

**ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA  
DEL BARRIO SAN RAFAEL.  
LOCALIDAD DE CIUDAD BOLIVAR.  
(SANTAFÉ DE BOGOTÁ).**

---

PRESENTADO A:

**FOPAE** *Fondo para la Prevención y Atención de Emergencias* **UPES**

PRESENTADO POR:

**URBANIZACION SAN RAFAEL**

REALIZADO POR:



*Mayo 1998*



Santafé de Bogotá, 25 de mayo de 1998

Señores

**Unidad de Prevención y Atención de Emergencias-UPES**

**Atn. Ing. Richard Vargas**

Director

La ciudad

Respetado ingeniero:

Adjunto a la presente me permito remitir el "**Estudio de Zonificación Geotécnica del Barrio San Rafael. Localidad de Ciudad Bolívar (Santafé de Bogotá)**" para su evaluación y concepto por parte de la entidad que Ud. dirige, dando con ello cumplimiento a lo solicitado mediante oficios No. 4664 del 7 de marzo de 1995 y 14770 del 12 de julio de 1994, expedidos por el Departamento Administrativo de Planeación Distrital, en los cuales respectivamente se solicita:

*" Al estar localizado el desarrollo San Rafael en una zona VBM, considerada de muy alto riesgo por deslizamiento según el mapa de zonificación geotécnica elaborado por Ingeominas según convenio 200-86, es necesario que el urbanizador responsable del trámite presente el correspondiente estudio geotécnico, previa aprobación de la Secretaría de Obras Públicas."*

*" ... al encontrarse el predio de la consulta en una zona de alto riesgo por deslizamiento, es imprescindible la presentación del estudio geotécnico y de control de taludes para proseguir con el trámite de legalización urbanística"*

De igual manera nos permitimos solicitar la revisión del Concepto Técnico

No. 1196 emitido el día 25 de febrero de 1996 por la OPES-FOPAE y cuyo contenido transcribimos a continuación:

**" TIPO DE RIESGO:**

*Medio por deslizamiento, con excepción del área cercana a la cantera.*

**JUSTIFICACION TECNICA:**

*Urbanización en desarrollo.*

*Zona de pendientes moderadas, ubicadas sobre unidades de roca competentes de la formación Guaduas.*

*No existen antecedentes de movimientos de masa en el sector.*

Cll. 72 N° 15-41 of. 404

• Tels.: 217-57-76/96

• Telefax. 211-76-55

• Santafé de Bogotá, D. C.

• Calle 41 N° 25-24

• Tels.: (986)

• 64 38 01 - 62 39 72

• Villavicencio - Meta

• Colombia



*La urbanización limita en aproximadamente 200 mts, con una cantera, cuyo frente del escarpe es susceptible a presentar caída y desprendimiento de roca.*

**CONSIDERACIONES Y RECOMENDACIONES:**

*No utilizar para vivienda la Manzana K del plano preliminar del barrio, área cercana a la cantera.*

*Diseñar y construir obras para el manejo de aguas lluvias."*

Esta solicitud se hace en virtud que los resultados del estudio detallado aquí presentado desvirtúan el concepto emitido por la OPES en los siguientes aspectos:

1. El concepto emitido por la OPES se basa en una inspección de terreno y no en un estudio detallado.
2. El concepto es ambiguo, pues por una parte determina un tipo de riesgo medio por deslizamiento, y por otra, en su justificación técnica dice que las pendientes son moderadas, que las rocas son competentes y que no existen antecedentes de movimientos en masa en el sector y mas adelante menciona que el frente del escarpe es susceptible a presentar caído y desprendimiento de roca (los cuales son formas de remoción en masa).

El presente estudio determina con base en criterios geológicos, geomorfológicos, geotécnicos e históricos que si bien se pueden presentar fenómenos de caída de roca en el escarpe de interés debido al tipo de discontinuidades existentes, dicho fenómeno es puntual y de pequeña magnitud, y por tanto, no compromete la estabilidad de la manzana K en particular ni del barrio San Rafael en general. Lo anterior se soporta con criterios cuantitativos (Levantamiento topográfico detallado de la zona de interés, caracterización de propiedades geomecánicas de los materiales involucrados, medición y análisis sistemático de planos de discontinuidad, modelamiento de las superficies de falla mas probables y establecimiento de los factores de seguridad por deslizamiento ) y cualitativos (análisis de vulnerabilidad física, cartografía geológica y geomorfológica detallada, análisis de fotografías aéreas a través del tiempo, relación de la estratificación con la topografía, etc.)

Si bien el barrio San Rafael, y en particular la Manzana K colindan con una antigua explotación de recebo, la situación entre los flancos norte y suroccidental de dicha cantera es totalmente opuesta: de un lado, el escarpe que limita la cantera al norte y que le sirve de lindero sur al desarrollo San Rafael, cuya relación entre la pendiente topográfica y la inclinación de las capas no es favorable al movimiento, y de otro lado el escarpe suroccidental, con todas las características de topografía y geomorfología actual favorables al fallamiento, situación que se ha presentado y que actualmente esta en progreso.

Cll. 72 N° 15-41 of. 404

• Tels.: 217-57-76/96

• Telefax. 211-76-55

• Santafé de Bogotá, D. C.

• Calle 41 N° 25-24

• Tels.: (986)

• 64 38 01 - 62 39 72

• Villavicencio - Meta

• Colombia



La situación se resume en que el barrio San Rafael es la zona de mayor estabilidad en el sector, y que no puede ser calificada como de alto riesgo, de acuerdo con los análisis varios realizados.

También es pertinente aclarar que en la zonificación geotécnica para el sector elaborada por el Ingeominas tiene una escala de 1:25.000, en la cual el barrio aparece aproximadamente como un rectángulo de 10 mm x 75 mm, lo cual es una herramienta preliminar pero no suficiente para tomar decisiones que tienen un impacto social tan fuerte tal como el hecho de ordenar la demolición de viviendas por parte de la Alcaldía Local de Ciudad Bolívar - Asesoría de obras, en oficio fechado el 27 de agosto de 1997 y firmado por José Rafael Vecino Oliveros como Alcalde Local (e) y por Iván Ernesto Rojas Guzmán como Asesor de Obras.

Atentos a resolver cualquier duda que se genere a partir de este documento, nos suscribimos.

Cordialmente

*Julio Fierro Morales*  
**JULIO FIERRO MORALES**  
Geólogo U.N. M.P. 1385 C.P.G.  
Aspirante al MSc Geotécnia U.N.

*Jhon Jairo Giraldo*  
**JHON JAIRÓ GIRALDO R.**  
Geólogo U.N. M.P. 1328 C.P.G.  
Esp. Geotécnia vial U.N.

Cll. 72 N° 15-41 of. 404

• Tels.: 217-57-76/96

• Telefax. 211-76-55

• Santafé de Bogotá, D. C.

