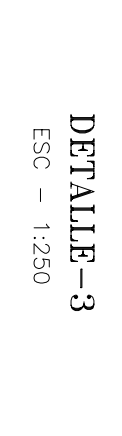
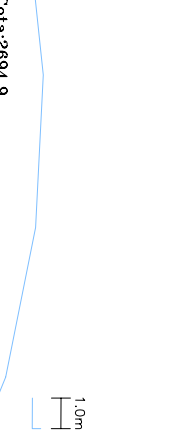
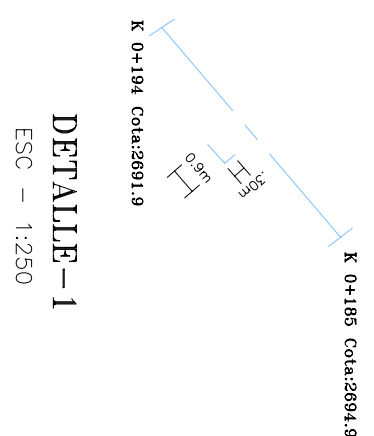
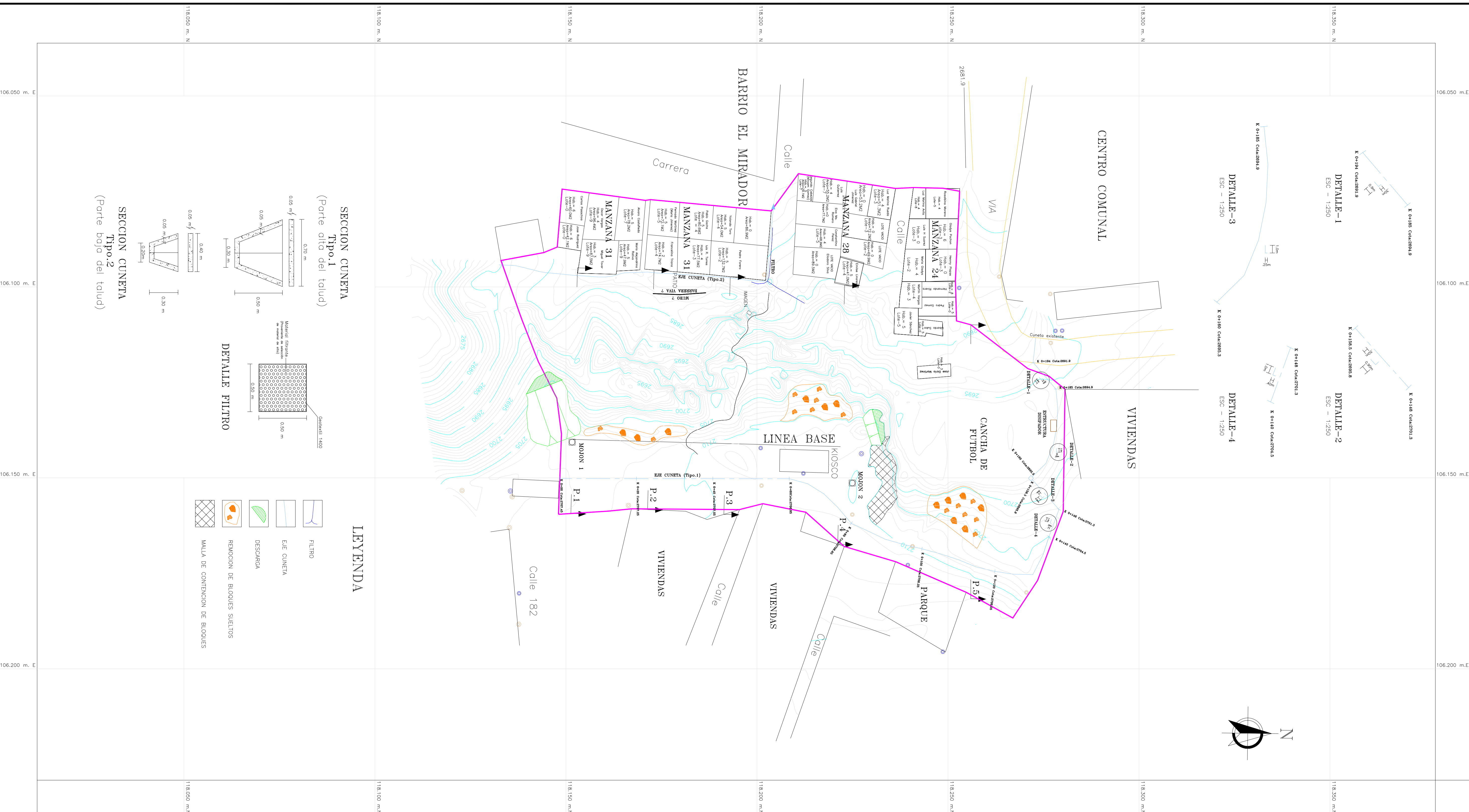
PREPARO:  
**PEDRO A. HERNANDEZ B.**  
GEOLOGO M.P. 114

DIBUJO:  
**AMANDA DUARTE C.**

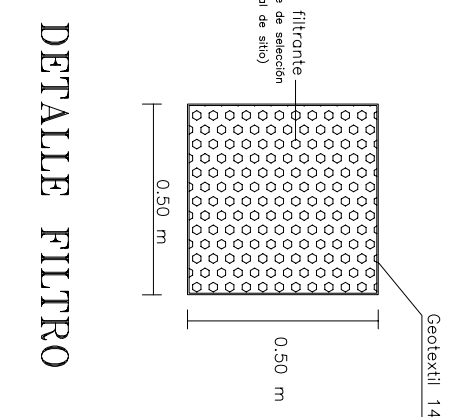
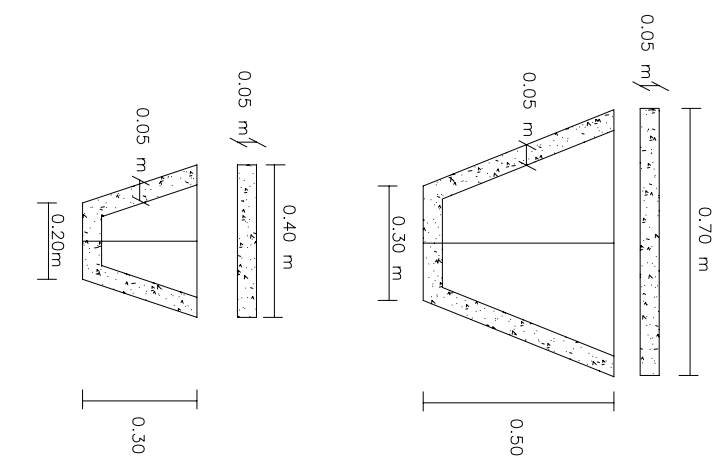
INTERVENTORIA:  
ANALISIS GEOTECNICOS COLOMBIANOS LTDA.

FUENTE:  
ROCAS Y MINERALES LTDA.

ENERO DE 1.999  
PLANO No.  
**CD-08**  
ARCHIVO:  
Plano CD-08.dwg

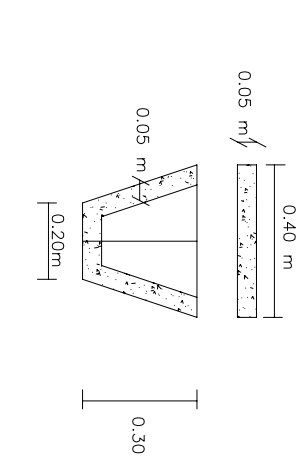


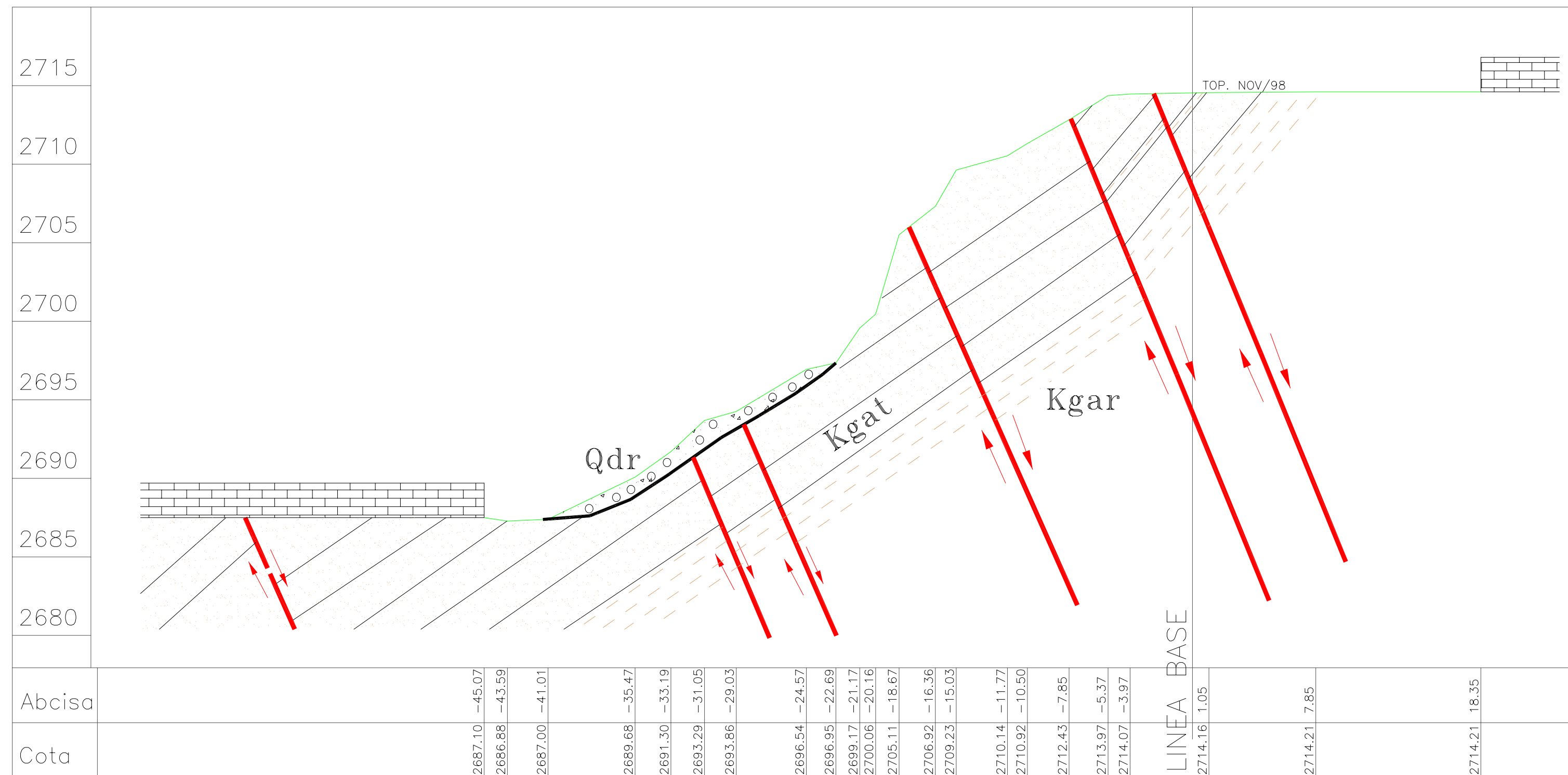
**SECCION CUNETTA  
Tipo.1**  
(Parte alta del talud)



- LEYENDA**
- FILTRO
  - EJE CUNETTA
  - DESCARGA
  - REMOCION DE BLOQUES SUELTOS
  - MALLA DE CONTENCIÓN DE BLOQUES

**SECCION CUNETTA  
Tipo.2**  
(Parte bajo del talud)





PERFIL 2-2

LEYENDA

- Qdr MATERIAL DE DERRUBIO: Constituido por arena, limos, gravas y bloque de arenisca.
- Kgat FORMACION ARENISCA TIERNA: Areniscas amarillas, de grano fino a grueso, cemento algo ferruginoso, friables.
- Kgar FORMACION ARENISCA TIERNA: Arcillolitas grises, laminadas

NOTA: Ubicación del perfil en los planos CD-01, CD03 Y CD-04



Unidad de Prevención y Atención de Emergencias

ALCALDIA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTA D.C.

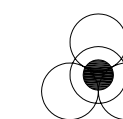
ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACION

BARRIO EL MIRADOR – CONJUNTO CERRADO  
No. CONTRATO G-876-116/98

SECTOR 2  
MODELO GEOLOGICO PARA ANALISIS GEOTECNICO  
PERFIL 2



ESCALA – 1:500



ROCAS Y MINERALES LTDA.  
Ingenieros Consultores

PREPARO:

PEDRO HERNANDEZ B.  
GEOLOGO: M.P. 114

DIBUJO:

AMANDA DUARTE C.

INTERVENTORIA:

ANALISIS GEOTECNICOS COLOMBIANOS LTDA.

FUENTE:

ROCAS Y MINERLAES LTDA.

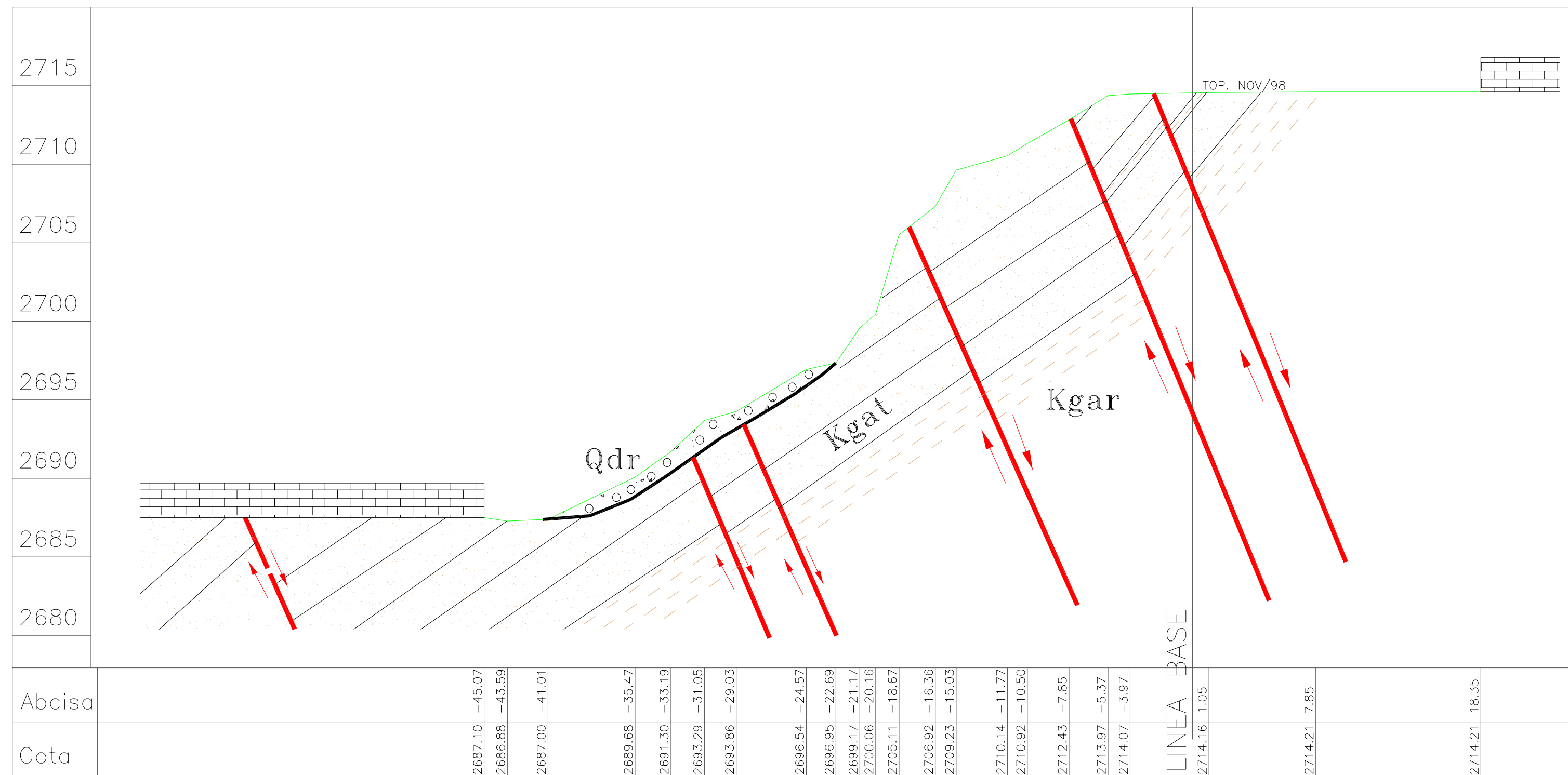
ENERO DE 1.999

FIGURA No.:

2.3

ARCHIVO:

Figura 2.3.dwg



PERFIL 2-2

LEYENDA

- Qdr** MATERIAL DE DERRUBIO: Constituido por arena, limos, gravas y bloque de arenisca.
- Kgat** FORMACION ARENISCA TIERNA: Areniscas amarillas, de grano fino a grueso, cemento algo ferruginoso, friables.
- Kgar** FORMACION ARENISCA TIERNA: Arcillolitas grises, laminadas

NOTA: Ubicación del perfil en los planos CD-01, CD03 Y CD-04



Unidad de Prevención y Atención de Emergencias

ALCALDIA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTA D.C.

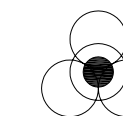
ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACION

BARRIO EL MIRADOR – CONJUNTO CERRADO  
No. CONTRATO G-876-116/98

SECTOR 2  
MODELO GEOLOGICO PARA ANALISIS GEOTECNICO  
PERFIL 2



ESCALA – 1:500



ROCAS Y MINERALES LTDA.  
Ingenieros Consultores

PREPARO:

PEDRO HERNANDEZ B.  
GEOLOGO: M.P. 114

DIBUJO:

AMANDA DUARTE C.

INTERVENTORIA:

ANALISIS GEOTECNICOS COLOMBIANOS LTDA.

FUENTE:

ROCAS Y MINERLAES LTDA.

ENERO DE 1.999

FIGURA No.:

2.3

ARCHIVO:

Figura 2.3.dwg









Unidad de Prevención y  
Atención de Emergencias

ALCALDIA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTA D.C.

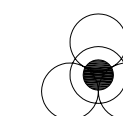
### ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACION

BARRIO EL MIRADOR – CONJUNTO CERRADO  
No. CONTRATO G-876-116/98

#### SECTOR 3 MODELO GEOLOGICO PARA ANALISIS GEOTECNICO PERFIL 4



ESCALA – 1:500



ROCAS Y MINERALES LTDA.  
Ingenieros Consultores

PREPARO:

**PEDRO HERNANDEZ B.**  
GEOLOGO: M.P. 114

DIBUJO:

**AMANDA DUARTE C.**

INTERVENTORIA:

ANALISIS GEOTECNICOS COLOMBIANOS LTDA.

FUENTE:

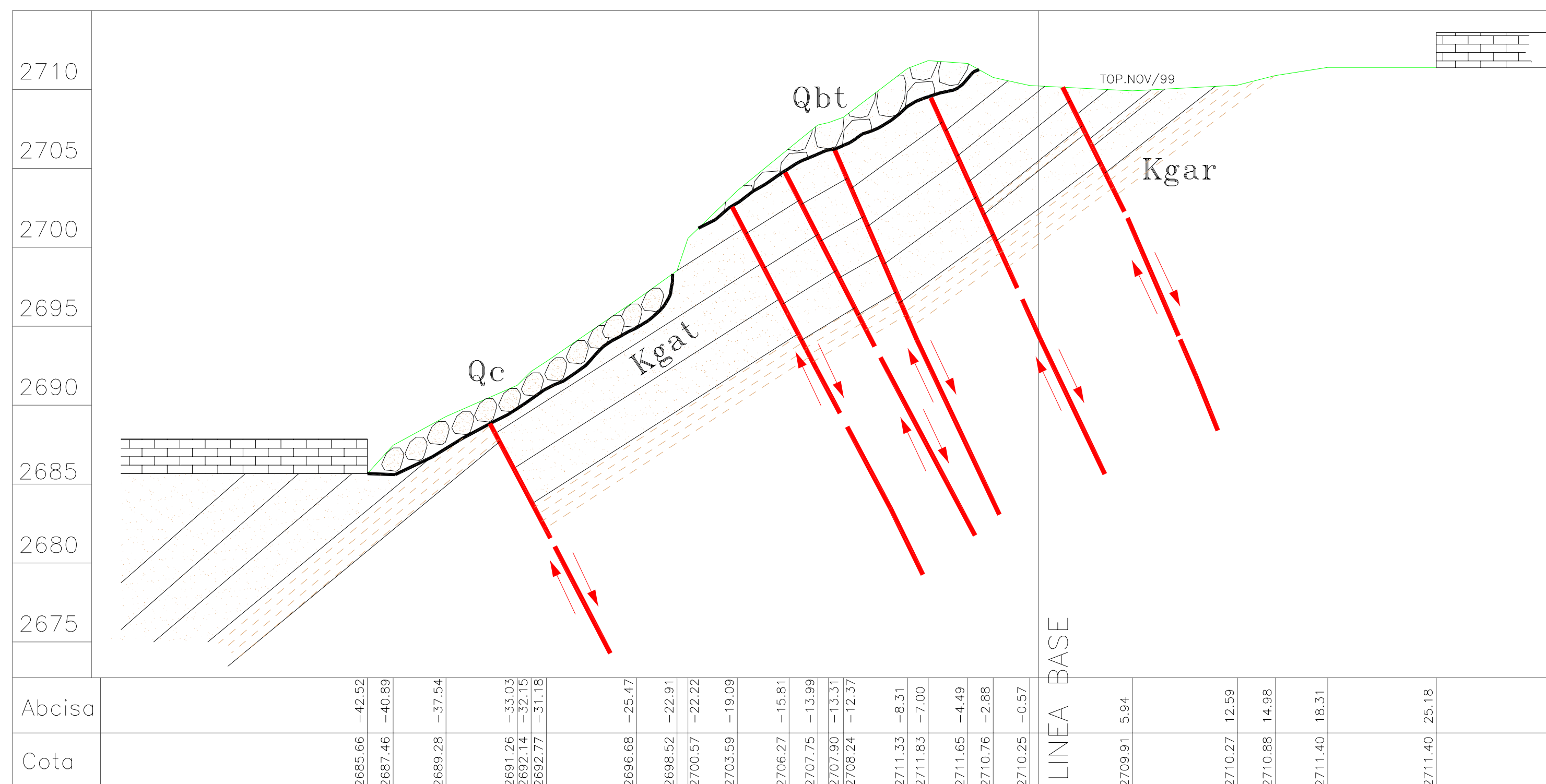
ROCAS Y MINERLAES LTDA.

ENERO DE 1.999

FIGURA No.:  
**2.5**

ARCHIVO:

**Figura 2.5.dwg**



PERFIL 4-4

### LEYENDA

- Qbt** Bloques de areniscas trasladados por falla planar.
- Qc** Deposito coluvial constituido por bloques angulares de arenisca.
- Kgat** FORMACION ARENISCA TIERNA: Areniscas amarillas, de grano fino a grueso, cemento algo ferruginoso, friables.
- Kgar** FORMACION ARENISCA TIERNA: Arcillolitas grises, laminadas

NOTA: Ubicación del perfil en los planos CD-01, CD-03 y CD-04





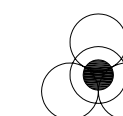
Unidad de Prevención y  
Atención de Emergencias

ALCALDÍA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.

### ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACION

BARRIO EL MIRADOR – CONJUNTO CERRADO  
No. CONTRATO G-876-116/98

#### SECTOR.1, DIAGRAMA DE POLOS ASOCIADO AL PERFIL 1



ROCAS Y MINERALES LTDA.  
Ingenieros Consultores

PREPARO:

JOHN J. SILVA C.  
ING. CIVIL M.P. 2520263210

DIBUJO:

AMANDA DUARTE C.

INTERVENTORIA:

ANALISIS GEOTECNICOS COLOMBIANOS LTDA.

FUENTE:

ROCAS Y MINERLAES LTDA.

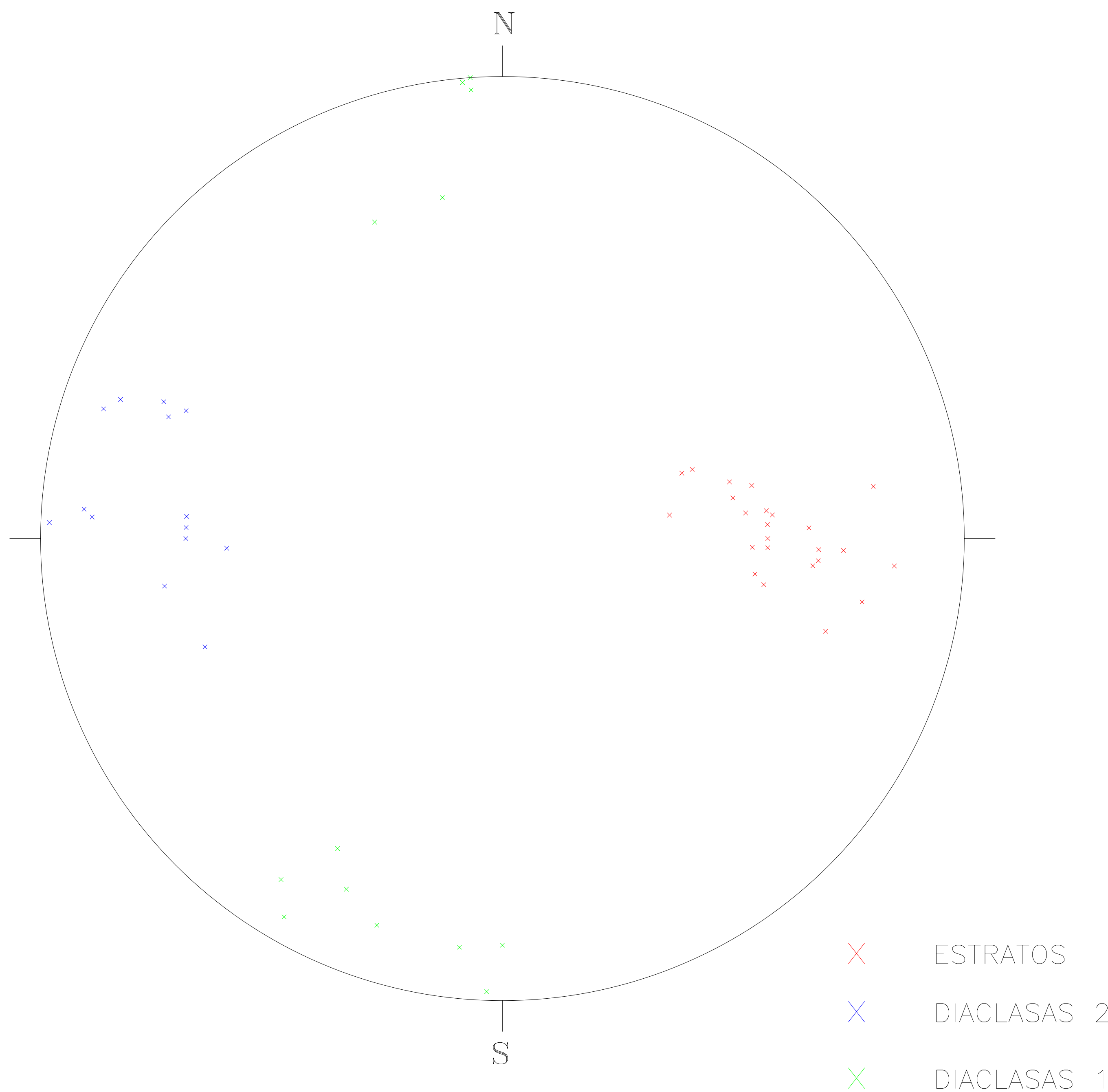
ENERO DE 1.999

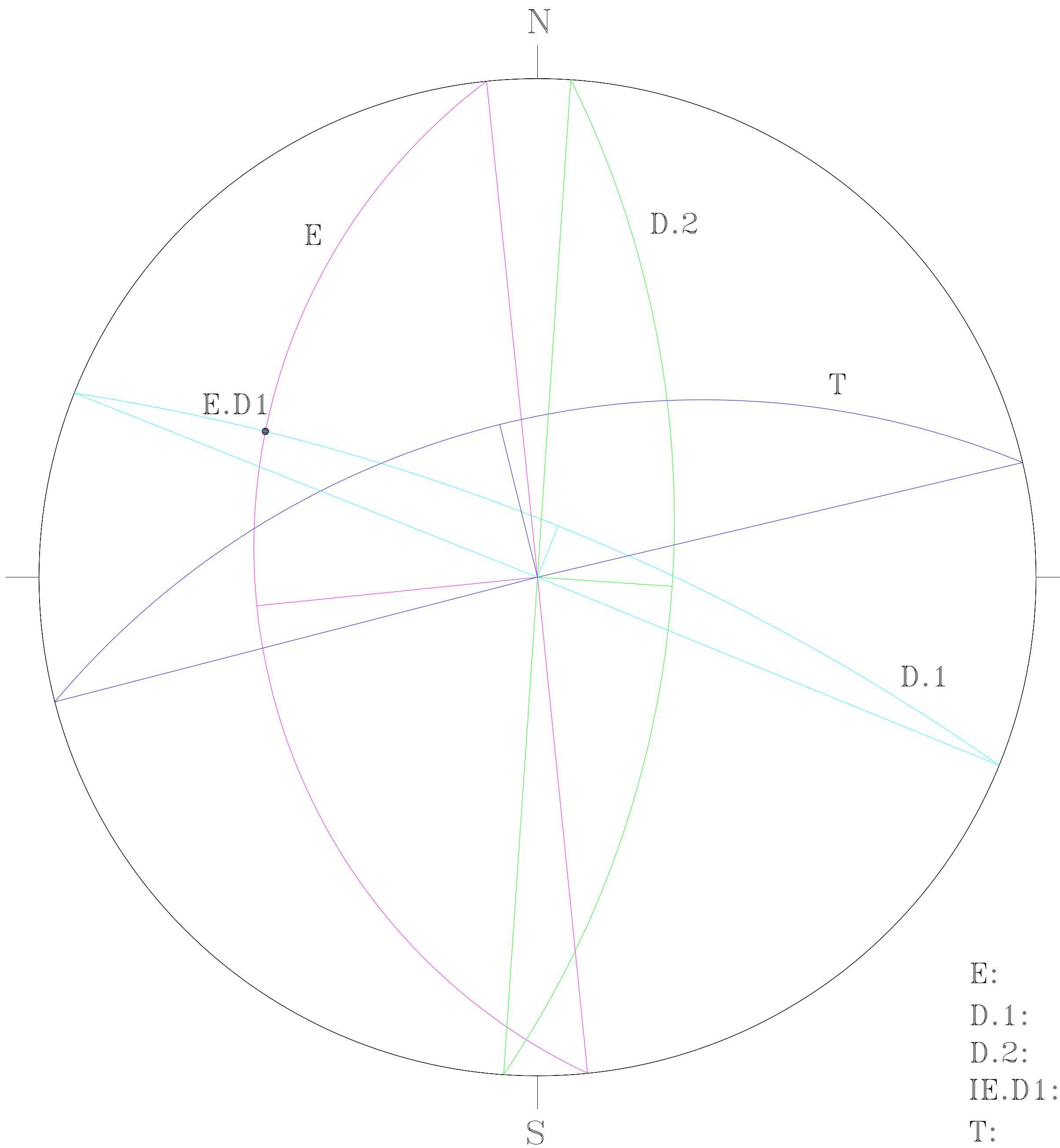
FIGURA No.:

3.1

ARCHIVO:

Figura 3.1.dwg





E: 264/43°  
 D.1: 021/81°  
 D.2: 094/68°  
 IE.D1: 258/38°  
 T: 346/64°



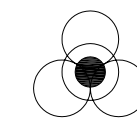
Unidad de Prevención y  
Atención de Emergencias

ALCALDÍA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.

**ANTIGUO ESCARPE DE  
EXPLOTACION**

BARRIO EL MIRADOR – CONJUNTO CERRADO  
No. CONTRATO G-876-116/98

SECTOR 1, EXTREMO SUR DEL  
ESCARPE PERFIL 1  
FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES



ROCAS Y MINERALES LTDA.  
Ingenieros Consultores

PREPARO:

PEDRO A. HERNANDEZ B  
GEOLOGO M.P. 114

DIBUJO:

AMANDA DUARTE C.

INTERVENTORIA:

ANALISIS GEOTECNICOS COLOMBIANOS LTDA.

FUENTE:

ROCAS Y MINERLAES LTDA.

ENERO DE 1.999

FIGURA No.:

3.2

ARCHIVO:

Figura 3.2.dwg



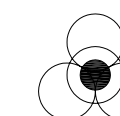
Unidad de Prevención y  
Atención de Emergencias

ALCALDÍA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.

### ANTIGUO ESCARPE DE EXPLORACION

BARRIO EL MIRADOR – CONJUNTO CERRADO  
No. CONTRATO G-876-116/98

### SECTOR 2 DIAGRAMA DE POLOS ASOCIADOS AL PERFIL 2



ROCAS Y MINERALES LTDA.  
Ingenieros Consultores

PREPARO:

JOHN J. SILVA C.  
ING. CIVIL M.P. 2520263210

DIBUJO:

AMANDA DUARTE C.

INTERVENTORIA:

ANALISIS GEOTECNICOS COLOMBIANOS LTDA.

FUENTE:

ROCAS Y MINERLAES LTDA.

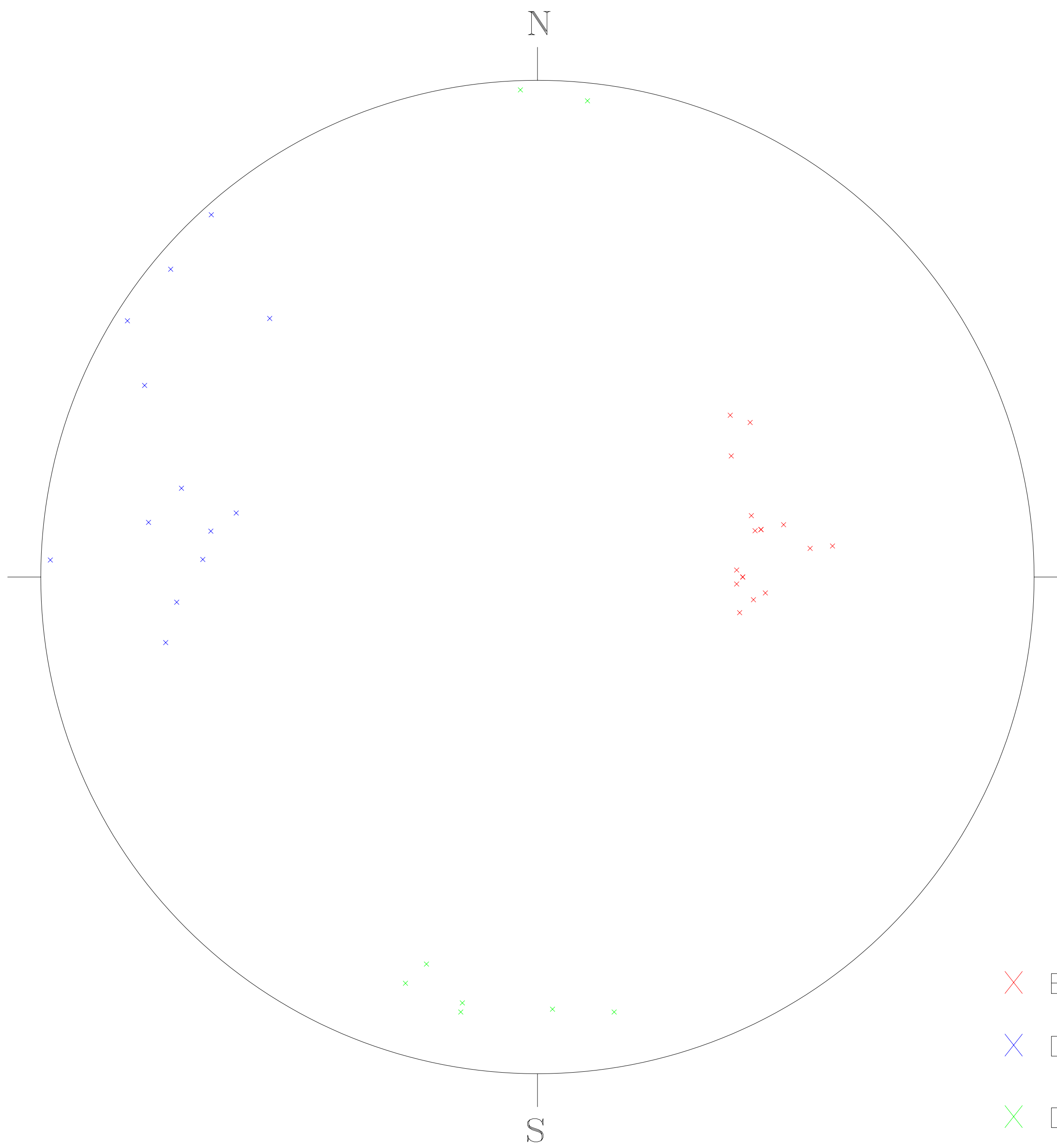
ENERO DE 1.999

FIGURA No.:

**3.3**

ARCHIVO:

Figura 3.3.dwg



× ESTRATOS

× DIACLASAS 2

× DIACLASAS 1



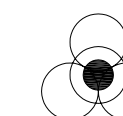
Unidad de Prevención y  
Atención de Emergencias

ALCALDIA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTA D.C.

### ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACION

BARRIO EL MIRADOR – CONJUNTO CERRADO  
No. CONTRATO G-876-116/98

SECTOR 2, DIAGRAMA DE POLOS  
ENTRE PERFILES 2 Y 3



ROCAS Y MINERALES LTDA.  
Ingenieros Consultores

PREPARO:

JOHN J. SILVA C.  
ING. CIVIL M.P. 2520263210

DIBUJO:

AMANDA DUARTE C.

INTERVENTORIA:

ANALISIS GEOTECNICOS COLOMBIANOS LTDA.

FUENTE:

ROCAS Y MINERLAES LTDA.

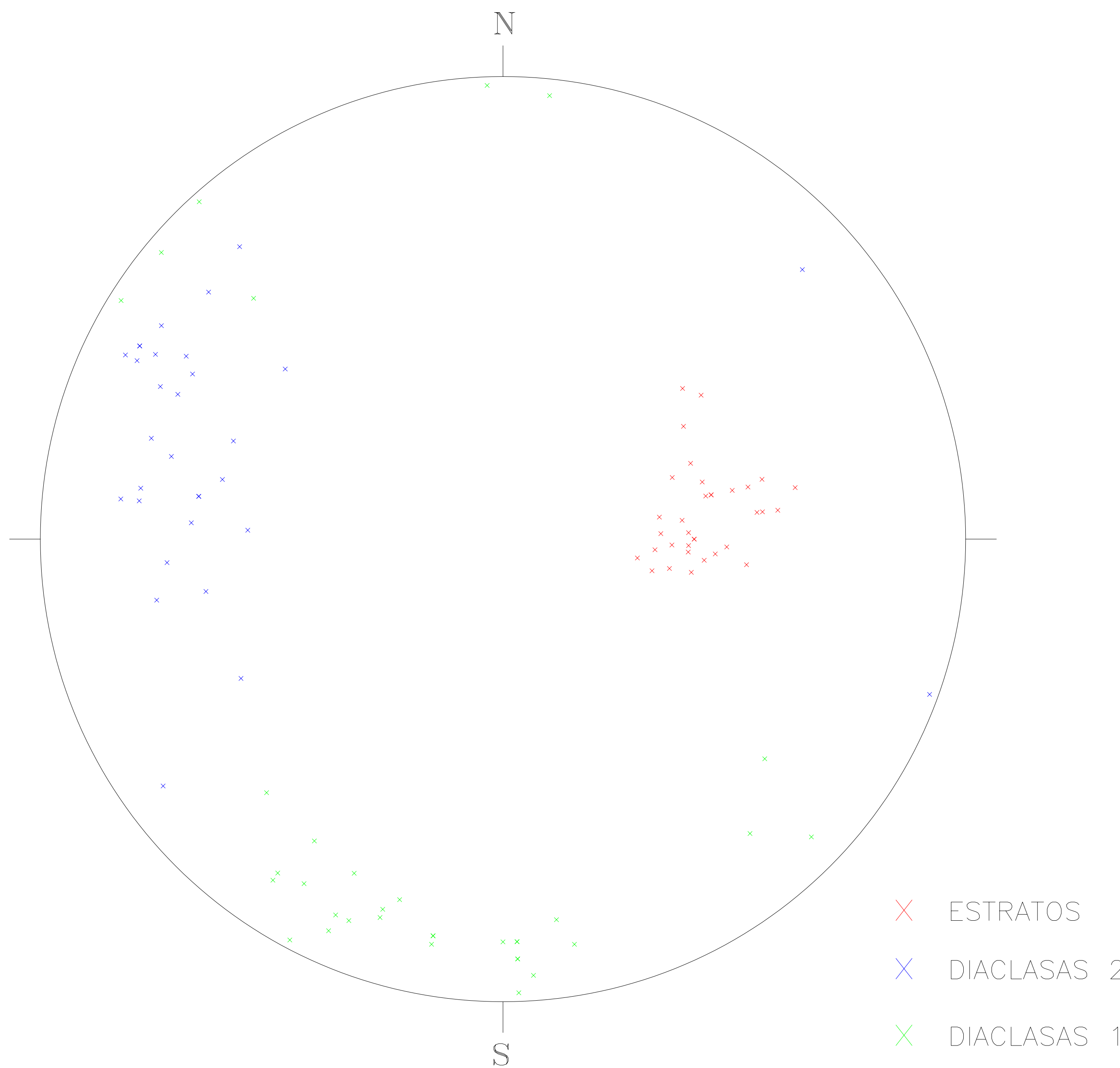
ENERO DE 1.999

FIGURA No.:

3.5

ARCHIVO:

Figura 3.5.dwg





Unidad de Prevención y  
Atención de Emergencias

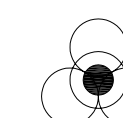
ALCALDÍA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.

### ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACION

BARRIO EL MIRADOR – CONJUNTO CERRADO

No. CONTRATO G-876-116/98

#### SECTOR 2 DIAGRAMA DE POLOS ASOCIADOS AL PERFIL 3



ROCAS Y MINERALES LTDA.  
Ingenieros Consultores

PREPARO:

JOHN J. SILVA C.  
ING. CIVIL M.P. 2520263210

DIBUJO:

AMANDA DUARTE C.

INTERVENTORIA:

ANALISIS GEOTECNICOS COLOMBIANOS LTDA.

FUENTE:

ROCAS Y MINERLAES LTDA.

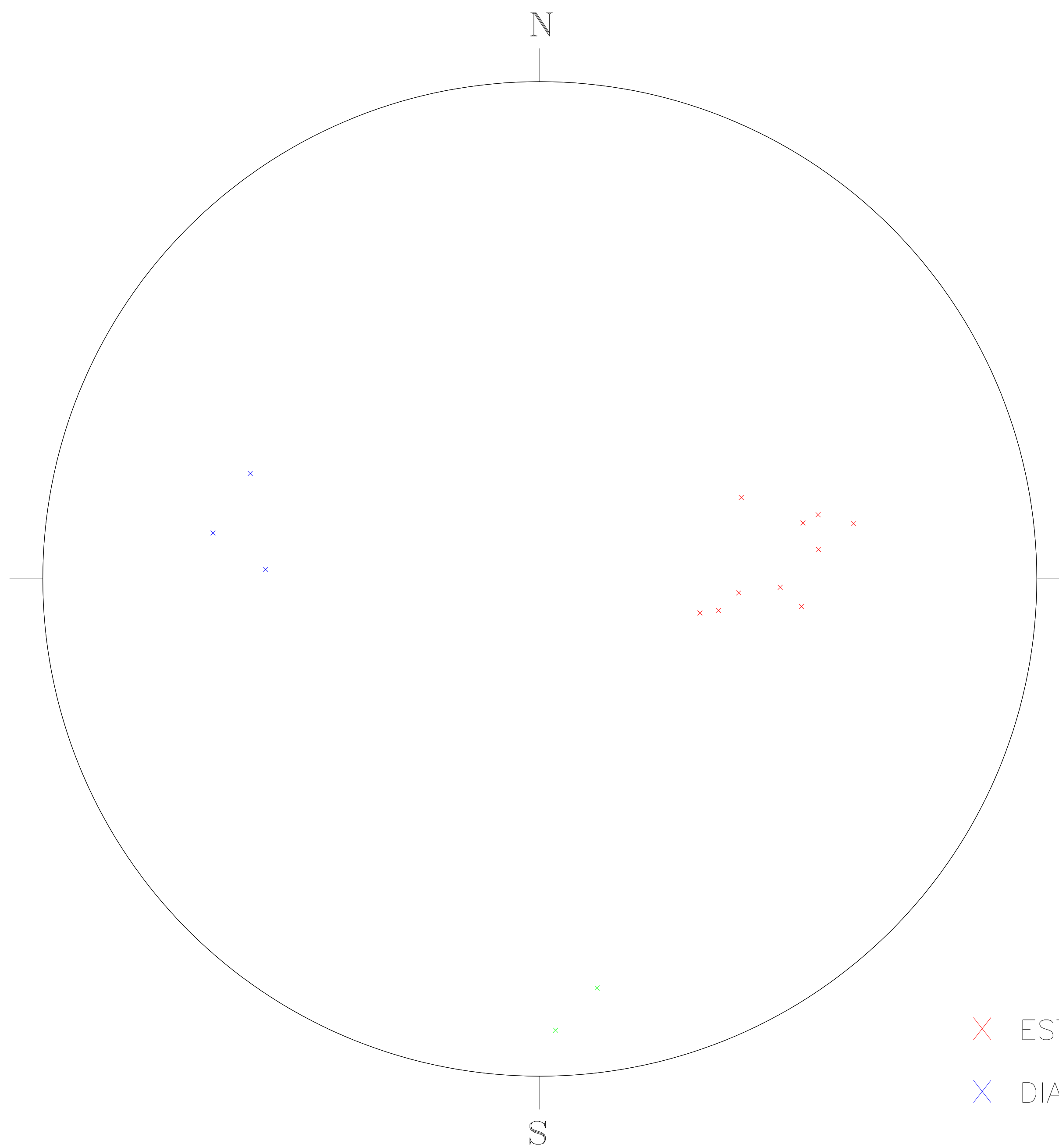
ENERO DE 1.999

FIGURA No.:

3.4

ARCHIVO:

Figura 3.4.dwg



X ESTRATOS

X DIACLASAS 2

X DIACLASAS 1





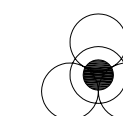
Unidad de Prevención y  
Atención de Emergencias

ALCALDIA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTA D.C.

### ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACION

BARRIO EL MIRADOR – CONJUNTO CERRADO  
No. CONTRATO G-876-116/98

SECTOR 2, DIAGRAMA DE POLOS  
ENTRE PERFILES 2 Y 3



ROCAS Y MINERALES LTDA.  
Ingenieros Consultores

PREPARO:

JOHN J. SILVA C.  
ING. CIVIL M.P. 2520263210

DIBUJO:

AMANDA DUARTE C.

INTERVENTORIA:

ANALISIS GEOTECNICOS COLOMBIANOS LTDA.

FUENTE:

ROCAS Y MINERLAES LTDA.

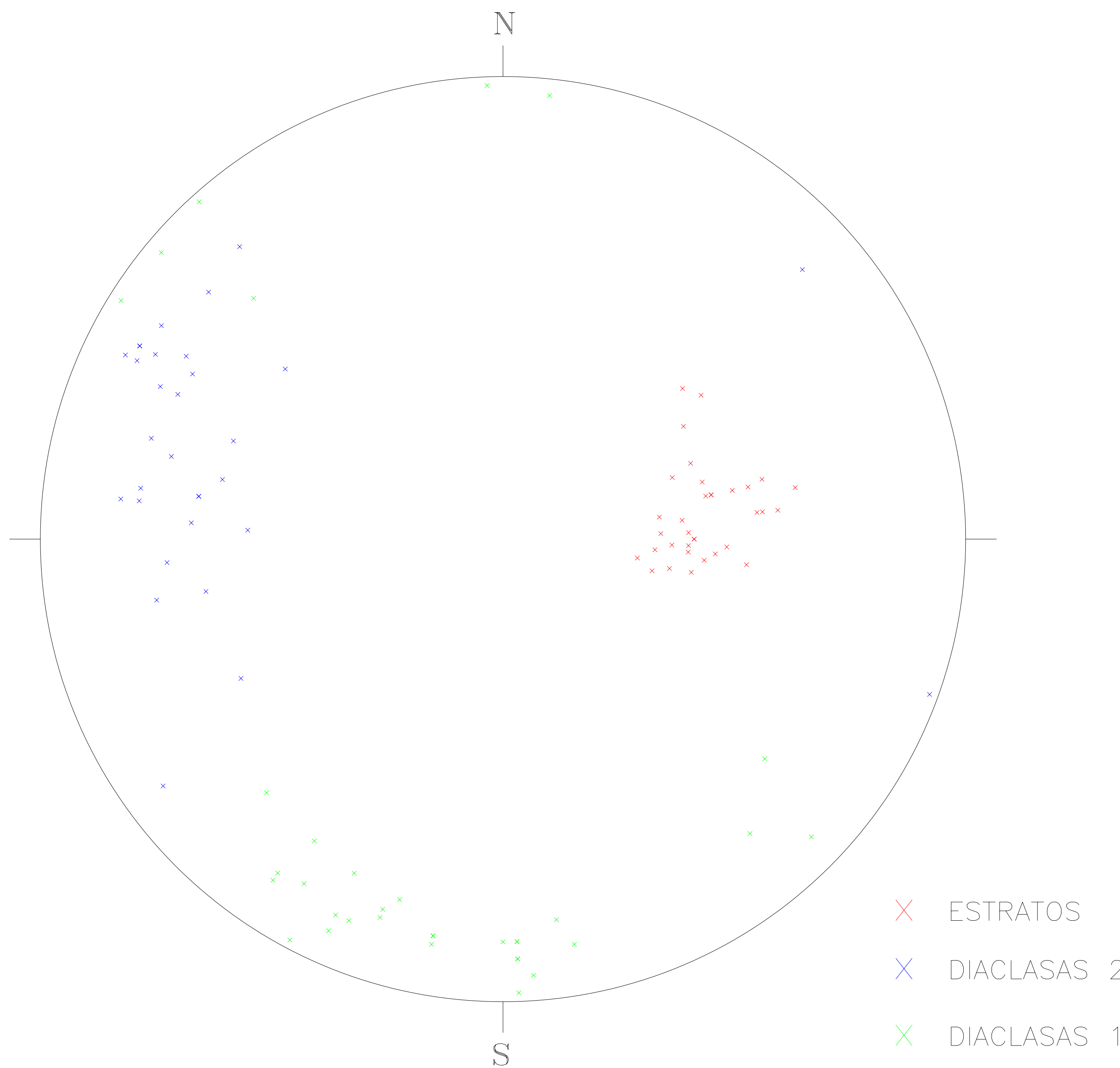
ENERO DE 1.999

FIGURA No.:

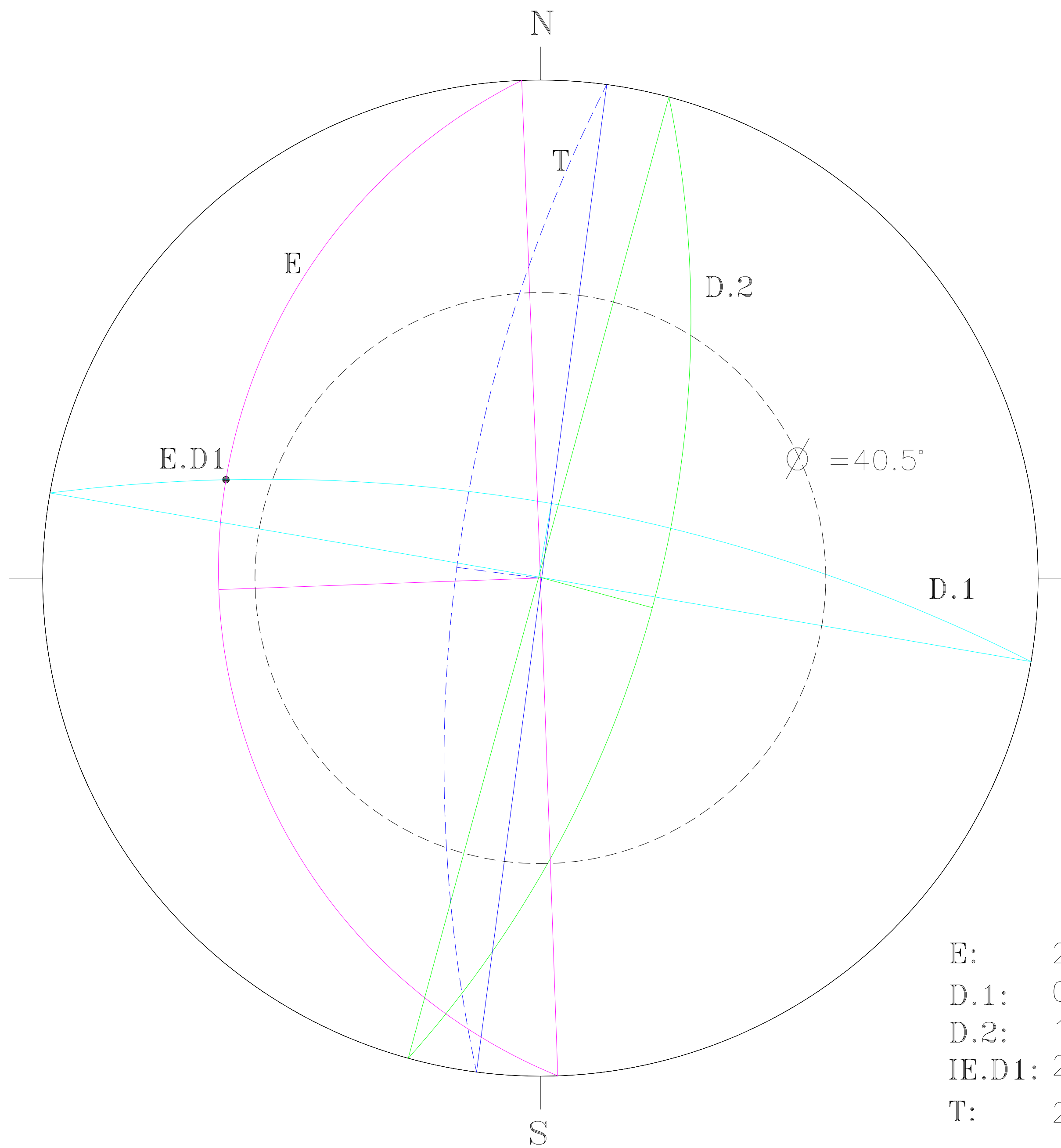
3.5

ARCHIVO:

Figura 3.5.dwg







E: 267/35°  
 D.1: 009/78°  
 D.2: 105/71°  
 IE.D1: 288/34°  
 T: 277/76°



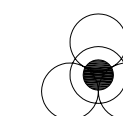
Unidad de Prevención y  
Atención de Emergencias

ALCALDÍA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.

**ANTIGUO ESCARPE DE  
EXPLORACION**

BARRIO EL MIRADOR – CONJUNTO CERRADO  
No. CONTRATO G-876-116/98

SECTOR 2, TRAMO ESCARPE  
ENTRE PERFILES 2 Y 3  
FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES



ROCAS Y MINERALES LTDA.  
Ingenieros Consultores

PREPARO:

PEDRO A. HERNANDEZ B  
GEOLOGO M.P. 114

DIBUJO:

AMANDA DUARTE C.

INTERVENTORIA:

ANALISIS GEOTECNICOS COLOMBIANOS LTDA.

FUENTE:

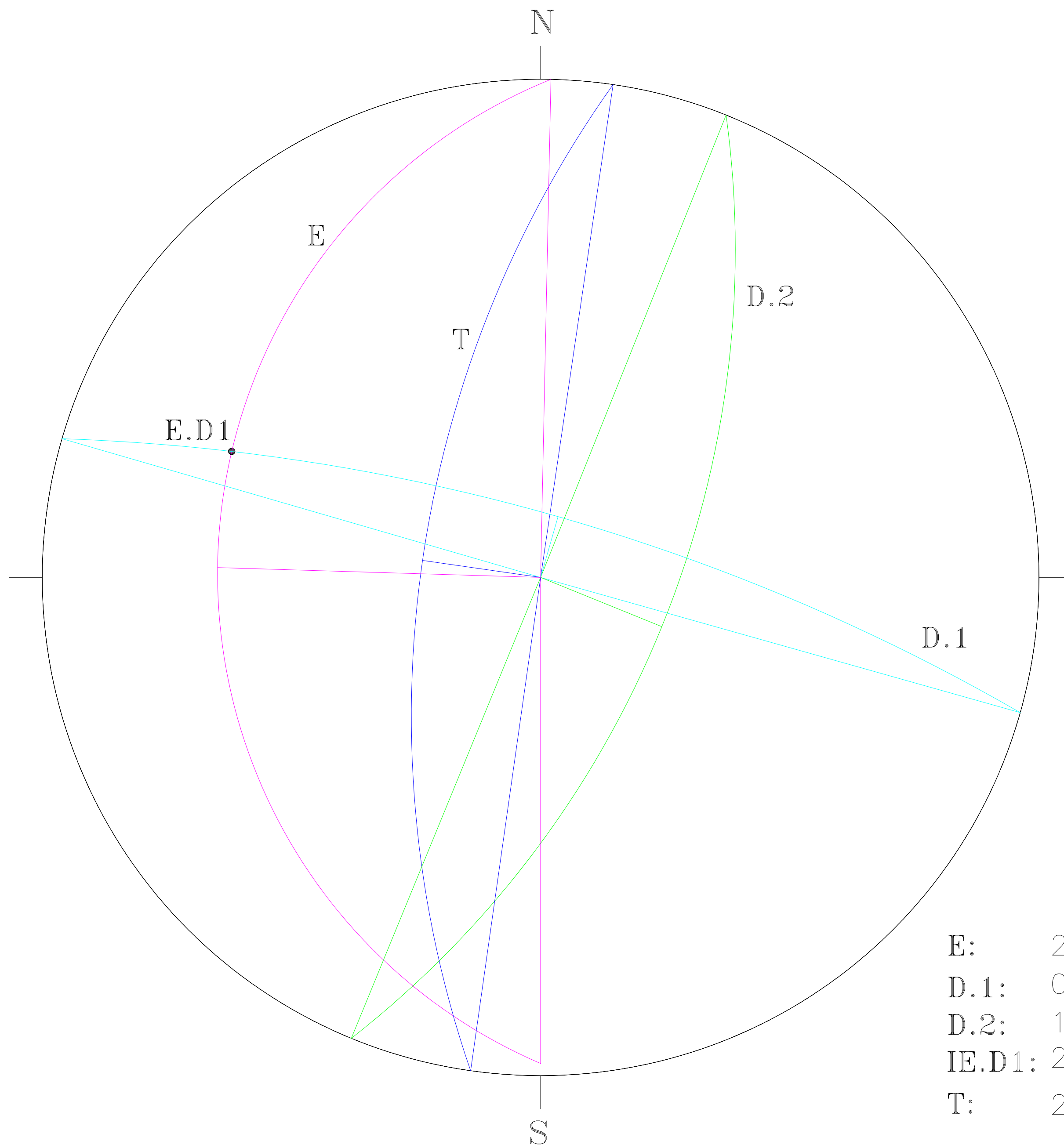
ROCAS Y MINERLAES LTDA.

ENERO DE 1.999

FIGURA No.:  
3.6

ARCHIVO:  
Figura 3.6.dwg





E: 271/35°  
 D.1: 015/80°  
 D.2: 112/68°  
 IE.D1: 293/34°  
 T: 278/70°



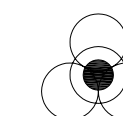
Unidad de Prevención y  
Atención de Emergencias

ALCALDIA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTA D.C.

**ANTIGUO ESCARPE DE  
EXPLORACION**

BARRIO EL MIRADOR – CONJUNTO CERRADO  
No. CONTRATO G-876-116/98

SECTOR 3, TRAMO DE ESCARPE  
PERFIL 4  
FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES



ROCAS Y MINERALES LTDA.  
Ingenieros Consultores

PREPARO:

PEDRO A. HERNANDEZ B  
GEOLOGO M.P. 114

DIBUJO:

AMANDA DUARTE C.