• Calle 41 N° 25-24

• Tels.: (986)

• 64 38 01 - 62 39 72

• Villavicencio - Meta

• Colombia

*El oportunismo intelectual de la profesión económica ha tenido algunas consecuencias indeseables e innecesarias. En contraste con los científicos naturales, los estudios de la sociedad humana se han inclinado a teorizar sobre cualquier forma social sin un conocimiento directo y material de esta, simplemente extrapolar las leyes que ellos han establecido para las sociedades previamente establecidas por ellas.*

*Georgescu - Roegen.*

### **Agradecimientos**

*Los autores del presente trabajo queremos agradecer la colaboración prestada por la comunidad del Barrio San Rafael, especialmente por la abuelita y su familia, con quienes aprendimos un poco de la historia del pueblo colombiano, que a veces olvidamos los técnicos, preocupados por la cuantificación y la adquisición de conocimiento formal. También mencionamos a los señores Manuel Romero, Lucio Poveda y Carlos Triana, atentos al avance del trabajo.*

*En el desarrollo del trabajo nos colaboraron de manera desinteresada Laura Ascenzi-Moreno, Marta Pedroza, Héctor Buitrago, Mauricio Alfonso, Teresa Moreno y René López.*

## ÍNDICE

### Capítulo I

Introducción

### Capítulo II. Metodología

1. Fase de investigación preliminar .....	2
2. Fase de campo .....	2
3. Ensayos de laboratorio .....	2
4. Análisis de resultados .....	2
5. Análisis de estabilidad .....	3

### Capítulo III. Descripción física de la zona

1. Geología .....	4
1.1. Marco geológico regional .....	4
1.2. Estratigrafía .....	4
1.3. Tectónica .....	9
2. Geomorfología .....	11
2.1. Morfoestructural .....	11
2.2. Morfodinámica .....	12
3. Precipitación .....	15
4. Geotécnia .....	15
4.1. Caracterización de unidades geotécnicas .....	15
4.2. Análisis de discontinuidades estructurales .....	15
4.3. Análisis de estabilidad geotécnica .....	18



**Capítulo IV. Análisis de vulnerabilidad física**

**Capítulo V. Análisis de riesgo geotécnico**

1. Introducción ..... 23

2. Principios generales ..... 23

3. Aproximación histórica ..... 25

4. Modelamiento ..... 30

5. Análisis de susceptibilidad de laderas al movimiento ..... 30

5.1. Metodología ..... 30

6. Zonificación geotécnica del barrio San Rafael y alrededores ..... 31

6.1. Zona IA ..... 34

6.2. Zona IB ..... 35

6.3. Zona II ..... 36

6.4. Zona III ..... 37

6.5. Zona IVA ..... 38

6.6. Zona IVB ..... 39

6.7. Zona V ..... 40

6.8. Zona VI ..... 41

6.9. Zona VIIA ..... 42

6.10. Zona VIIB ..... 43

6.11. Zona VIII ..... 44

**Capítulo VI. Conclusiones y recomendaciones**



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

Los procesos de crecimiento urbano de Santafé de Bogotá han sido desarrollados históricamente por procesos de ocupación espontánea que han respondido en buena parte de los casos a la ineficiencia del Estado para cumplir su deber constitucional de proveer vivienda digna a los colombianos.

Este es el caso del Barrio San Rafael, localizado en un sector adyacente a la antigua receptera Santa Rita, mas exactamente en la parte alta de un antiguo talud de trabajo que permanece estable al menos desde 1984 (dato extraído de fotointerpretación). El barrio se encuentra construido en la parte alta, adyacente a la antigua receptera, en una zona que no fue afectada por la extracción minera.

Los materiales de construcción de la cantera Santa Rita se explotaron extrayendo el material de los miembros arenosos de la Formación Guaduas. La explotación se adelantó sin planeamiento minero y sin restauración ambiental ni morfológica.

Las consecuencias son la creación o potenciación de zonas de amenaza, disminución de la calidad paisajística y ambiental de la ciudad con el consiguiente impacto visual, disminución en el suministro de oxígeno por pérdida irrecuperada de vegetación e incluso la misma pérdida del recurso minero.

A lo anterior se agrega "la situación política del país, que converge en la capital, la poca o ninguna planeación a mediano y largo plazo que tuvo la ciudad en el cercano pasado, el manejo político burocrático de las empresas de servicios, el desmesurado crecimiento de la ciudad hacia lugares vulnerables, el acelerado deterioro del componente verde, la excesiva centralización y la

*falta de compromiso de los habitantes con su ciudad, se obtiene como resultado una ciudad capital altamente vulnerable a situaciones de emergencia".*

El presente informe caracteriza geológica, geomorfológica y geotécnicamente el barrio San Rafael ubicado al sur de la ciudad de Santafé de Bogotá, Localidad de Ciudad Bolívar. Dicho barrio se ubica entre la quebrada Santa Rita, que lo limita al sur (998.770N) y al este (989.430E) y el barrio el Rincón del Porvenir, que lo limita al norte (998.920N) y al oeste (989.150E). La cota mas baja es la 2592 y la mas alta la 2630.

Se evalúa el riesgo geotécnico a partir de la definición de probables amenazas y el análisis físico de vulnerabilidad y el análisis de estabilidad de los taludes adyacentes a la urbanización San Rafael. La evaluación se centra en la probabilidad de deslizamientos sobre el escarpe que limita el barrio al sur y su influencia sobre la manzana K y la comparación del riesgo en el barrio San Rafael y las zonas adyacentes.

El mapa de zonificación geotécnica de Bogotá, elaborado por el Ingeominas, mediante convenio 200-86 con el Departamento Administrativo de Planeación Distrital, clasifica el barrio San Rafael dentro de la zona VBM (definida como de muy alto riesgo), sin embargo, esta cartografía tiene escala 1:25.000, con lo que el barrio aparece como un polígono de 0,75 centímetros cuadrados en tanto que la cantera está representada por un polígono de 0,5 cm<sup>2</sup>, dentro del área VBM. El presente estudio trabaja con escala muy detallada (1:500), y se enmarca dentro de las recomendaciones del estudio de Ingeominas, en el sentido de tomarlo como base para la elaboración de estudios geotécnicos detallados.

## CAPÍTULO II

### METODOLOGÍA

#### 1. FASE DE INVESTIGACIÓN PRELIMINAR

Se consultó información sobre geología, geotecnia, vulnerabilidad y aspectos institucionales en las bibliotecas de INGEOMINAS, IGAC, Universidad Nacional de Colombia (Departamento de Geociencias) y en el archivo de Planeación Distrital.

También se adquirió información cartográfica en escalas 1:2.000 y 1:5.000 en el IGAC y fotografías aéreas de 1952, 1970, 1984 y 1991. Con estas se realizó la fotointerpretación de aspectos geológicos, geotécnicos, morfodinámicos y de uso del suelo.