INTERVENTORIA:

ANALISIS GEOTECNICOS COLOMBIANOS LTDA.

FUENTE:

ROCAS Y MINERLAES LTDA.

ENERO DE 1.999

FIGURA No.:

**3.8**

ARCHIVO:

Figura 3.8.dwg



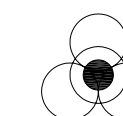
Unidad de Prevención y  
Atención de Emergencias

ALCALDIA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTA D.C.

### ANTIGUO ESCARPE DE EXPLORACION

BARRIO EL MIRADOR - CONJUNTO CERRADO  
No. CONTRATO G-876-116/98

SECTOR 4, ESCARPE TALUD SUR  
CANCHA DE FUTBOL  
DIAGRAMA DE POLOS



ROCAS Y MINERALES LTDA.  
Ingenieros Consultores

PREPARO:

JOHN J. SILVA C.  
ING. CIVIL M.P. 2520263210

DIBUJO:

AMANDA DUARTE C.

INTERVENTORIA:

ANALISIS GEOTECNICOS COLOMBIANOS LTDA.

FUENTE:

ROCAS Y MINERLAES LTDA.

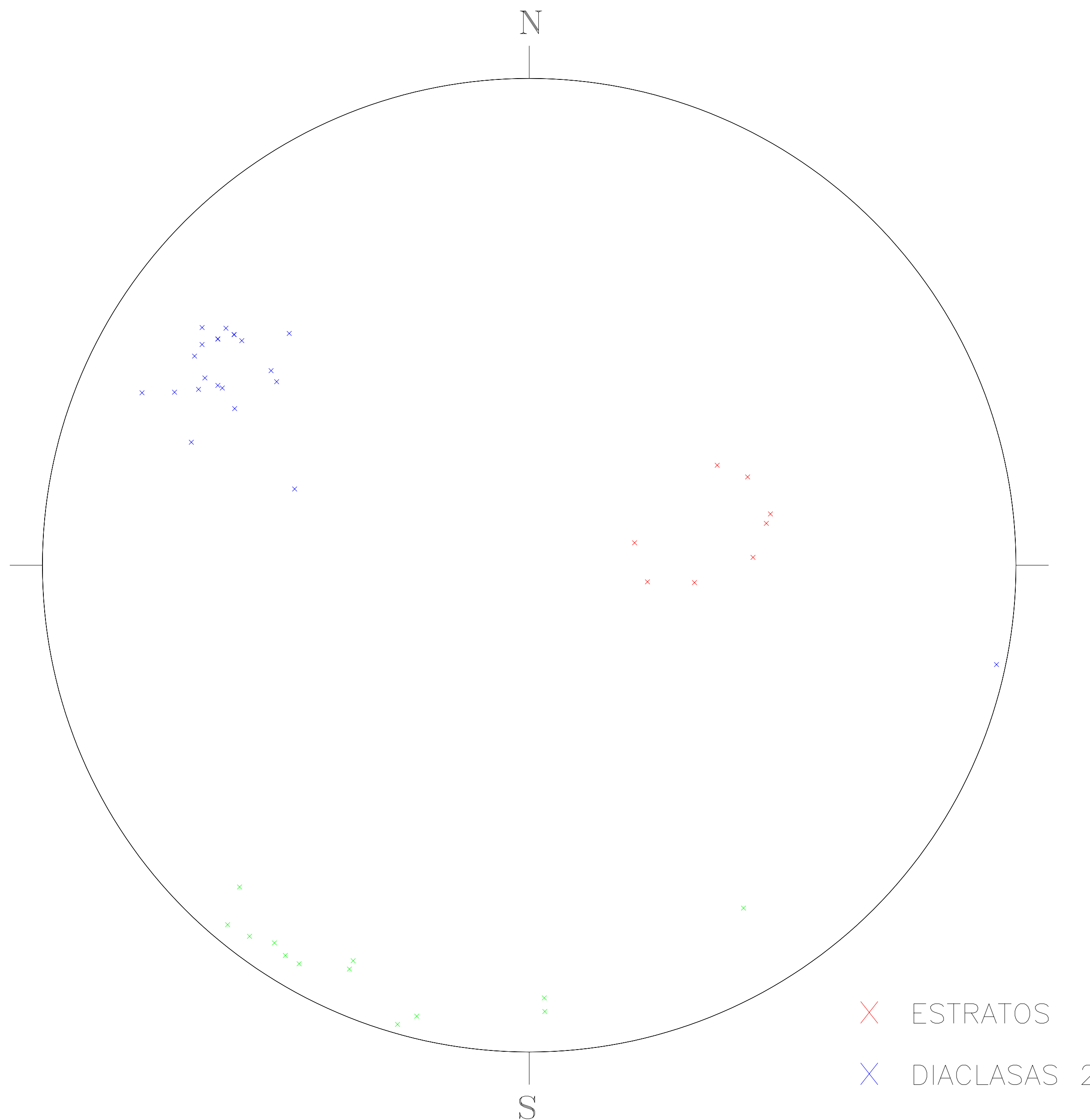
ENERO DE 1.999

FIGURA No.:

**3.9**

ARCHIVO:

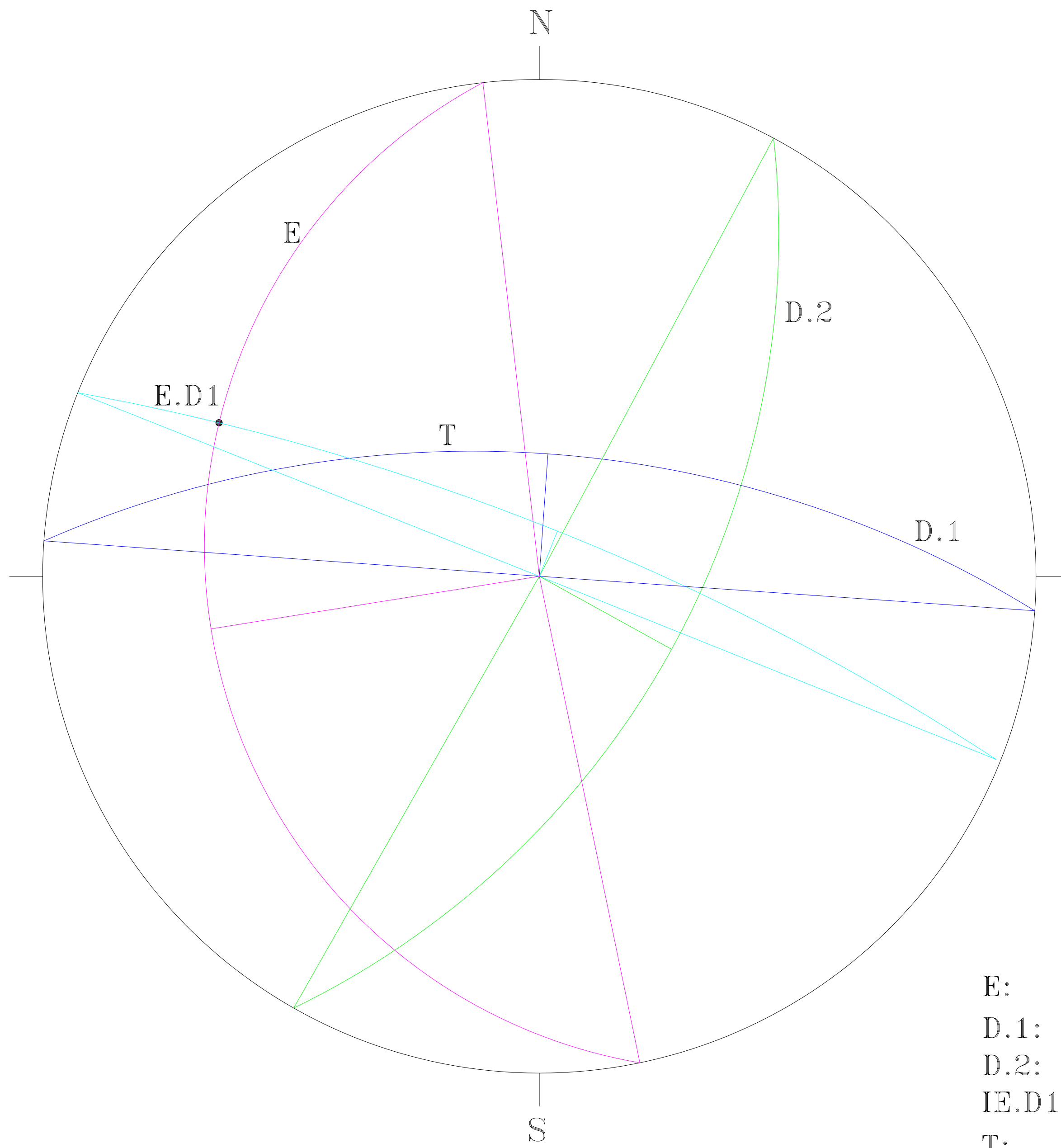
Figura 3.9.dwg



× ESTRATOS

× DIACLASAS 2

× DIACLASAS 1



E: 260/33°  
 D.1: 021/82°  
 D.2: 119/65°  
 IE.D1: 296/28°  
 T: 004/72°



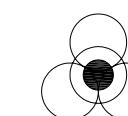
Unidad de Prevención y  
Atención de Emergencias

ALCALDÍA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.

**ANTIGUO ESCARPE DE  
EXPLORACION**

BARRIO EL MIRADOR – CONJUNTO CERRADO  
No. CONTRATO G-876-116/98

SECTOR 4, ESCARPE SUR  
CANCHA DE FUTBOL  
FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES



ROCAS Y MINERALES LTDA.  
Ingenieros Consultores

PREPARO:

PEDRO A. HERNANDEZ B  
GEOLOGO M.P. 114

DIBUJO:

AMANDA DUARTE C.

INTERVENTORIA:

ANALISIS GEOTECNICOS COLOMBIANOS LTDA.

FUENTE:

ROCAS Y MINERLAES LTDA.

ENERO DE 1.999

FIGURA No.:  
**3.10**

ARCHIVO:

Figura 3.10.dwg



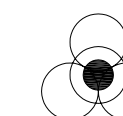
Unidad de Prevención y  
Atención de Emergencias

ALCALDIA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTA D.C.

### ANTIGUO ESCARPE DE EXPLORACION

BARRIO EL MIRADOR – CONJUNTO CERRADO  
No. CONTRATO G-876-116/98

SECTOR 5, DIAGRAMA DE POLOS  
ASOCIADOS AL PERFIL 5



ROCAS Y MINERALES LTDA.  
Ingenieros Consultores

PREPARO:

JOHN J. SILVA C.  
ING. CIVIL M.P. 2520263210

DIBUJO:

AMANDA DUARTE C.

INTERVENTORIA:

ANALISIS GEOTECNICOS COLOMBIANOS LTDA.

FUENTE:

ROCAS Y MINERLAES LTDA.

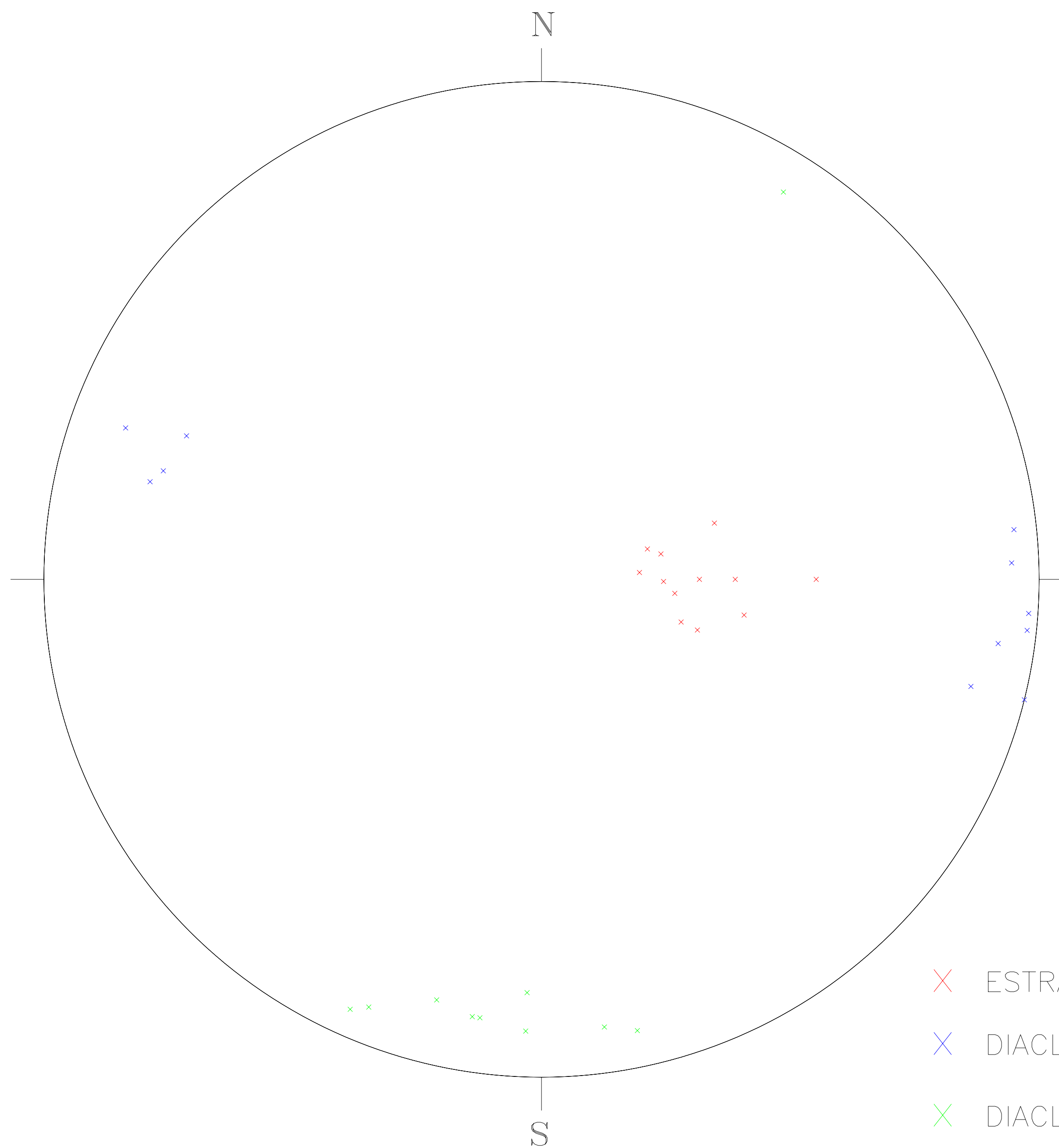
ENERO DE 1.999

FIGURA No.:

3.11

ARCHIVO:

Figura 3.11.dwg



× ESTRATOS

× DIACLASAS 2

× DIACLASAS 1







Unidad de Prevención y  
Atención de Emergencias

ALCALDIA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTA D.C.

**ANTIGUO ESCARPE DE  
EXPLOTACION**

BARRIO EL MIRADOR – CONJUNTO CERRADO  
No. CONTRATO G-876-116/98

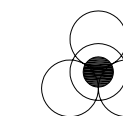
SECTOR 1

MODELO ESTRUCTURAL PARA  
ANALISIS GEOTECNICO  
(VOLTEO DE BLOQUES)

PERFIL 1



ESCALA – 1:500



ROCAS Y MINERALES LTDA.  
Ingenieros Consultores

PREPARO:

JOHN J. SILVA C.  
ING. CIVIL 2520263210

DIBUJO:

AMANDA DUARTE C.

INTERVENTORIA:

ANALISIS GEOTECNICOS COLOMBIANOS LTDA.

FUENTE:

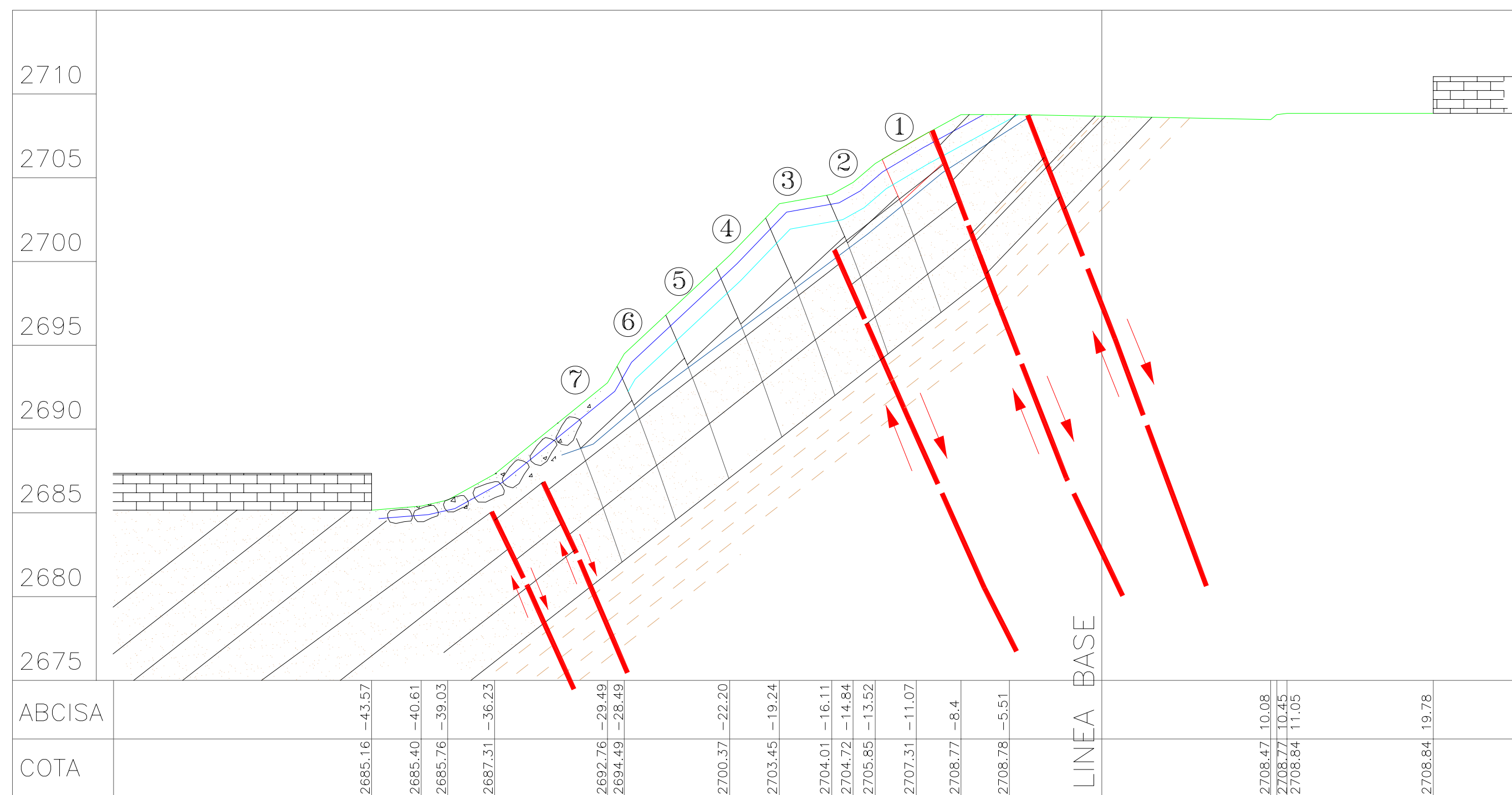
ROCAS Y MINERLAES LTDA.