#### 2. FASE DE CAMPO

Esta fase incluyó las siguientes actividades:

- Geología y geomorfología detallada. La geología determina los tipos de materiales que constituyen rocas y suelos y los procesos tectónicos (fallas, fracturas y pliegues) que afectan el comportamiento geomecánico de las rocas. La geomorfología se concentra en las formas de relieve y en los procesos erosivos y de remoción en masa (deslizamientos) existentes.
- Identificación y caracterización de masas inestables en la zona de interés.
- Reconocimiento geotécnico del terreno, realización de 3 sondeos con barreno manual y dos apiques para la recolección de muestras para los ensayos de caracterización geomecánica de los materiales del subsuelo (Ver localización de sondeos en el anexo cartográfico).
- Medición sistemática de diaclasas con miras al análisis cinemático del macizo rocoso. Incluyó

parámetros como orientación, longitud, apertura, densidad por volumen (metro cúbico) y tipo de relleno.

- Identificar la vulnerabilidad a partir de la caracterización del tipo de vivienda, cimentación, parámetros de sismo-resistencia, densidad de población, infraestructura de servicios (especialmente tipo de acueducto y alcantarillado).

#### 3. ENSAYOS DE LABORATORIO

Esta etapa consistió en la realización de pruebas índices de los materiales muestreados en los sondeos tales como granulometría por tamizado, límites de Atterberg y humedad natural, pesos unitarios entre otros. También se realizaron ensayos de resistencia al corte sobre muestras inalteradas.

#### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A partir del levantamiento geológico se produjeron mapas geológicos y geomorfológicos, soportados en una fase posterior de fotointerpretación.

Las muestras de suelo fueron analizadas en el laboratorio de Suelos y Pavimentos, donde se efectuaron ensayos de resistencia al corte no drenado, límites de Atterberg, humedades y determinación de pesos unitarios.

Las mediciones realizadas se procesaron y graficaron por computador en el programa Stereo™ Version 5.21. Orientation Analysis for the Macintosh, que produjo planos principales de despegue, básicos para el análisis cinemática del macizo rocoso.

La información cartográfica y la adquirida mediante la fotointerpretación y la fase de campo sirvieron para determinar el acercamiento histórico y el análisis semicuantitativo de susceptibilidad de laderas al movimiento.

Con fundamento en los resultados de los ensayos de laboratorio de los materiales muestreados y el levantamiento geológico detallado de la zona de interés, se procedió a la elaboración de un mapa de zonificación geotécnica y a la subdivisión de los materiales presentes en el área de estudio en unidades geotécnicas.

## 5. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

A partir de la información obtenida en las etapas anteriores se procedió a elaborar un modelo geotécnico de la condición actual de los taludes adyacentes al barrio San Rafael, a partir del cual se analizó la condición de estabilidad actual.

Para lo anterior, se utilizó el programa de estabilidad de taludes PCSTABL5M analizando varias condiciones del terreno. El método empleado correspondió al Método Modificado de Janbu, por ser el que mejor se acomoda a la situación objeto del estudio.

## CAPÍTULO III

### DESCRIPCIÓN FÍSICA DE LA ZONA

#### 1. GEOLOGÍA

##### 1.1. Marco Geológico Regional

La zona de estudio hace parte de los cerros que limitan al sur la Sabana de Bogotá, los cuales corresponden a rocas del Terciario inferior, agrupadas dentro de la Formación Guaduas.

La tectónica se caracteriza por micropliegues que conforman el flanco norte de una pequeña estructura anticlinal en sentido E-W, asociada con la Falla de Mochuelo.

##### 1.2. Estratigrafía

La información sobre la estratigrafía de las unidades se basa en el Léxico Estratigráfico Internacional (Julivert, 1968).

###### 1.2.1. Formación Guaduas (Tig)

**Nombre:** Derivado de la población de Guaduas (Cundinamarca).

**Autor:** Propuesto por Hettner, A., en 1892 como Guaduas-Schichten o Stufe der Guaduasschichten. Hubach, E., en 1957 la denomina Formación Guaduas.

**Area Tipo:** "La mejor exposición del Guaduas de la Sabana se halla en Guatavita entre la Arenisca Tierna del Guadalupe... y el filo prominente al Sur constituido de la Arenisca del Cacho".

Características físicas (litofacies) de la roca en el área tipo: «El conjunto inferior está formado por

*lutitas generalmente de color gris, una intercalación de areniscas hacia la mitad/superior... El conjunto medio queda delimitado por dos niveles principales de areniscas que se encuentran en la formación Guaduas. La arenisca Guía en la base y la Arenisca Lajosa en la parte superior... La arenisca lajosa corresponde a una sucesión de areniscas ortocuarcíticas en bancos potentes de 1 a 3,5 m... Entre la arenisca se intercala una sucesión de lutitas grises, pero empiezan a manifestarse ya en algunas facies rojas...». Julivert (1968).*

Características físicas (litofacies) de la roca en el área de estudio: Según el Estudio de Zonificación Geotécnica de Ingeominas, en la zona de estudio aflora el Conjunto medio de la Formación Guaduas, definido así:

" Conjunto Medio

*Areniscas cuarzosas gris claras y amarillentas alteradas, de grano fino a grueso, subredondeado, esfericidad media a alta, bien sorteadas (sic) friables a muy friables, en estratos de 0,2 a 4 m. Presenta intercalaciones de arcillolitas gris oscuras y rojas meteorizadas, laminadas, carbonosas.*

*En el sector del Perdomo Alto, Sierra Morena y canteras de terreros, la litología de este conjunto esta constituida por areniscas gris claras cuando están frescas y amarillas alteradas, cuarzosas, grano fino a conglomerático, subangular a subredondeado, esfericidad media a alta, de moderadamente a bien sorteadas y con frecuentes cambios laterales a lodolitas y arcillolitas; presenta además intercalaciones de arcillolitas gris oscuras y amarillas (alteradas), blandas, laminadas con restos de plantas...*

*El conjunto medio es arenoso, y a pesar de ser muy friable, es resistente a los agentes erosivos,*

*con comportamiento geotécnico relativamente bueno para la fundación de obras civiles ..."*

En el trabajo de campo se llevó a cabo la cartografía geológica detallada del predio, encontrándose tres niveles litológicos de diferentes características:

#### **Unidad informal Tkgm<sub>1</sub>**

Secuencia con predominio de areniscas lodosas, con estratificación ondulosa.

El macizo rocoso se compone de una secuencia alternada de areniscas y limolitas, dispuestas en capas delgadas (1-20 cm).

Las areniscas son cuarzosas, grises, muy bien cementadas, con laminación en artesa; la geometría externa muestra capas continuas, onduladas y paralelas. Las limolitas son de colores oscuros, marcando la geometría interna de las capas tipo flaser; la geometría externa muestra capas muy onduladas y lenticulares (Foto 1).

#### **Unidad informal TKgm<sub>2</sub>**

Areniscas dispuestas en bancos (6 metros de espesor), gradan de grano fino a medio, con interestratificaciones de areniscas arcillosas grises y lodolitas arenosas (Foto 2). Compuesto por cuarzo (90%), con granos medianamente cementados. La esfericidad y redondez de los granos es baja, razón que incide en el ángulo de fricción interna de la arenisca. Los planos de estratificación contienen ondulitas, rugosidad macro que colabora en la estabilidad de estos planos. Las areniscas son de grano grueso, bien seleccionadas.

#### **Unidad informal TKgm<sub>3</sub>**

Las arcillolitas son grises, fisibles, muy fracturadas, dispuestas en un paquete de más de 5 m (no es visible su base) en el que no se observaron intercalaciones arenosas.

El contacto superior con la arenisca es neto, bien marcado por la presencia de horizontes oxidados de colores violáceos (Foto 3).



**FOTO 1. SECUENCIA ROCOSA CORRESPONDIENTE A LA UNIDAD INFORMAL TKGM<sub>1</sub>, COMPUESTA POR ARENISCAS LODOSAS Y LODOLITAS. EN EL EXTREMO SUPERIOR DERECHO, LA CASA MAS BAJA DE LA MANZANA N DEL BARRIO SAN RAFAEL.**



FOTO 2. ARENISCAS CUARZOSAS E INTERESTRATIFICACIONES LITÚFICAS EN LA UNIDAD DE ARENISCAS TKGM2.



FOTO 3. UNIDADES GEOLÓGICAS INFORMALES CORRESPONDIENTES A LA FM. GUADUAS. EN LA PARTE SUPERIOR, LA UNIDAD ARENOSA TKGM2, QUE FORMA EL ESCARPE ABRUPTO QUE LIMITA EL BARRIO SAN RAFAEL HACIA EL COSTADO SUR. BAJO ESTA UNIDAD SE ENCUENTRA LA UNIDAD TKGM3, CONFORMADA PRINCIPALMENTE POR LUTITAS GRISES. NÓTESE QUE A PESAR DEL FRACTURAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO, ES EVIDENTE LA ESTABILIDAD DEL ESCARPE, QUE PRESENTA METEORIZACIÓN (COLORES OSCUROS).

## 1.2.2. Depósitos Cuaternarios

### 1.2.2.1. COLUVIONES (Qc)

Depósitos heterométricos\* naturales, compuestos por bloques de roca hasta de 50 cm, con diámetro promedio de 10 a 15 cm., embebidos en matriz\*\* arenosa o arcillosa. Para la unidad geológica TKgm<sub>3</sub> predomina la matriz arcillosa, mientras que la unidad Tkgm<sub>2</sub> predomina la matriz arenosa. Generalmente en los coluviones predomina el aglutinante sobre la fracción rocosa.

El color de este material es pardo, producto de la presencia de óxidos de hierro. Se disponen generalmente sobre pendientes poco empinadas, producto de los procesos de transporte de material debido a la acción combinada del agua y la



gravidad. Los principales depósitos de este tipo se encuentran fuera del barrio San Rafael (Foto 4)

La porosidad y permeabilidad de estos materiales es alta en los coluviones arcillosos debido a su textura granular, mientras que estas características son pobres en los coluviones con matriz arcillosa.

### 1.2.2.2. DEPÓSITOS DE TALUS (QCD)

Acumulaciones compuestas principalmente por fragmentos gruesos con baja densidad de conjunto por la relativa ausencia de material fino que actúe como matriz. Se ubican en el extremo occidental del predio por caída de bloques y detritos de arenisca debidos a la intersección de discontinuidades estructurales que dan lugar a la formación de cuñas, pequeños movimientos planares y volteo (Foto 5).

### 1.2.2.3. SUELOS

Sobre las areniscas se desarrollan suelos arenolimosos de espesores variables entre 0 y 60 cm., color pardo oscuro. La fracción arena está compuesta por cuarzo, con tamaños entre limo y arena gruesa (2cm). La fracción predominante es arena media. El suelo se encuentra sobre bloques provenientes de la meteorización de la arenisca, con bloques oxidados. La arenisca en bloques tiene textura de grano medio a muy grueso.

**FOTO 4. DEPÓSITOS COLUVIALES DE LADERA, PRODUCIDOS POR EL MOVIMIENTO EN MASA CORRESPONDIENTE A UN DESLIZAMIENTO ROTACIONAL DE SUELO ARCILLOSO, LIMITADO EN LA PARTE INFERIOR POR ARENISCA DE BUENAS CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS, QUE BUZAN PARALELAMENTE A LA PENDIENTE TOPOGRÁFICA. EL CARÁCTER ARCILLOSO DE LOS SUELOS, LA RELACIÓN ESTRATIFICACIÓN DE LA ROCA VS PENDIENTE TOPOGRÁFICA Y LA CONCENTRACIÓN DE FLUJO EN LA INTERFASE SUELO-ROCA FAVORECE EL MOVIMIENTO EN MASA.**

\*Heterométricos: De tamaños variados.

\*\*Matriz: Material finogranular que constituye el almacén de los depósitos o las rocas.



**FOTO 5. DEPÓSITOS DE TALUS EN LA PARTE INFERIOR. EN LA PARTE SUPERIOR NÓTESE EL PROCESO QUE OCURRE EN EL ESCARPE PARALELO A LA MANZANA K: SE OBSERVAN PEQUEÑAS MASAS EN VOLADIZO, CUÑAS Y FALLAS PLANARES EN LA PARTE SUPERIOR Y LA CAÍDA DE BLOQUES Y DETRITOS.**



**FOTO 6. PERFIL DE SUELOS TÍPICO DEL BARRIO SAN RAFAEL. EL HORIZONTE SUPERIOR ES UN SUELO ARENOSO, POROSO Y PERMEABLE; EL HORIZONTE INTERMEDIO ES UNA CAPA DE TURBA, MUY PLÁSTICA Y SATURABLE, ES DECIR, UN MATERIAL PROBLEMÁTICO DESDE EL PUNTO DE VISTA GEOTÉCNICO. EL HORIZONTE INFERIOR ES EL DE TRANSICIÓN SUELO-ROCA. NÓTESE QUE LAS CIMENTACIONES (TANTO DE LA CASA CONSTRUIDA COMO LA QUE SE VA A CONSTRUIR) SE ENCUENTRAN POR DEBAJO DEL NIVEL PROBLEMÁTICO (ZONA VIIA).**



Bajo este nivel, se encuentra un horizonte arcilloso, que en la parte superior presenta moteado negro, probablemente por lixiviado de minerales, a manera de *hard-pan* (turba). Este material es el de mas pobres características geotécnicas, especialmente si está saturado.