ENERO DE 1.999

FIGURA No.:  
**3.16**

ARCHIVO:

Figura 3.16.dwg



PERFIL 1-1

LEYENDA

- NIVEL FREATICO ALTO
- NIVEL FREATICO MEDIO
- NIVEL FREATICO BLOQUES SECOS

NOTA: Ubicaci3n del perfil en el plano CD-04









**Figura 4.22 Perfil 4 Cuaternario. Saturación Intermedia Con Sismo  
Frecuencia Acumulada del Factor de Seguridad**

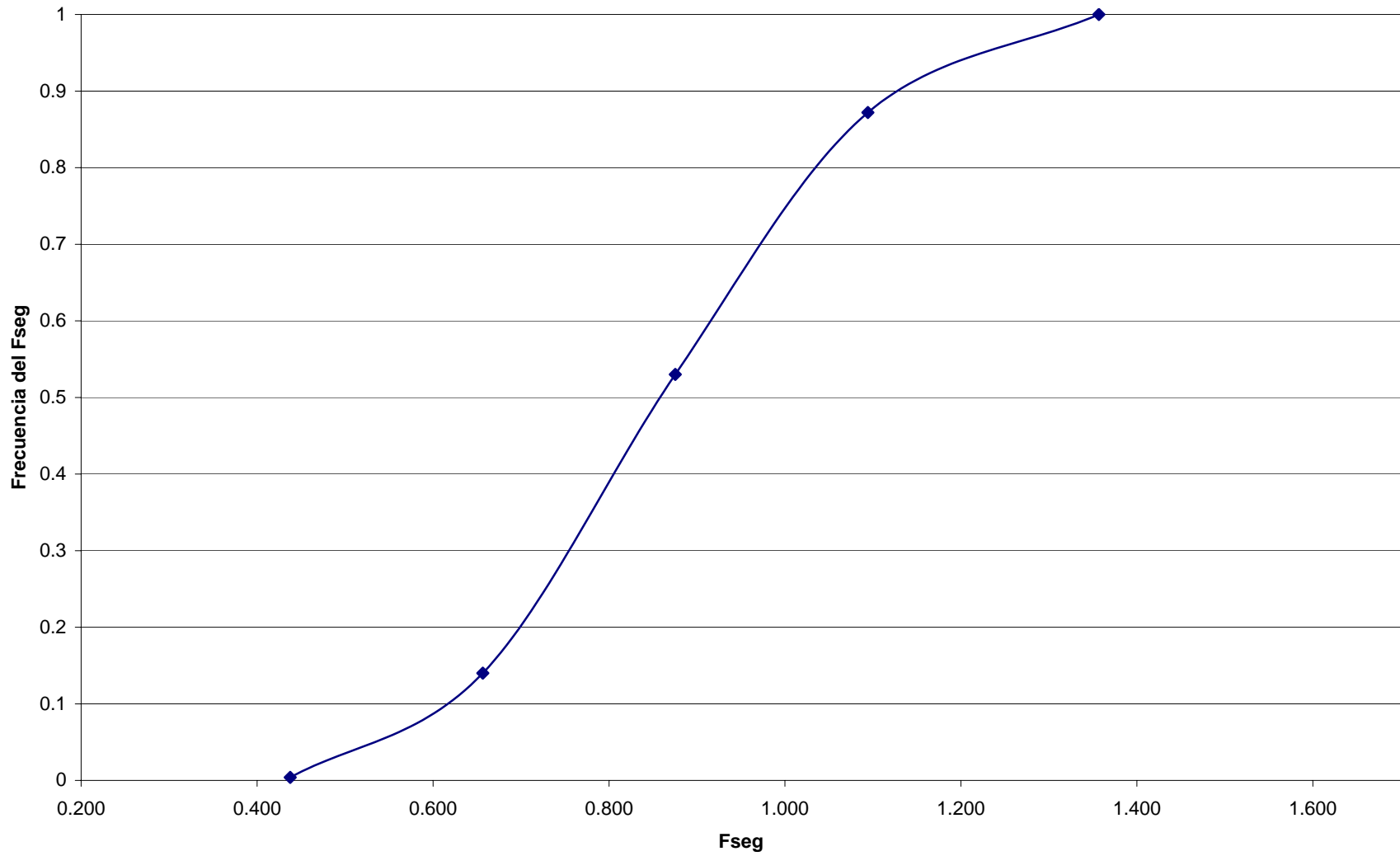
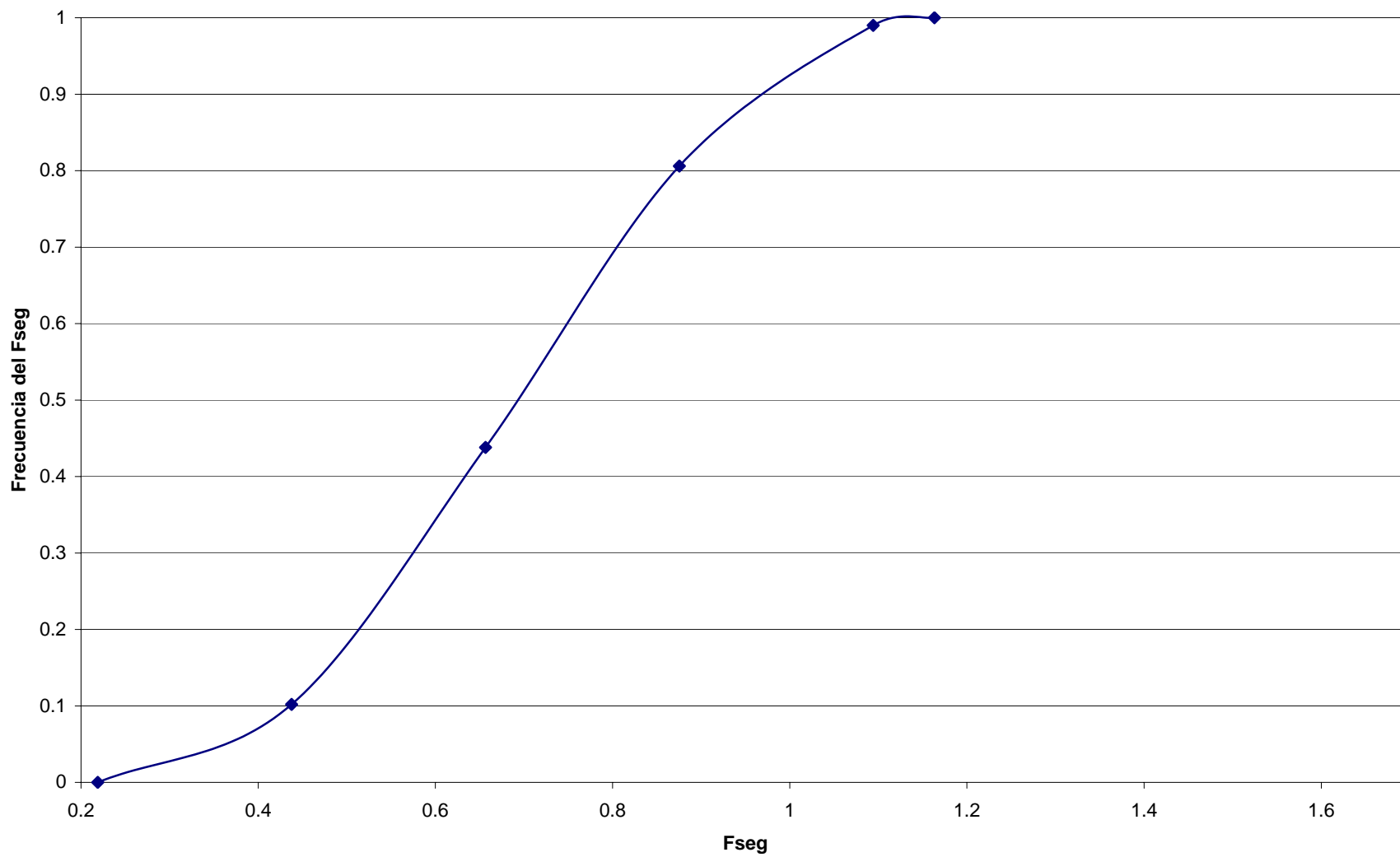
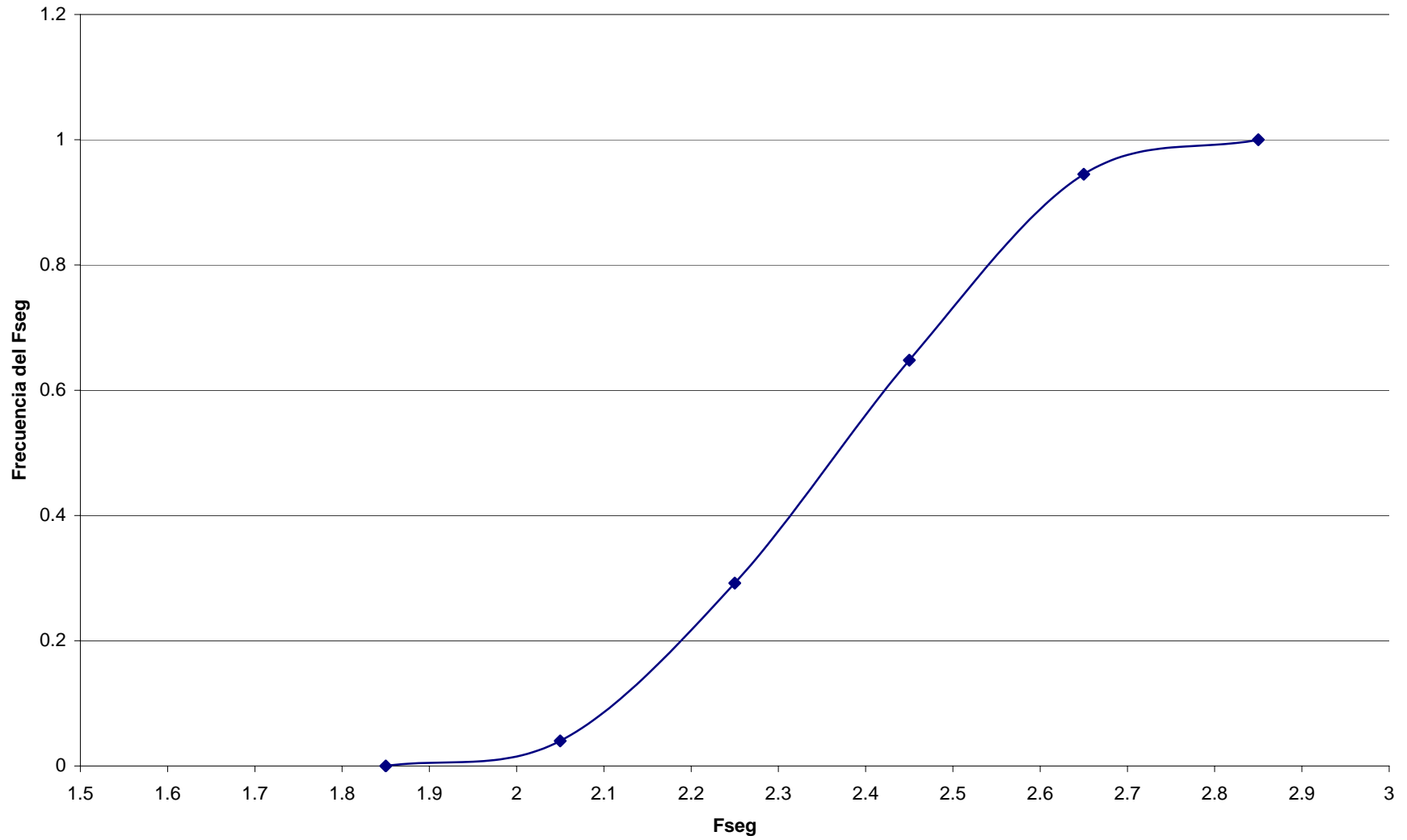


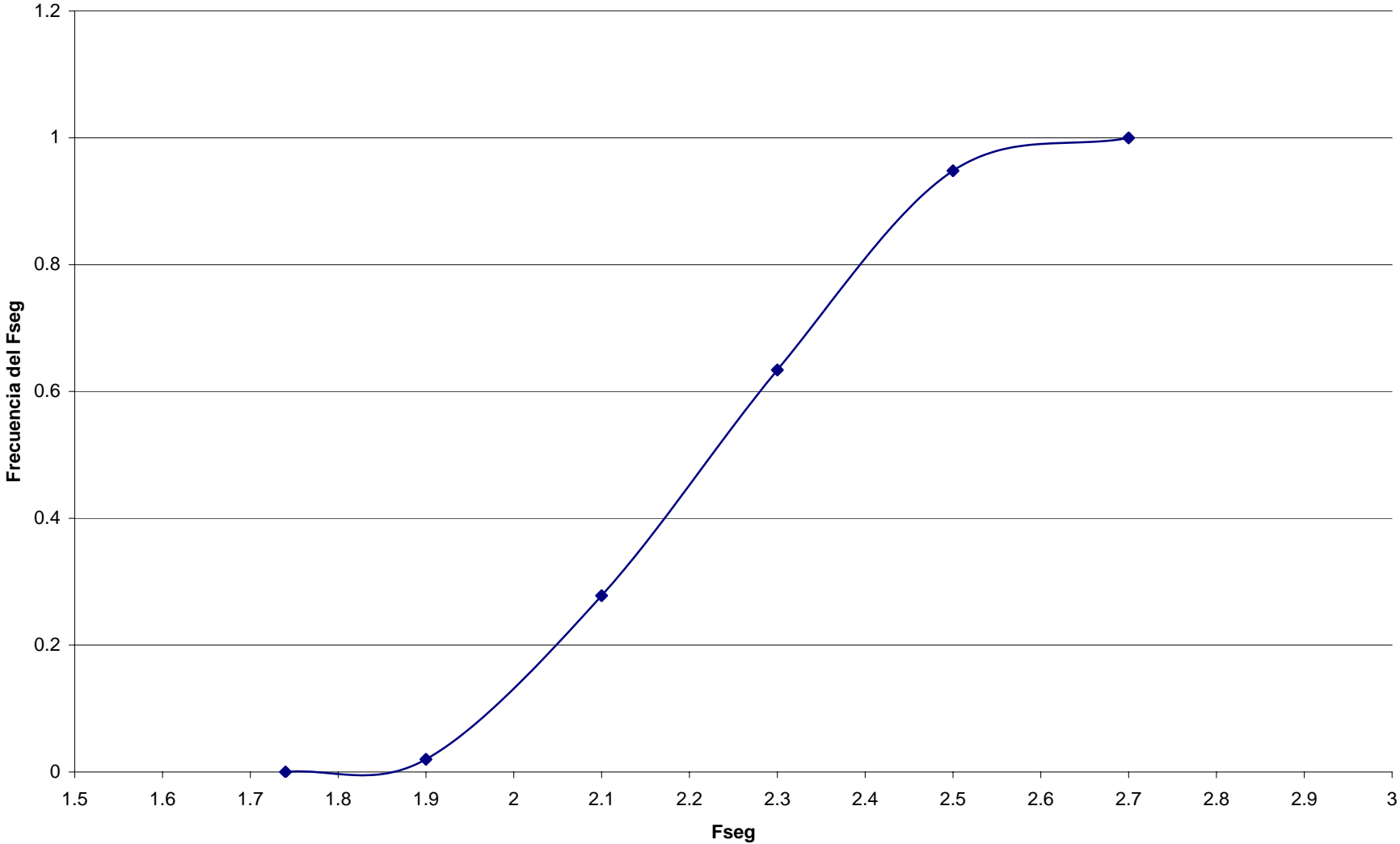
Figura 4.23 Perfil 4 Cuaternario. Saturado Con Sismo  
Frecuencia Acumulada del Factor de Seguridad



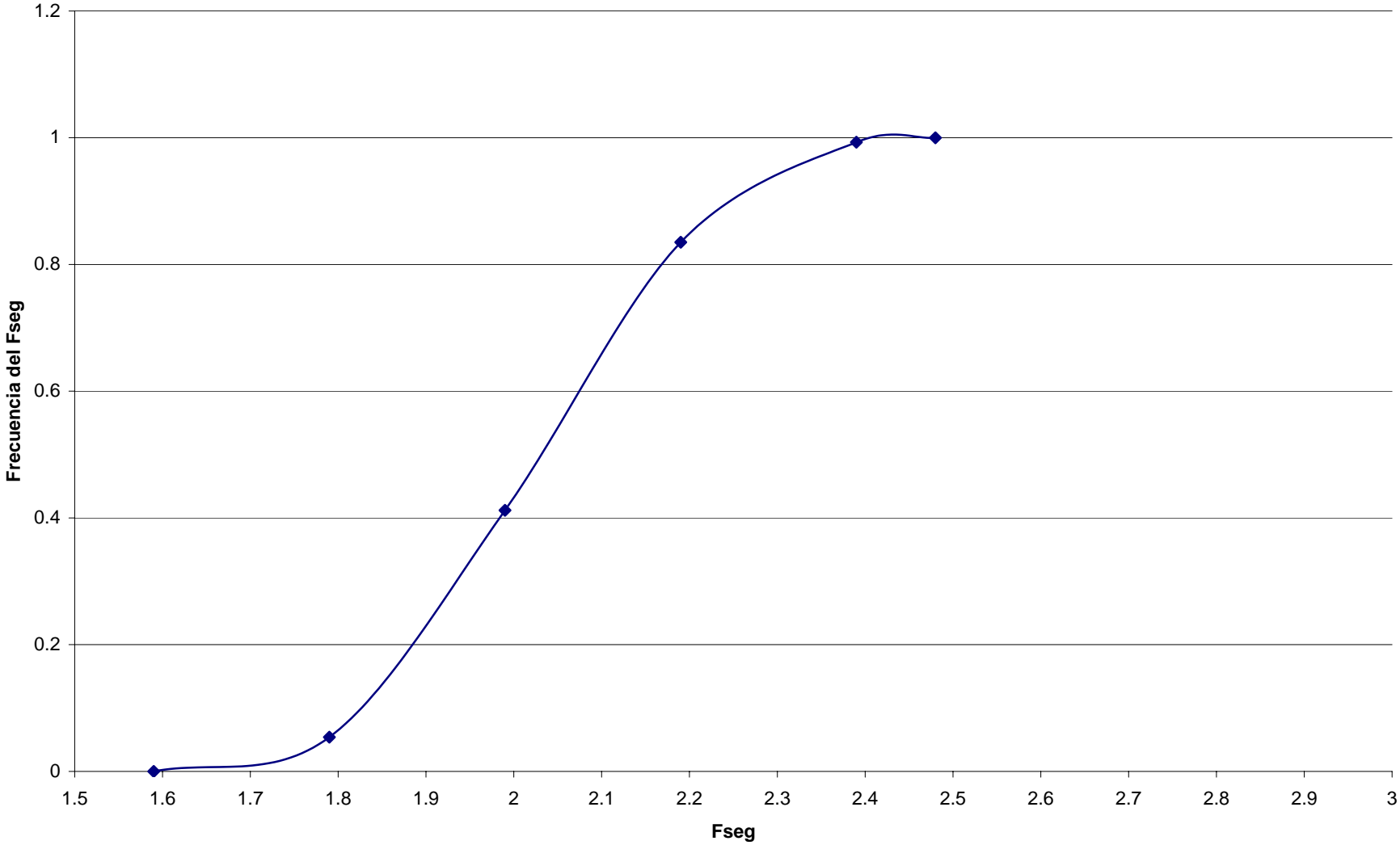
**Figura 4.2 Sector 1. Perfil 1. Seco Con Sismo**  
**Frecuencia Acumulada del Factor de Seguridad**