Progresivamente va disminuyendo la proporción de minerales oscuros y se encuentra arcilla pardo claro, moteada con minerales ferrosos (Foto 6).

Fuera del barrio San Rafael, se encuentra un suelo espeso (espesor mayor de 2 metros), compuesto por arcilla, limo y arena, con algunos bloque embebidos dentro de el y con dos horizontes superiores compuesto por suelos orgánicos (turbas). El comportamiento geotécnico de esta unidad es arcilloso y, plástico, afectado por grietas de tracción que se constituyen en planos de falla.

La localización de las unidades descritas arriba pueden observarse en el Mapa Geológico anexo.

### 1.3. Tectónica.

Corresponde al bloque tectónico denominado por Ingeominas (op. cit.) Bloque occidental levantado, región estructural limitada por la Falla del Mochuelo.



**FOTO 7. ANTICLINAL DE SAN RAFAEL. NÓTESE LA FALLA QUE FRACTURA LA ROCA EN EL EJE DEL PLIEGUE.**

### 1.3.1. Pliegues

#### Anticlinal de Cheba.

El flanco oriental, limitado por las fallas de Mochuelo al oriente y Sucre al occidente, se caracteriza por presentar una serie de zonas afectadas por fallamientos en direcciones NW-SE y NE-SW.

#### Anticlinal de San Rafael

Hacia el oeste del predio, el flanco norte del pliegue se halla casi vertical, con presencia de microfallas en sentido aprox. E-W. El pliegue se suaviza hacia el Este, y para la mayor parte del predio, la inclinación de las capas esta entre 15 y 35°. El núcleo de esta estructura coincide parcialmente con el escarpe que limita al sur el Barrio San Rafael (Foto 7).

### 1.3.2. Fallas

#### Falla de Mochuelo

Falla inversa con Bloque occidental levantado rumbo N40°W. Contacta el conjunto inferior de la Formación Guaduas y el conjunto superior de Bogotá.

También se observan fallas menores, como la ubicada en el eje del anticlinal y que fractura el material rocoso disminuyendo sus características geomecánicas. (Foto 8).



**FOTO 8. ZONA CORRESPONDIENTE AL EJE FALLADO DEL ANTICLINAL DE SAN RAFAEL. ESTA FALLA ES DE CABALGAMIENTO Y DISMINUYE LAS PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DE LA ARENISCA, POR EL FRACTURAMIENTO A QUE ES SOMETIDO EL MATERIAL ROCOSO. ESTA ZONA FALLADA SE HALLA POR FUERA DEL ÁREA QUE INFLUENCIA LA MANZANA K O CUALQUIER OTRA ZONA URBANIZABLE DEL BARRIO SAN RAFAEL (ZONA V).**

## 2. GEOMORFOLOGÍA



**FOTO 9. MORFOLOGÍA ABRUPTA TÍPICA DE PAISAJES MONTAÑOSOS ESTRUCTURALES. IMAGEN CORRESPONDIENTE AL ESCARPE QUE LIMITA EL BARRIO HACIA EL SUR. HACIA EL CENTRO Y LA DERECHA, PANORÁMICA DE LAS CASAS DE INVASIÓN UBICADAS EN EL SECTOR APROPIADAMENTE DENOMINADO "EL HUECO".**

### 2.1. Morfoestructural

La zona se caracteriza por corresponder a relieve montañoso de tipo estructural y estructural-denudacional, en los que las características de las rocas se evidencian en el paisaje.

#### 2.1.1. Unidad estructural (E)

Se caracteriza por presentar los siguientes rasgos, relacionados con la dureza de las areniscas que la constituyen:

- Los escarpes de contrapendiente, que se refieren a antiguos taludes de explotación con inclinaciones mayores de 60°. Los escarpes se desarrollan principalmente sobre los paquetes de roca arenosa (TKg<sub>2</sub>) e incluyen en su zona basal las litologías arcillosas de la unidad geológica Tkg<sub>1</sub> (Foto 9).
- Las pendientes estructurales, es decir, pendientes de laderas que coinciden con la estratifica-

ción de las rocas. Estas se presentan ocasionalmente sobre areniscas, que son las rocas de mayor dureza que afloran en el área estudiada y no tienen grandes extensiones. Se ubican en el extremo oriental del escarpe.

#### 2.1.2. Unidad estructural-denudacional (DE)

Son formas redondeadas, que naturalmente, y de acuerdo a la observación de fotografías aéreas antiguas, estaban afectadas por procesos erosivos de tipo hídrico concentrado: surcos y pequeñas cárcavas, que han sido emparejadas mediante trabajo mecanizado.

La pendiente media es del 14%, aproximadamente hacia el nororiente.

Ocupa la mayor parte del barrio San Rafael: las manzanas A, B, H, I, M y N.

## 2.2. Morfodinámica

### 2.2.1. Procesos erosivos

Erosión hídrica superficial concentrada (zurcos y zanjones)

Los procesos modificadores del relieve corresponden a erosión por escorrentía hídrica superficial: microsurdos en la unidad arcillosa de la parte basal del talud que constituye el límite sur del predio y surcos en las vías que coinciden con la pendiente topográfica.

Anterior a la construcción del barrio y de acuerdo con la fotointerpretación, la zona presentaba surcos y cárcavas, además de pequeñas intervenciones antrópicas, probablemente a manera de exploración para materiales de construcción.

Los surcos actuales se ubican sobre taludes de material no cementado (suelos o lutitas tipo suelo) y en las vías (que no se encuentran pavimentados) del barrio San Rafael. Estos no cuentan con obras para el control de aguas, razón por la cual la escorrentía superficial da lugar en poco tiempo a la formación de surcos de erosión (Foto 10).

La zona del escarpe paralelo a la manzana K en que afloran lutitas, se encuentra afectada por microsurdos, debidos únicamente a la acción de aguas lluvias recogidas por la cara libre del talud, puesto que las aguas del barrio drenan en su totalidad hacia el norte, por lo que no llegan al escarpe.

### 2.2.2. Deslizamientos

El proceso que constituye la mayor amenaza en la zona estudiada no afecta las viviendas del barrio San Rafael sino las ubicadas en el fondo de la antigua cantera, sector que es reconocido comúnmente con el nombre de "El hueco". El área afectada está ubicada en el extremo opuesto al talud adyacente al barrio San Rafael. Se trata de un movimiento traslacional retrogresivo que involucra masas de suelo arcilloso con espesores mayores de 2 metros (Foto 11) y que aún sigue activo (el último evento ocurrió en mayo de 1998).

El movimiento se debe a la inestabilidad inducida por la explotación antitécnica en la pata del talud, con la consecuente pérdida de soporte de la masa de suelo que se desliza, y es favorecido por la concentración de aguas de infiltración en la interfase suelo arcilloso - roca y la relación entre la pendiente del terreno y la inclinación y orientación de los estratos de arenisca. La roca corresponde a areniscas cuarzosas y el suelo arcilloso, a pesar de su baja permeabilidad se encuentra altamente agrietado, situación que es aprovechada por las aguas para su infiltración.

### 2.2.3. Caídas de detritos o bloques

La ocurrencia de fenómenos de caída de bloques y detritos está controlada por el alto grado de fracturamiento que exhibe la roca en varios puntos del escarpe y que da lugar a la formación de fallas por volteo, planares y de cuña (Foto 12). Sin embargo, este fenómeno no se presenta de manera extensiva, sino más bien es de carácter puntual. Prueba de ello, es la escasa acumulación de depósitos de talus en la pata del escarpe.

Puntualmente se presentan zonas de caída de bloques y detritos en el escarpe paralelo a la manzana K que afectan algunas de las viviendas situadas en "el hueco" (antigua cantera Santa Rita), al sur del predio. Estos procesos no son de gran magnitud, de acuerdo con la fotointerpretación. La casa de la parte baja más cercana al talud se encuentra allí al menos desde 1984 y a pesar de estar ubicada en la zona donde el escarpe arenoso se presenta más fracturado y meteorizado (Foto 13), el contraste entre lo observado en el terreno y el registro histórico de fotografías aéreas desde 1954 hasta la fecha evidencia que el retroceso de la corona del escarpe es un proceso morfodinámico muy lento, especialmente en los sitios donde no aflora la unidad arcillosa basal.

En el Mapa Geomorfológico anexo se muestra la localización de los procesos dinámicos y de las estructuras morfológicas explicadas.



FOTO 10. FORMACIÓN DE SURCOS DE EROSIÓN EN LAS VÍAS DEL BARRIO.



FOTO 11. ZONA DE INESTABILIDAD POR REMOCIÓN EN MASA (DESLIZAMIENTO) SITUADA FUERA DEL BARRIO SAN RAFAEL. ESTA ZONA FALLÓ EN MAYO DE 1998, COMO MOVIMIENTO DE TIPO RETROGRESIVO. NÓTESE EL ESPESOR DEL SUELO INESTABILIZADO (CERCA A 2,5 METROS). EL MOVIMIENTO SE VE FAVORECIDO POR EL BUZAMIENTO DE LA ROCA SUBYACENTE, QUE COINCIDE CON LA PENDIENTE TOPOGRÁFICA (ZONA IVB).



**FOTO 12.** VOLADIZOS Y CUÑAS PRESENTES EN EL ESCARPE CORRESPONDIENTE A LA ZONA GEOTÉCNICA IA. ESTAS ZONAS DEBEN SER REMOVIDAS PARA EVITAR LA CAÍDA DE BLOQUES.



**FOTO 13.** A PESAR DEL FRACTURAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO, LA CASA QUE SE OBSERVA EN EL EXTREMO DERECHO DE LA IMAGEN SE ENCUENTRA CONSTRUIDA AL MENOS DESDE 1974 Y NO HA SIDO AFECTADA POR LA CAÍDA DE BLOQUES, LO QUE EVIDENCIA QUE SI BIEN ESTE TIPO DE MOVIMIENTO ES ACTIVO, ES PUNTUAL Y DE BAJA AMENAZA. OBSÉRVESE EL ANTICLINAL DE SAN RAFAEL, DONDE LOS BUZAMIENTOS DE LA PARTE DERECHA SE DIRIGEN HACIA LA DERECHA, MIENTRAS QUE LOS DE LA PARTE IZQUIERDA BUZAN EN LA DIRECCIÓN OPUESTA.

### 3. PRECIPITACIÓN

Los registros de la estación de El Tunal (E.A.A.B.), subcuena de la quebrada Limas, muestran una precipitación media multianual de 598,1 mm, es decir, que es una zona seca con deficiencias en lluvias. El mes de mayor pluviosidad corresponde a octubre (86,9 mm).

La distribución anual es bimodal con periodos de lluvia en los meses de marzo a mayo y de septiembre a noviembre y periodos secos en los meses de diciembre a febrero y de junio a agosto.

La baja pluviosidad constituye un factor que reduce la amenaza, ya que la presencia de agua es uno de los principales factores desencadenantes de procesos erosivos y de remoción en masa.

## 4. GEOTECNIA

### 4.1. Caracterización de unidades geotécnicas

De acuerdo con los resultados de la exploración del subsuelo y el reconocimiento de campo se pudo establecer el sector de interés se subdividió en tres unidades cuyas características principales se resumen en la tabla 1.

Para la definición de las propiedades geomecánicas de los materiales involucrados en la zona de estudio, se realizaron ensayos de resistencia al corte en condición seca, sobre los planos de dis-

continuidad sobre muestras de bloque precortadas de la unidad de arenisca, a fin de establecer valores típicos de ángulo de fricción y cohesión en la superficie de las discontinuidades de la roca.

Lo anterior en virtud a que el levantamiento geológico de la zona de estudio mostró que la estabilidad del macizo rocoso está gobernada principalmente por los parámetros de resistencia a lo largo de las superficies de debilidad o discontinuidades estructurales.

### 4.2. Análisis de discontinuidades estructurales

#### 4.2.1. Definiciones

La mayoría de masas de roca, en particular aquellas de la corteza, se comportan como discontinuidades, las cuales determinan su comportamiento mecánico (International Society for Rock Mechanics Commission on Standardization of Laboratory Field Tests ISRM, 1978). Dentro de estas discontinuidades se encuentran las diaclasas, que se definen como aperturas de origen geológico en la continuidad de un cuerpo de roca a lo largo de las cuales no hay desplazamiento apreciable.

Se midieron planos de fracturamiento (diaclasas) en las rocas del talud sur y del talud de corte ubicado en el acceso (límite oriental del predio) con el fin de proveer el adecuado conjunto de datos geológicos para la determinación cinemática de estabilidad de taludes.

No.	UNIDAD	ANGULO DE FRICCIÓN	COHESION c(kg/cm <sup>2</sup> )	DENSIDAD SECA	DENSIDAD HUMEDA
1	ARCILLA	34	0,42	1,65	1,92
2	ARENISCA	32	0,1	2,25	2,35
3	ARCILLOLITA	34	0,1	1,59	1,94

TABLA 1. PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DE LAS UNIDADES GEOTÉCNICAS.

Posteriormente en la fase de campo se realizaron mediciones en 5 puntos (ver Mapa), enfatizando en el escarpe sur y en la zona oriental, donde aflora el macizo rocoso. Los análisis y descripciones de este trabajo se basan en la metodología propuesta por la ISRMC (op. cit.), la cual contiene los siguientes parámetros:

**Continuidad (Persistencia):** Se relaciona con la longitud de la diaclasa. Mientras que características geológicas estructurales mayores tales como fallas pueden recorrer decenas de metros, discontinuidades mas pequeñas como las diaclasas pueden ser muy limitadas en su extensión. La continuidad tiene gran influencia en la permeabilidad de macizos rocosos pues esta depende de las conexiones entre estas discontinuidades (permeabilidad secundaria).