**Figura 4.3 Sector 1. Perfil 1. Saturacion Intermedia Con Sismo  
Frecuencia Acumulada del Factor de Seguridad**



**Figura 4.4 Sector 1. Perfil 1. Saturado Con Sismo**  
**Frecuencia Acumulada del Factor de Seguridad**





**Figura 4.5 Sector 2. Perfil 2. Seco Con Sismo**  
**Frecuencia Acumulada del Factor de Seguridad**

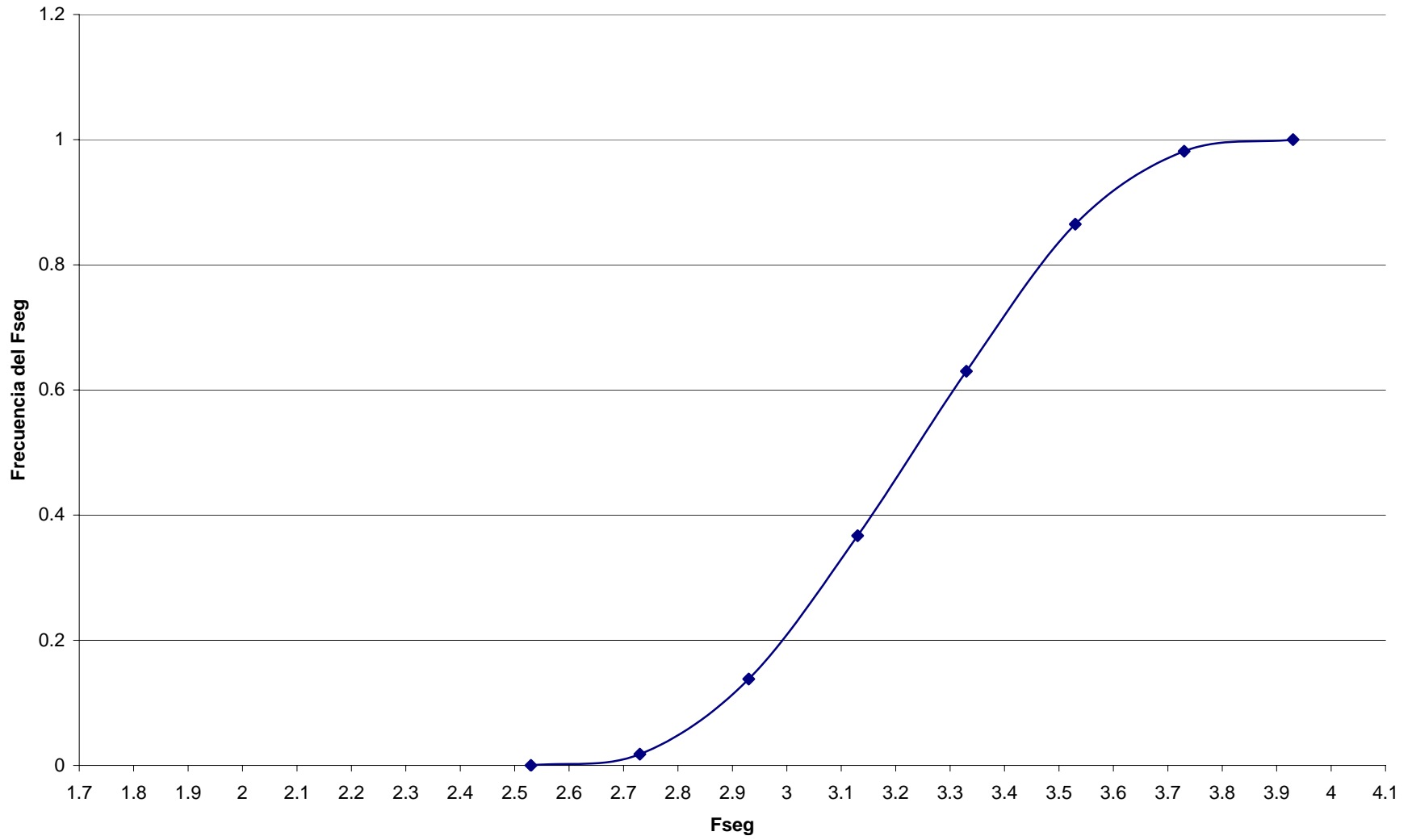
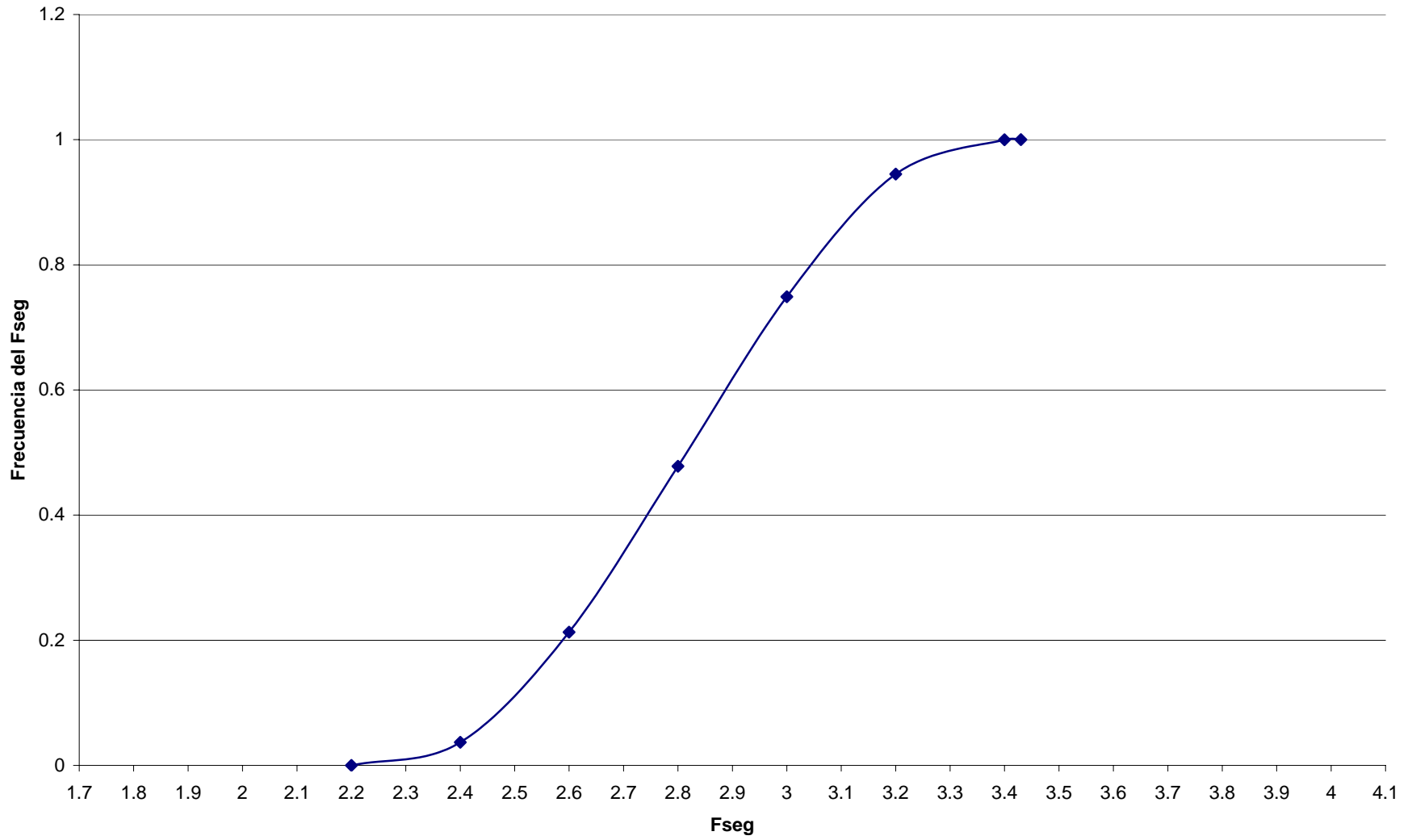


Figura 4.6 Sector2. Perfil 2. Saturación Intermedia Con Sismo  
Frecuencia Acumulada del Factor de Seguridad



**Figura 4.7 Sector 2. Perfil 2. Saturado Con Sismo**  
**Frecuencia Acumulada del Factor de Seguridad**

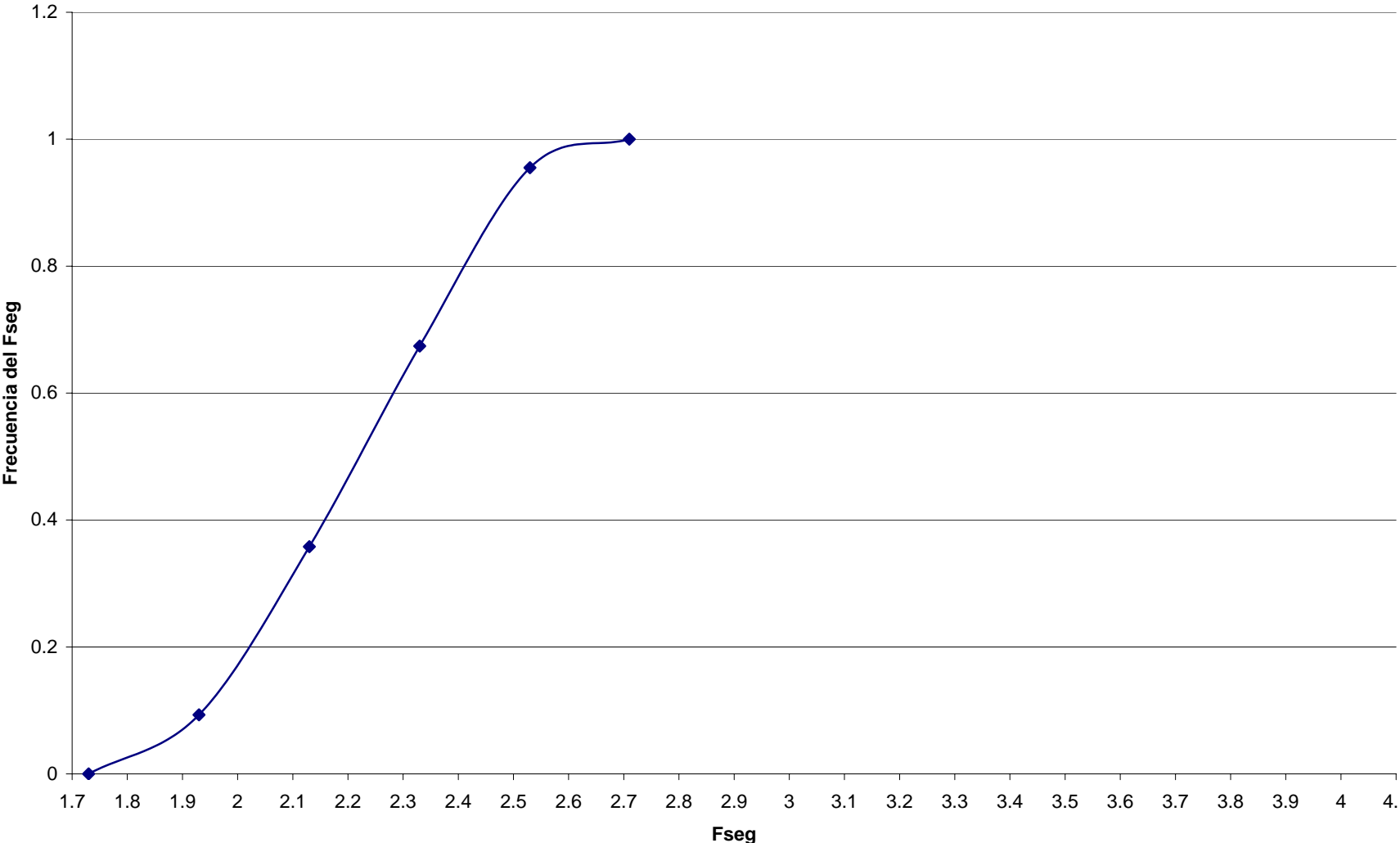
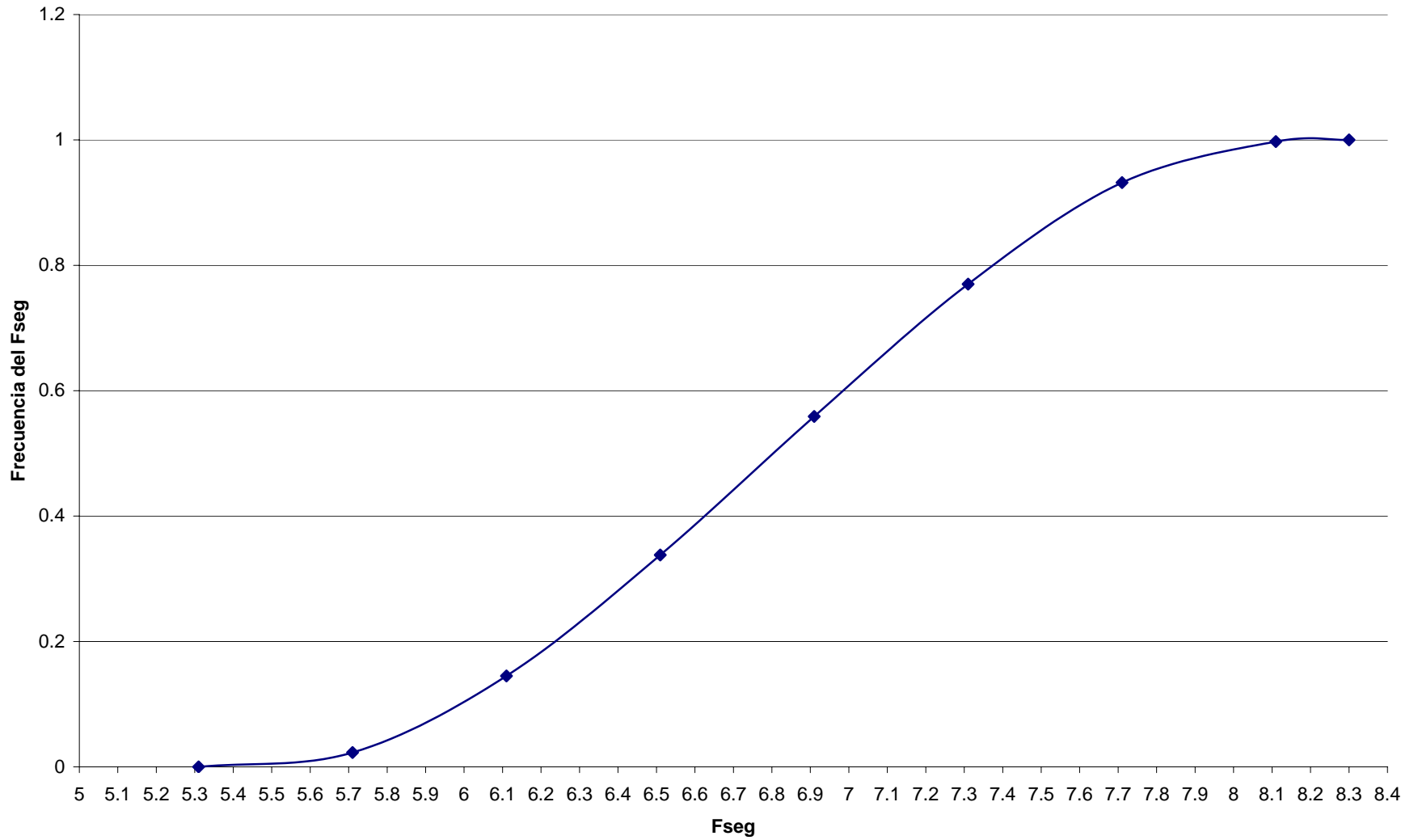
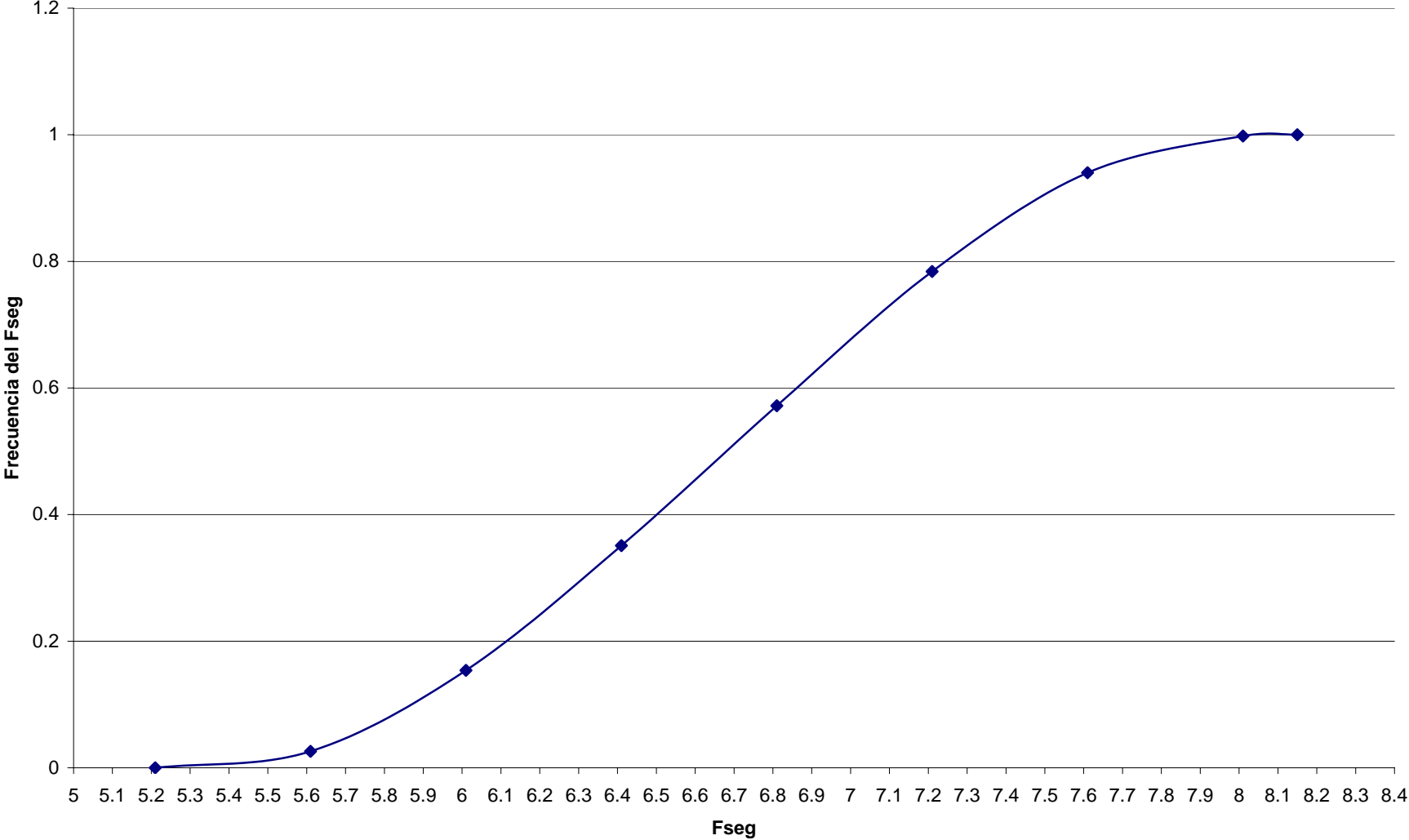


Figura 4.8 Sector 3. Perfil 3. Seco Con Sismo  
Frecuencia Acumulada del Factor de Seguridad



**Figura 4.9 Sector 3. Perfil 3. Saturación Intermedia Con Sismo**  
**Frecuencia Acumulada del Factor de Seguridad**



**Figura 4.10 Sector 3. Perfil 3. Saturado Con Sismo**  
**Frecuencia Acumulada del Factor de Seguridad**

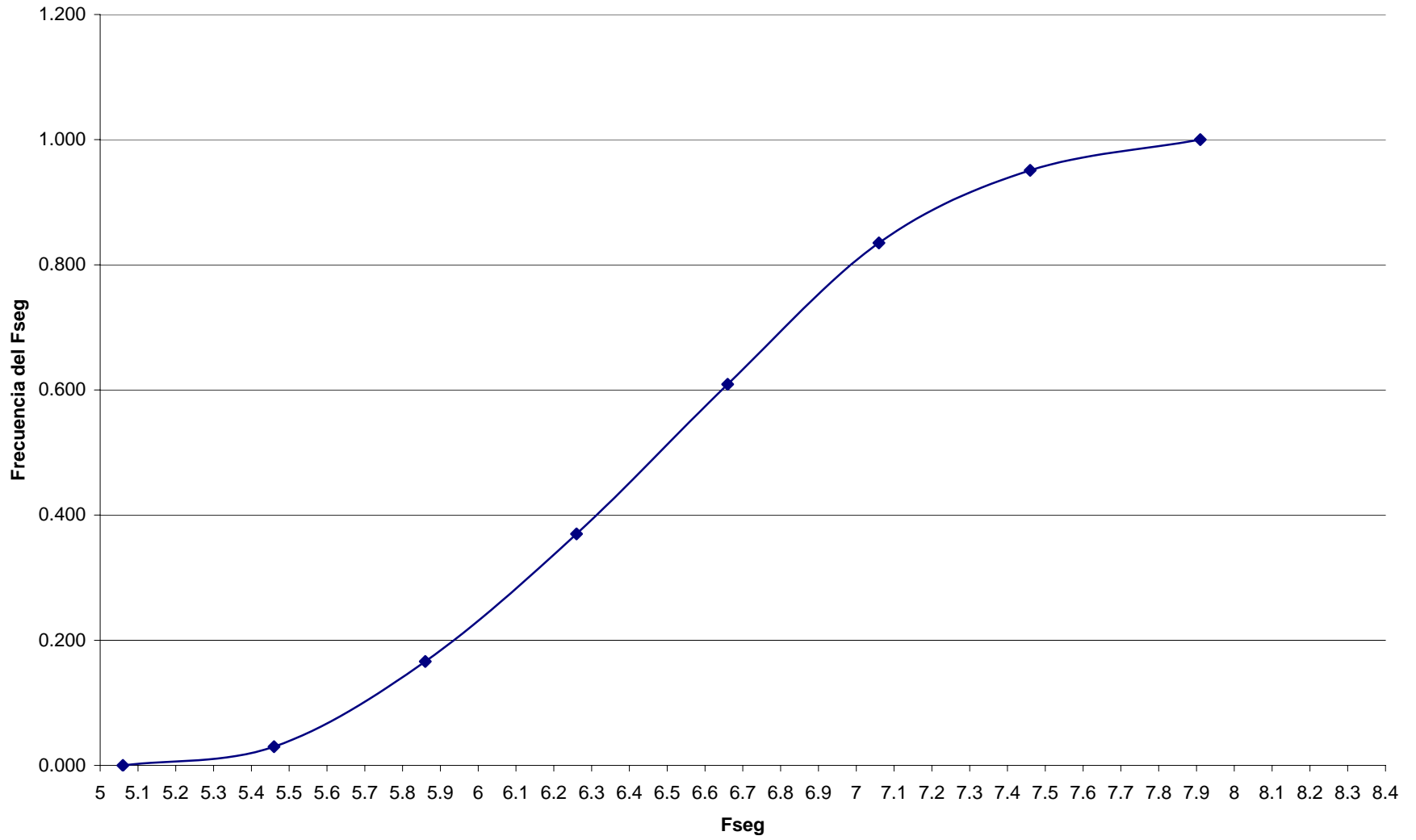


Figura 4.11 Sector 3. Perfil 4. Seco Con Sismo  
Frecuencia Acumulada del Factor de Seguridad