**Apertura:** Se relaciona con variables físicas como el desconfinamiento y la presencia de agua, así como con variables bióticas como la acción de las raíces de los árboles. Son de gran importancia en la generación de deslizamientos al actuar como grietas de tracción y también en las fallas por volteo (*toppling*)

**Forma:** Se relaciona con los patrones estructurales presentes en las rocas y se define para mediana y gran escala (fallas y pliegues que afecten la discontinuidad). Las fracturas aproximadamente rectilíneas influyen en la aparición de deslizamientos planares, mientras que deslizamientos rotacionales son típicos de macizos rocosos sin patrones estructurales identificables o de suelos saturados.

**Espaciamiento:** Indica el grado de fracturamiento de la roca, desde rocas muy poco fracturadas con aparición esporádica de diaclasas, hasta rocas molidas (cizalladas o milonitizadas) por acción de fallas geológicas regionales y que presentan un patrón de diaclasamiento muy denso.

**Relleno:** Es el material presente entre las dos caras de una discontinuidad estructural. Este material pueden ser el producto del deslizamiento de una superficie sobre la otra (en caso de fallas)

o puede ser el material que ha sido precipitado por soluciones o producido por la meteorización. Cualquiera que sea su origen, su presencia jugará un papel importante en los esfuerzos cortantes sobre la discontinuidad. Si el espesor del relleno es tal que las caras de la discontinuidad no entran en contacto, la resistencia al cortante estará definido por el relleno. Si el relleno es muy delgado, de tal forma que no separa las caras de la discontinuidad no influirá en la resistencia al cortante, y este estará marcado por las asperezas del material rocoso.

**Rugosidad:** Se define para superficies a pequeña escala (granos, estrías de fricción, marcas de oleaje, etc.) que pueden aumentar los coeficientes de fricción propios de la roca.

#### 4.2.2. Observaciones sobre el terreno

Debido a las respuestas diferenciales de cada tipo de roca ante los esfuerzos de fallamiento y plegamiento, se observa que las areniscas presentan fracturas definidas, continuas, poco onduladas y con aperturas variables entre 0,1 y 4 cm., mientras que las arcillolitas y limolitas presentan un patrón de diaclasamiento menos definido, de menor apertura y continuidad y mas denso.

La mayoría de diaclasas medidas no presentan rellenos sino únicamente suciedad superficial y son esporádicos los rellenos de arcillas ricas en óxidos de hierro.

Debido a que los planos mas definidos se presentan en areniscas (rocas con granos visibles a simple vista que no sobrepasen un diámetro de dos milímetros), la rugosidad a pequeña escala debido a los granos se observa en todos los planos, especialmente los que poseen marcas de oleaje.

Las mediciones realizadas se procesaron y graficaron por computador en el programa Stereo™ Version 5.21. Orientation Analysis for the Macintosh y se graficaron en la malla Estereográfica de Wulff.



Es de anotar que al ser los planos de diaclasamiento ondulado, los planos verticales realmente tienen componentes de buzamiento a lado y lado, lo que fue tenido en cuenta en el análisis cinemático de estabilidad de taludes.

#### 4.2.3. Planos principales de discontinuidades

Para el análisis de estabilidad cinemática, de los escarpes adyacentes a la urbanización San Rafael, se procedió a la medición y descripción detallada de familias de diaclasas y planos de estratificación en diferentes puntos de la unidad de arenisca cuarzosa.

En el mapa de zonificación geotécnica del anexo cartográfico se pueden identificar los puntos de observación definidos por las estaciones 1, 2, 3, 5, 10 y 11.

En cada punto de observación, se identificaron y describieron las propiedades físicas de los principales planos de debilidad que cortan la roca, agrupándolos en familias de acuerdo a su orientación e inclinación estadística (tabla 2). Posteriormente, se realizó el análisis cinemático de estabilidad, consistente en el dibujo en una red estereográfica de los principales planos de debilidad identificados en la fase de campo.

De esta forma, y utilizando la metodología propuesta por Markland (en Hoek & Bray, 1977) se graficaron en la red, el círculo de fricción, la dirección e inclinación de los taludes actuales en cada afloramiento y la orientación de las discontinuidades estructurales y estratigráficas a fin de establecer la potencialidad de generación de fallas de cuña, fallas planares o volcamiento de roca.

Los resultados arrojados por este análisis se sintetizan a continuación:

- Para las estaciones 3, 10 y 11 pertenecientes a la zona IB del mapa de zonificación geotécnica, se pudo establecer la posibilidad de falla de cuña o volcamiento.

ESTACION 1 (998.790N - 989.245E)			
Azimut del Buzamiento / inclinación			
Estratif.	Familia 1	Familia 2	Familia 3
35/40	150/65	290/90	210/55
20/42	155/55	122/90	235/60
25/35	140/45		245/57
	160/65		240/50
	190/55		
	170/70		
	152/63		
PROMEDIOS			
27/39	160/60	116/90	232/55

ESTACION 2 (998.790N - 989.230E)		
Azimut del Buzamiento / inclinación		
Familia 1	Familia 2	Familia 3
5/80	170/35	90/90

ESTACION 3 (998.805N - 989.420E)		
Azimut del Buzamiento / inclinación		
Estratif.	Familia 1	Familia 2
130/40	200/90	355/65
140/50	205/90	145/55
	33/75	340/55
	200/90	340/50
		10/70
PROMEDIOS		
135/45	204/86	344/59

ESTACION 5 (998.855N - 989.425E)		
Azimut del Buzamiento / inclinación		
Estratif.	Familia 1	Familia 2
0/27	110/70	185/80
340/50	115/60	195/75
	115/65	220/60
	100/75	
PROMEDIOS		
350/38	110/67	72/72

ESTACION 10 (998.790N - 989.410E)			
Azimut del Buzamiento / inclinación			
Estratif.	Familia 1	Familia 2	Familia 3
160/25	25/90	310/45	240/65
135/60	15/75	320/40	235/70
145/45	205/85	315/35	235/75
	5/75	300/30	250/75
PROMEDIOS			
147/43	17/81	311/37	240/71

ESTACION 11 (998.800N - 989.400E)			
Azimut del Buzamiento / inclinación			
Estratif.	Familia 1	Familia 2	Familia 3
55/35	155/75	310/70	220/65
55/35	160/85	290/55	190/50
40/35	170/65	135/80	190/65
	165/65	130/85	160/65
<i>50/35</i>	PROMEDIOS		
<i>147/43</i>	17/81	311/37	240/71

TABLA 2. DATOS DE DISCONTINUIDADES

- Para las estaciones 1 y 2 correspondientes a la zona IA, se logró detectar la posibilidad de falla de cuña o volcamiento.
- Para la estación 5 (zona VIII), se encontró que no existen planos de debilidad que finalmente puedan generar fallas por inestabilidad cinemática, dado que el ángulo del círculo de fricción es menor al de la línea de intersección entre dos potenciales planos de debilidad.
- Pese a que los resultados del análisis cinemático de estabilidad sugieren que existe posibilidad de formación de fallas de cuña y volcamiento en las zonas IA y IB del mapa de zonificación geotécnica (anexo cartográfico), un análisis detallado de las fotografías aéreas del sector (ver capítulo IV) evidencia que este tipo de fenómenos son de carácter puntual y muestran períodos de recurrencia largos. De igual manera, la inexistencia de depósitos de talus en la zona del escarpe adyacente a la manzana K, apoya la evidencia anterior, en el sentido que su ocurrencia es puntual y de poca magnitud.