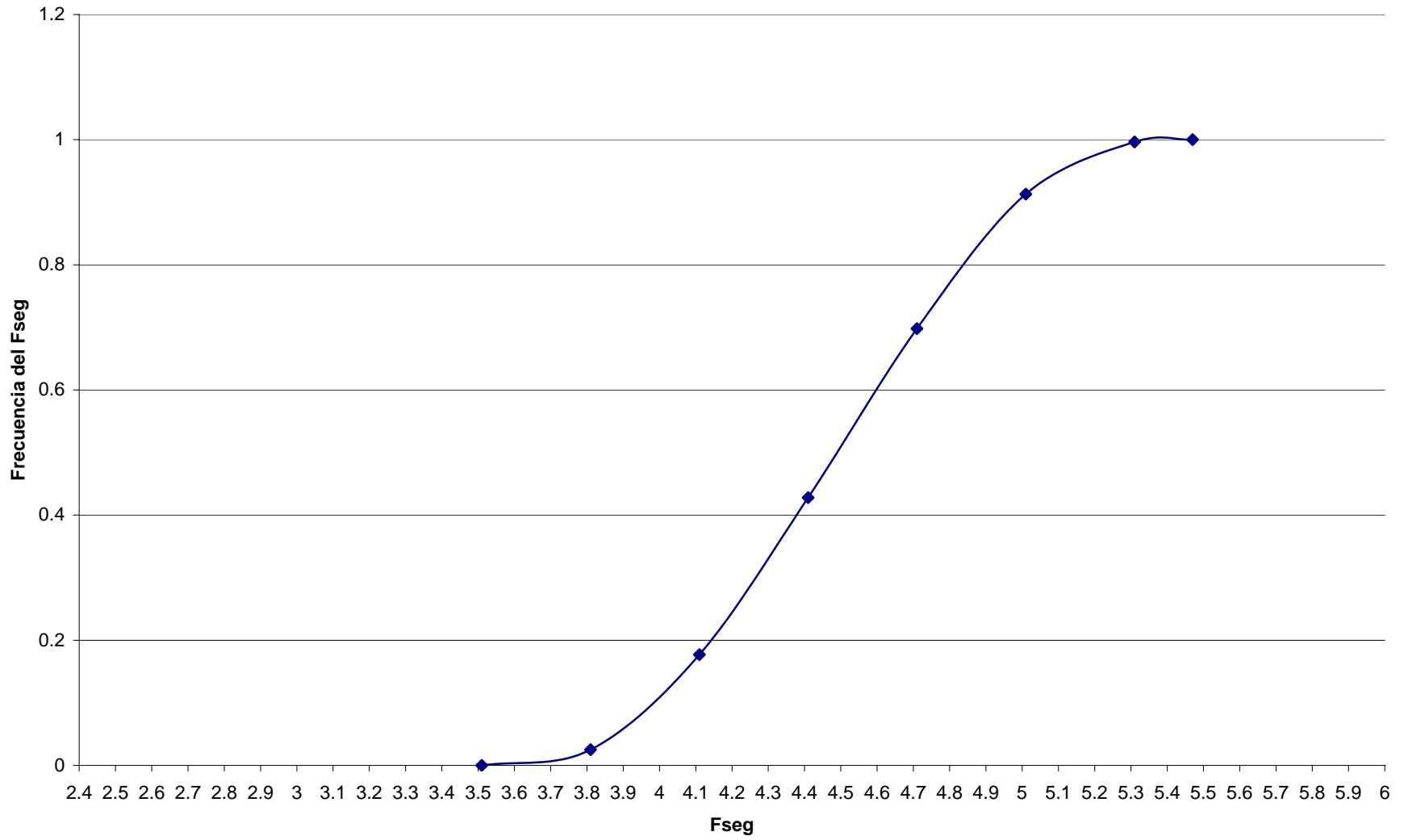
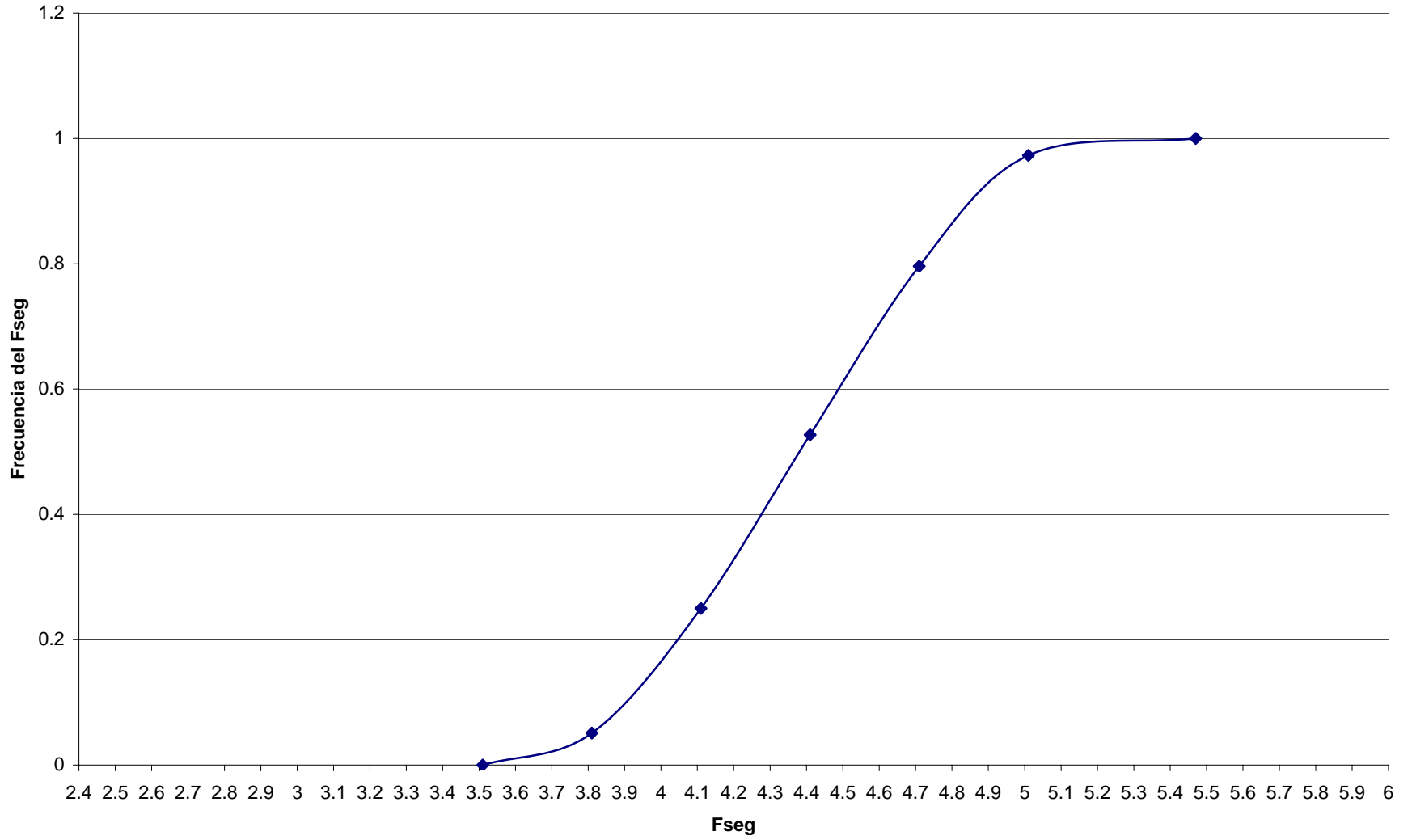


Figura 4.12 Sector 3. Perfil 4. Parcialmente Saturado Con Sismo  
Frecuencia Acumulada del Factor de Seguridad





**Figura 4.13 Sector 3. Perfil 4. Saturado Con Sismo**  
**Frecuencia Acumulada del Factor de Seguridad**

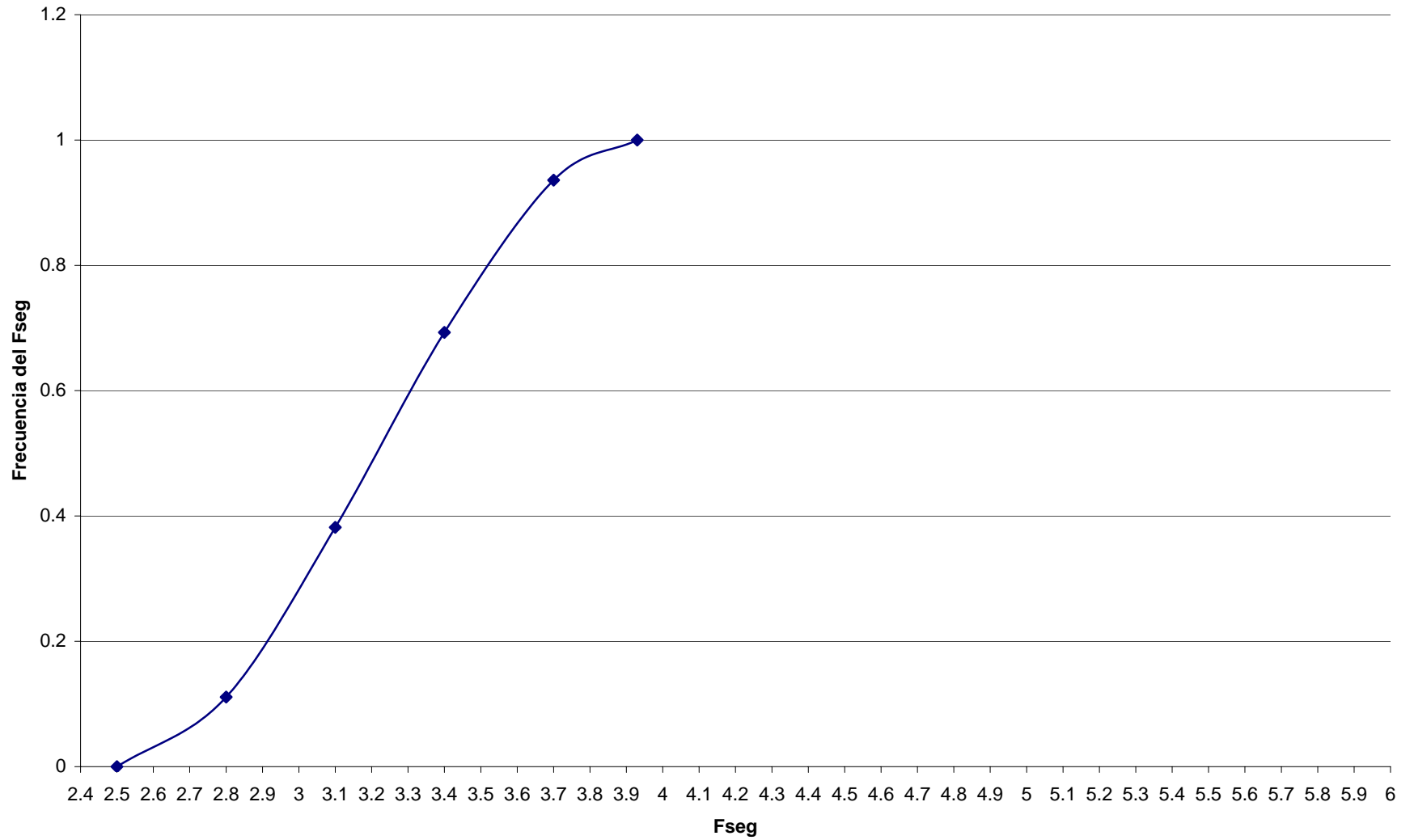


Figura 4.14 Sector 5. Perfil 5. Seco Con Sismo  
Frecuencia Acumulada del Factor de Seguridad

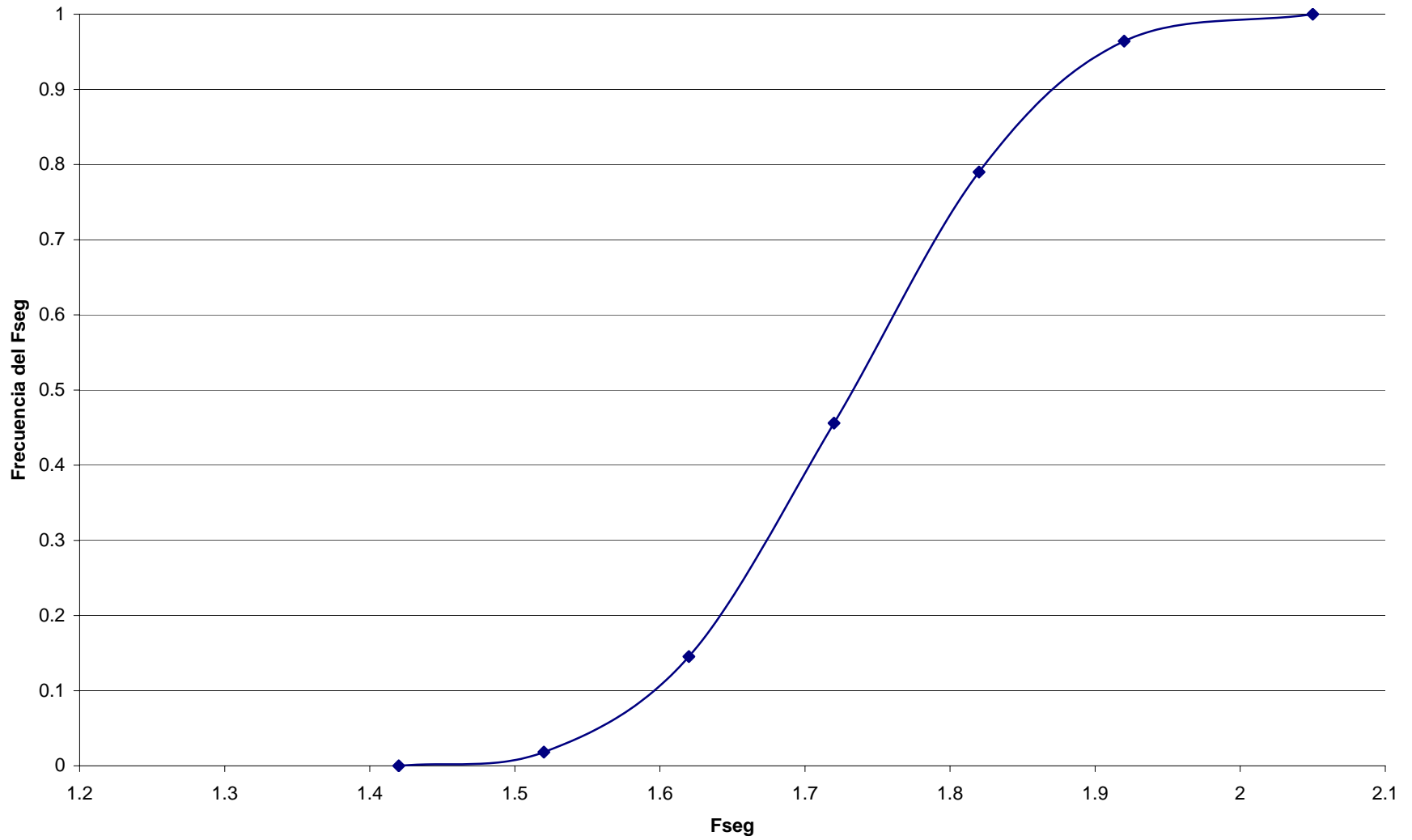
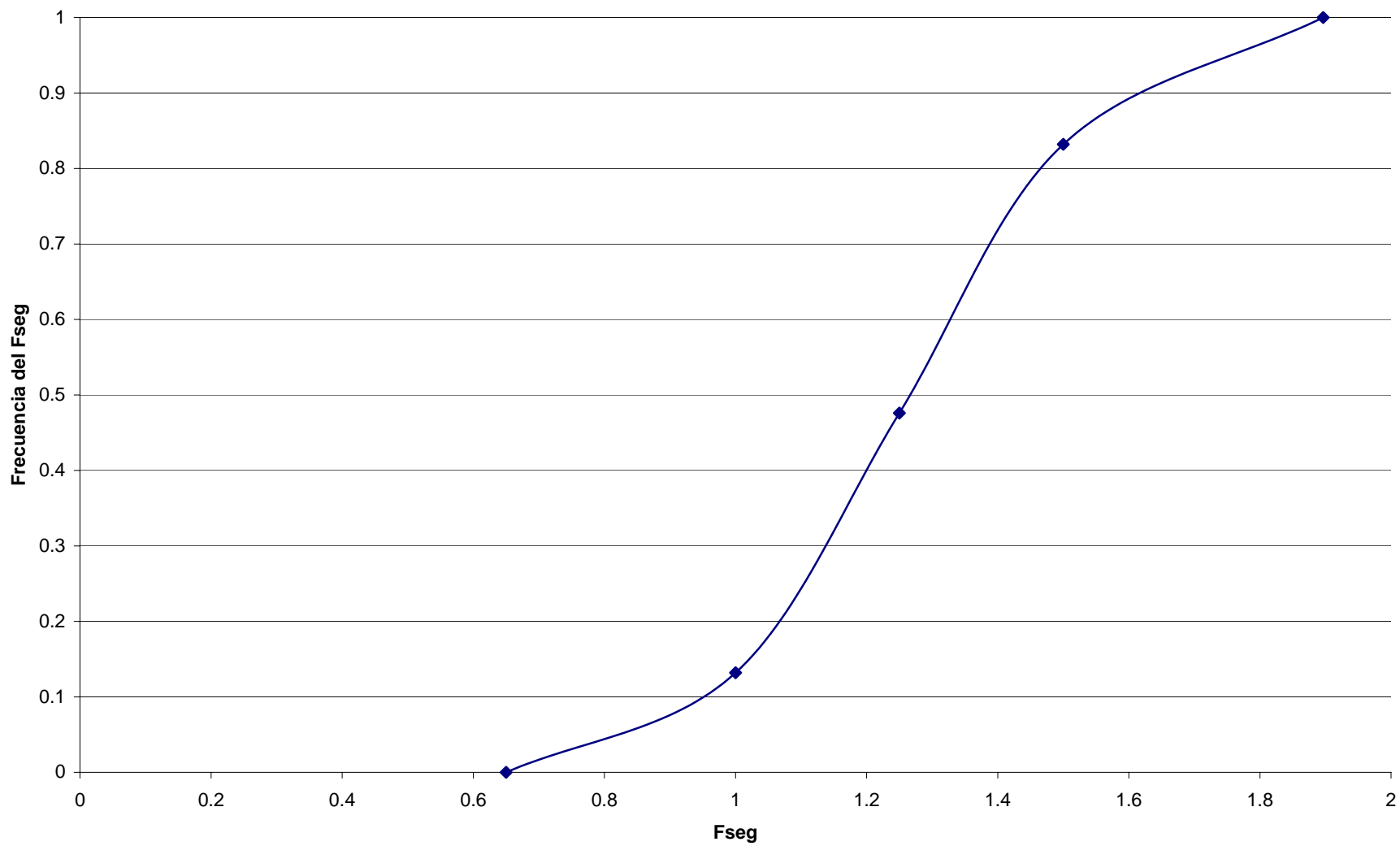
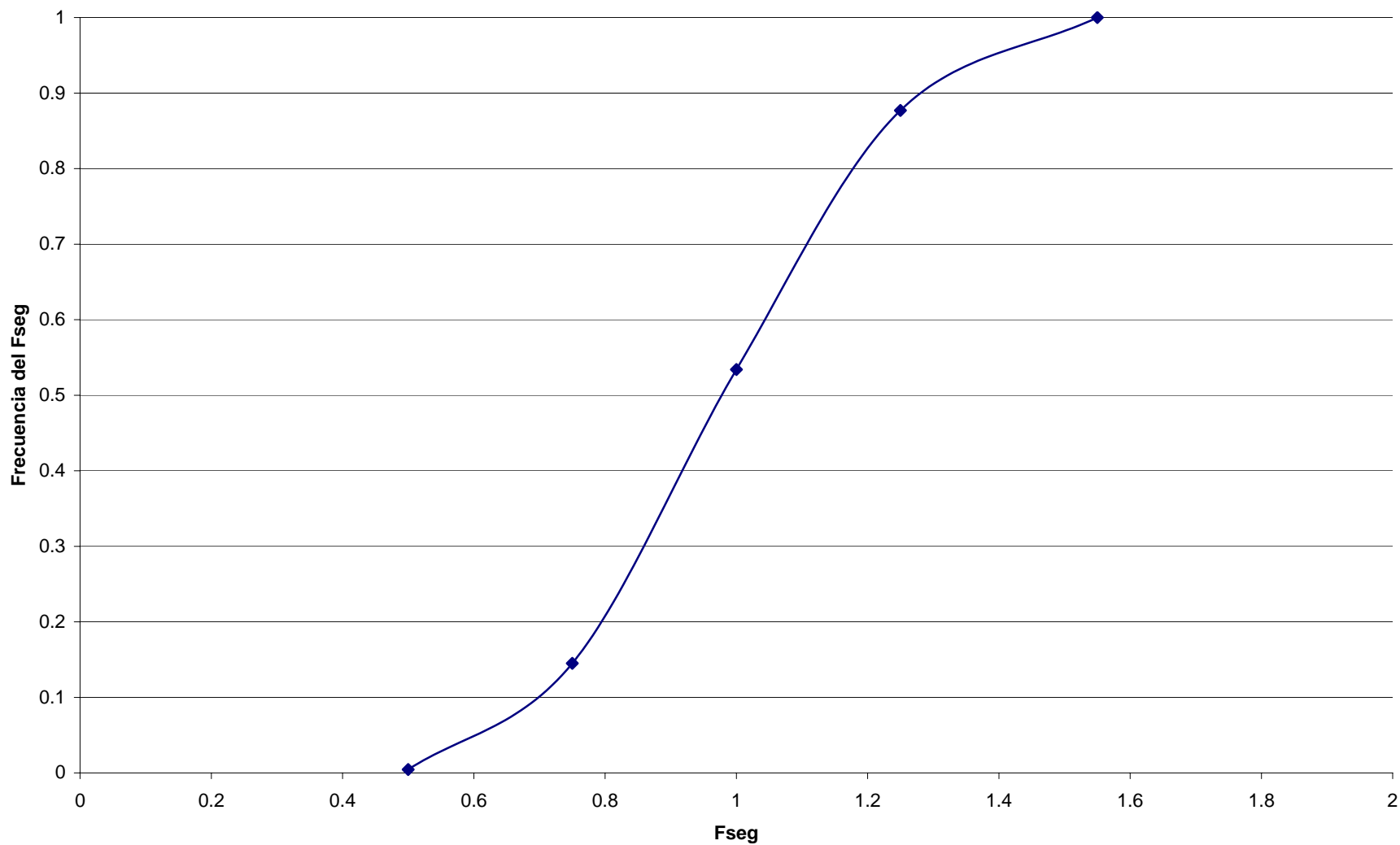


Figura 4.15 Sector 1. Perfil 1 Cuaternario. Seco Con Sismo  
Frecuencia Acumulada del Factor de Seguridad



**Figura 4.16 Sector 1. Perfil 1 Cuaternario. Saturación Intermeida Con Sismo**  
**Frecuencia Acumulada del Factor de Seguridad**



**Figura 4.17 Sector 1. Perfil 1 Cuaternario. Saturado Con Sismo**  
**Frecuencia Acumulada del Factor de Seguridad**

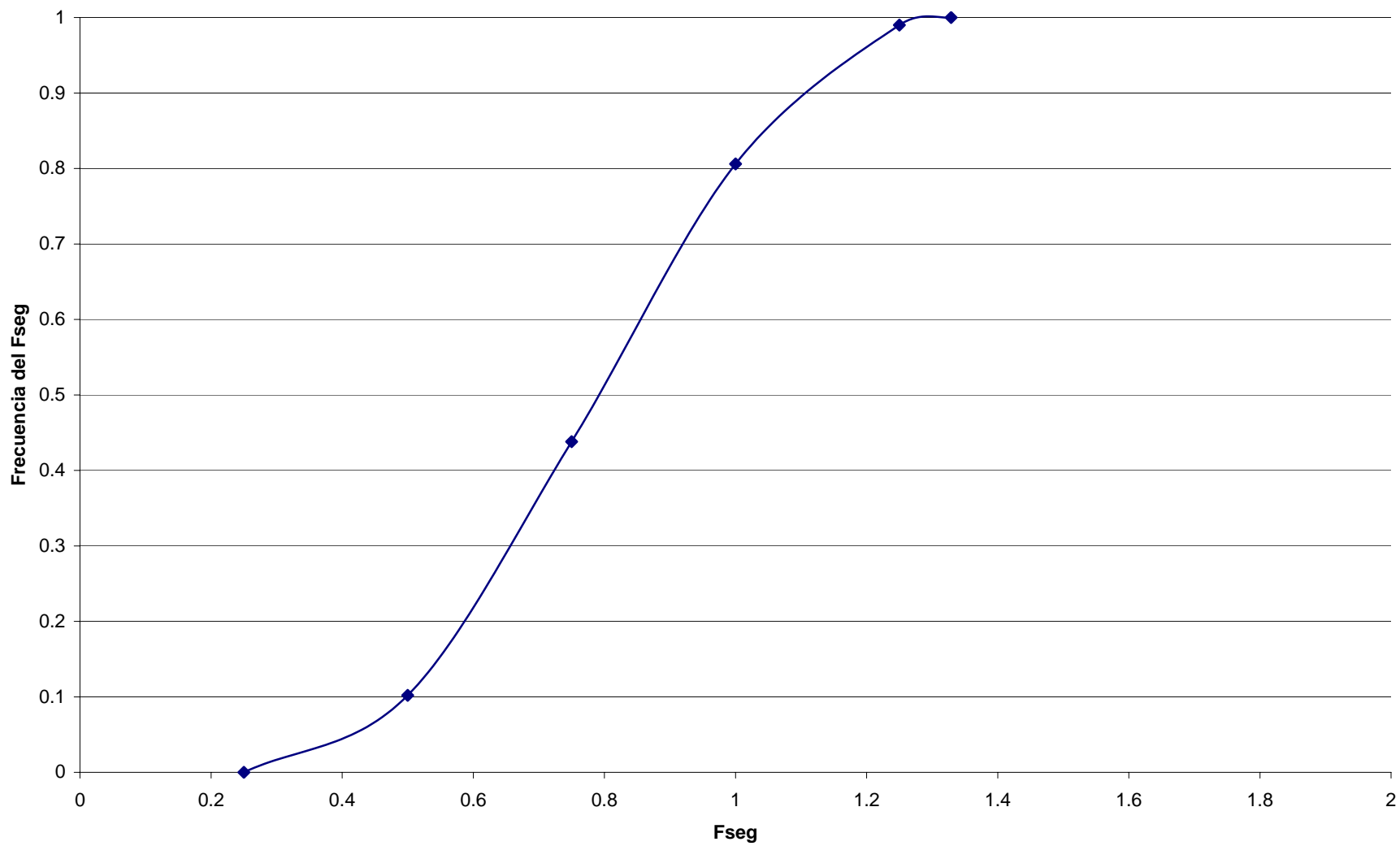
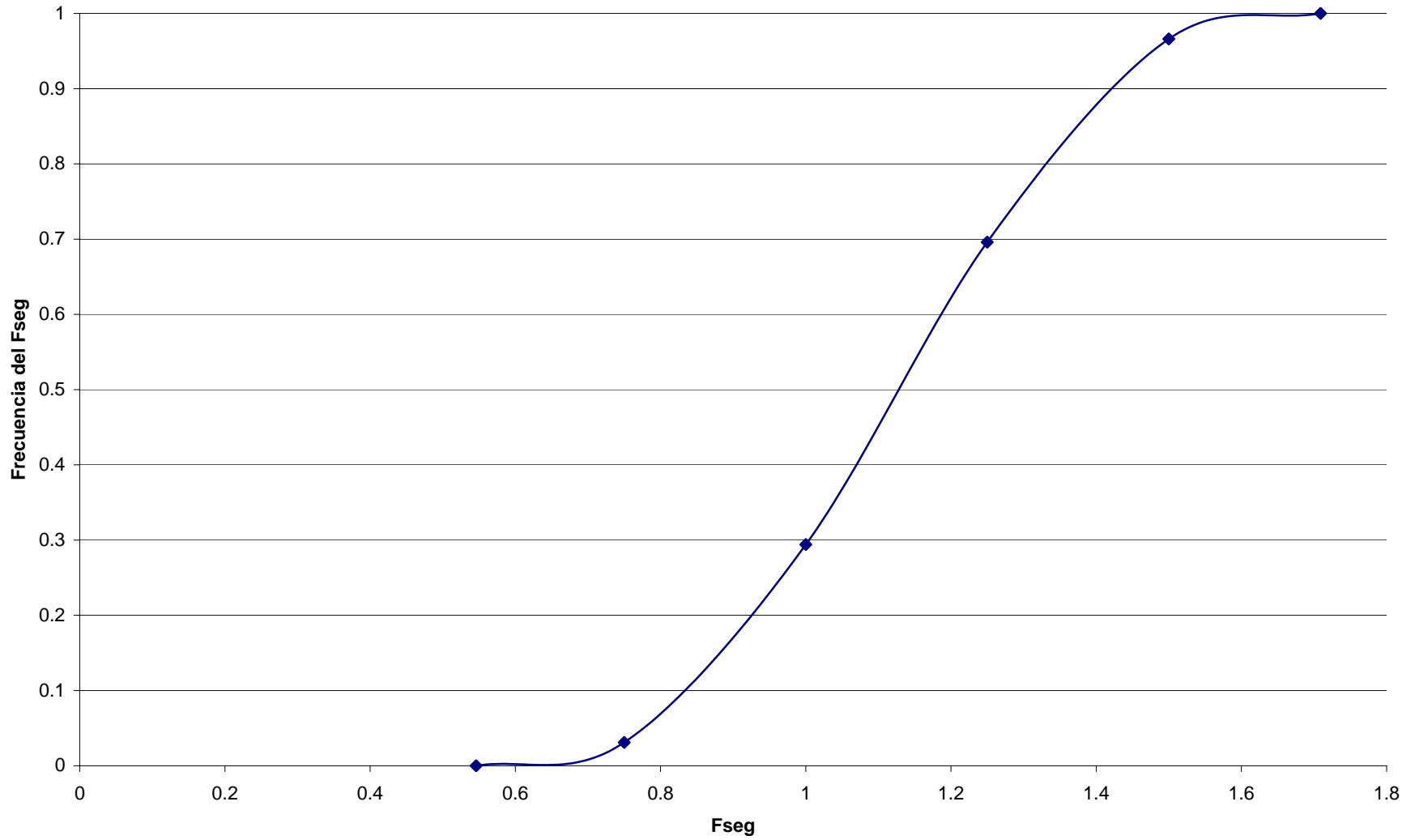
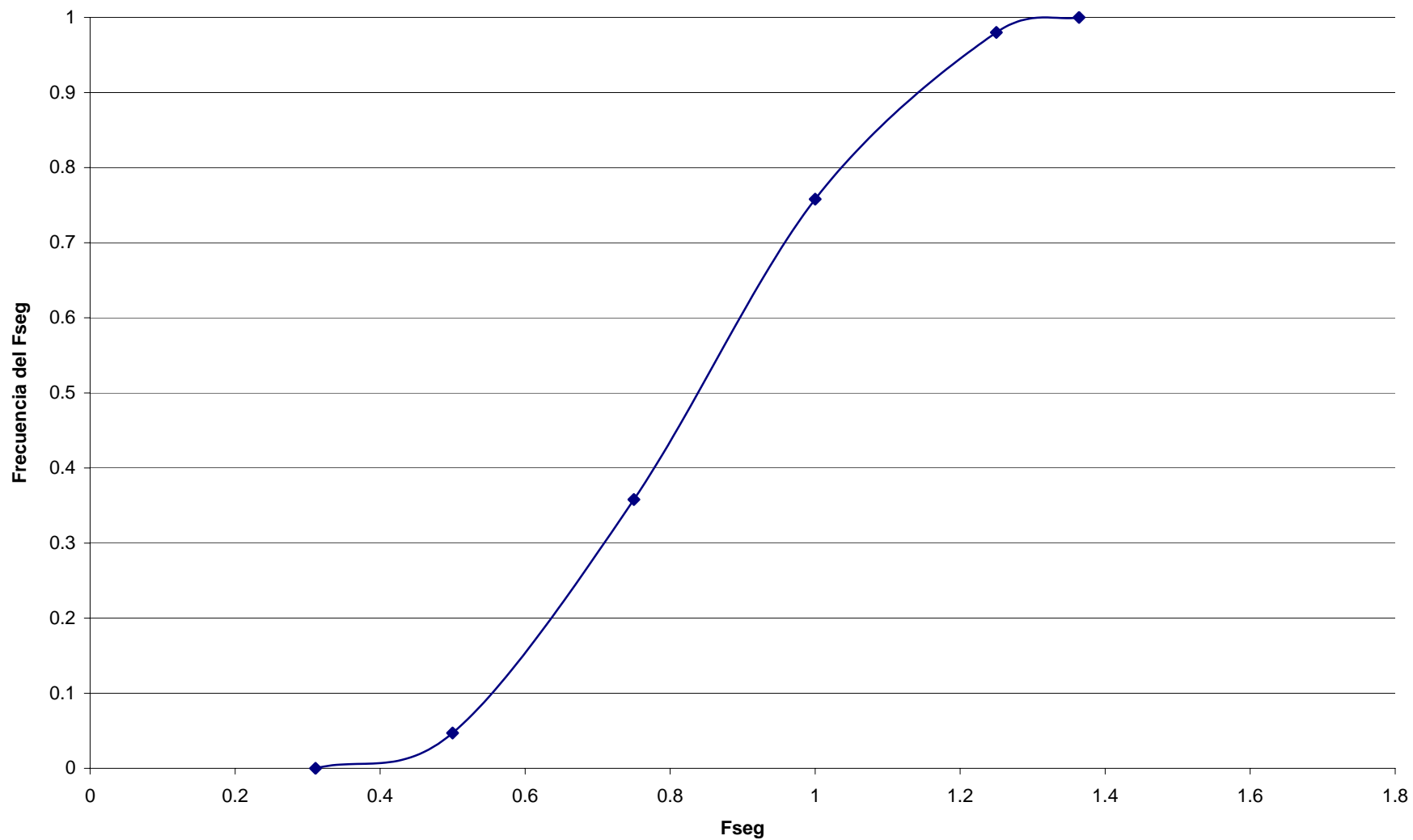


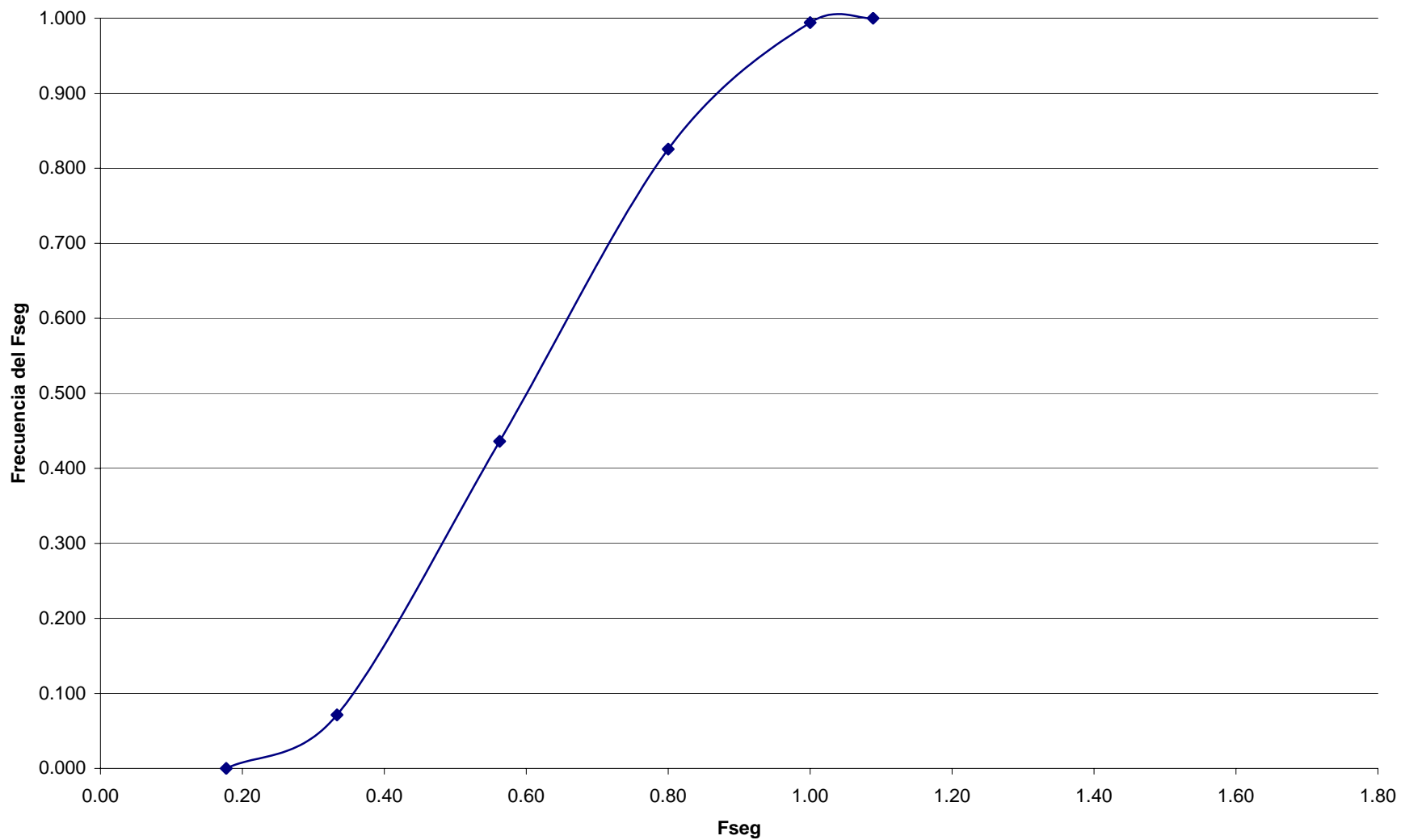
Figura 4.18 Sector 2. Perfil 2 Cuaternario. Seco Con Sismo  
Frecuencia Acumulada del Factor de Seguridad



**Figura 4.19 Sector 2. Perfil 2 Cuaternario. Saturación Intermedia Con Sismo**  
**Frecuencia Acumulada del Factor de Seguridad**



**Figura 4.20 Sector 2. Perfil 2 Cuaternario. Saturado Con Sismo**  
**Frecuencia Acumulada del Factor de Seguridad**





**Figura 4.21 Perfil 4 Cuaternario. Seco Con Sismo**  
**Frecuencia Acumulada del Factor de Seguridad**