### 4.3. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD GEOTÉCNICA

Para evaluar los factores que controlan la estabilidad de los taludes adyacentes a la urbanización San Rafael se utilizó, como complemento del análisis cinemático de estabilidad, el programa de computador PCSTABL, para las siguientes condiciones hipotéticas:

#### INFLUENCIA DE SATURACION DE AGUA

Talud drenado  
Talud saturado

#### INFLUENCIA DE ACTIVIDAD SISMICA

Talud con sismo  
Talud sin sismo

#### INFLUENCIA DE EROSION DE LUTITAS QUE CONFORMAN LA PARTE BASAL DEL TALUD

Talud actual  
Talud erosionado

Para el análisis, se utilizaron como datos de entrada, los parámetros de resistencia al corte (cohesión y fricción), obtenidos de los ensayos de laboratorio sobre muestras de bloque y tubo **shelby** tomadas directamente en el campo.

Se realizaron tres perfiles en dirección NORTE-SUR sobre las abcisas 989.250E y 989.300E. y un perfil en dirección ESTE-OESTE sobre la ordenada 998.925N.

Los resultados encontrados se resumen a continuación (ver graficos en anexo MODELAMIENTO):

- En la condición actual de los taludes, el factor que mayor incidencia tiene en su estabilidad corresponde a la actividad sísmica, que reduce el factor de seguridad sensiblemente.
- De igual forma, es sensible la reducción del factor de seguridad con la saturación de agua, y el aumento en el grado de erosión en la lutita basal del escarpe de contrapendiente en los perfiles NORTE-SUR, sin llegar a obtener valores inadmisibles (menores de 1,2) salvo para el caso de ocurrencia de sismo.
- Es importante aclarar que la condición más crítica se presenta cuando simultaneamente tenemos talud saturado y con sismo, obteniéndose valores menores a 1,0. Sin embargo, esta situación es poco probable que se presente en la realidad dado que la unidad de areniscas cuarzosas es permeable, factor que facilita el drenaje de aguas de infiltración.
- Por otra parte, los factores de seguridad obtenidos, tanto para el talud en su condición actual como para el hipotético talud erosionado, son siempre superiores a 1,2 (ver tablas 3 y 4).

Por lo anterior se concluye que los taludes actuales no presentan riesgo de deslizamiento. En caso de presentarse erosión de la arcillolita basal, esta no afectaría sensiblemente la condición de estabilidad actual del macizo rocoso en su conjunto.

No obstante, y teniendo en cuenta el fracturamiento de la unidad de areniscas cuarzosas,

es importante establecer medidas de control de erosión de la lutita basal, por cuanto su evolución puede generar un aumento en los fenómenos de caída de bloques y detritos en algunos puntos del escarpe de contrapendiente que por la presencia de superficies de discontinuidad presentan riesgo potencial de fallas de cuña y volcamientos que afecten las viviendas ubicadas en la base del talud y que no pertenecen al barrio San Rafael.

Respecto al talud mostrado en el perfil ESTE-OESTE, los resultados del análisis de estabilidad muestran factores de seguridad superiores a 1,2, excepto para los casos donde hipotéticamente se presenta actividad sísmica y saturación del talud. Como en el caso anterior, es poco probable que esta condición se presenta en la realidad dada la permeabilidad de las rocas involucradas (areniscas cuarzosas con intercalaciones de arcillolitas).

PERFILES NORTE - SUR				
Perfil	989.250		989.300	
	Sin sismo	Con sismo	Sin sismo	Con sismo
Drenado			1,62	
Saturado	1,38	0,84	1,57	0,96

TABLA 3. FACTORES DE SEGURIDAD EN LA CONDICIÓN DE EROSIÓN ACTUAL DEL ESCARPE.

PERFILES NORTE - SUR				
Perfil	989.250		989.300	
	Sin sismo	Con sismo	Sin sismo	Con sismo
Drenado	1,24		1,40	
Saturado		0,52	1,20	0,77

TABLA 4. FACTORES DE SEGURIDAD EN LA CONDICIÓN DE EROSIÓN HIPOTÉTICA DE LA LUTITA BASAL

PERFIL ESTE- OESTE		
Talud	Sin sismo	Con sismo
Drenado	1,56	
Saturado	1,56	0,89

TABLA 5. FACTORES DE SEGURIDAD EN LA CONDICIÓN ACTUAL.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD FISICA

La urbanización San Rafael consta de 14 manzanas con un promedio de 25 a 30 lotes por manzana de los cuales, en promedio están construidos 16 a 20 lotes por manzana.

El barrio presenta una cobertura total de servicio de acueducto, el cual se abastece del tanque de Sierra Morena. El sistema posee tubería en PVC con unión Z y diámetro de 2 pulgadas.

El alcantarillado de aguas negras consiste de tubería de gres de 8 pulgadas, con pozos de inspección de 0,9 hasta 1,2 m. El alcantarillado de aguas lluvias no existe.

La red vial consiste en calles destapadas de 8 metros de ancho, con deficiencia en el sistema de drenajes de escorrentías superficiales.

Las viviendas están cimentadas a nivel del sustrato rocoso, el sistema constructivo corresponde a corte en la parte alta y relleno en la parte baja, con zapatas cuadradas de 0,75 a 1m de an-

cho y una profundidad de cimentación de 0,75 a 1,2m en cada extremo de la edificación. Las zapatas están acopladas con viga de amarre (foto 14). En la parte baja, el relleno es estabilizado con un enrocado recubierto en cemento (Foto 15), en tanto que a los lados se encuentra protegido con muros de ladrillo prensado hasta la altura de la viga de amarre (Foto 16). El relleno consiste de escombros de construcción y bloques de arenisca. Las viviendas construidas no presentan ningún tipo de agrietamiento.

Estructuralmente, las viviendas están provistas de columnas en concreto de sección cuadrada de 25 centímetros de ancho y espaciadas entre sí cada 4 metros, con un promedio de 8 columnas por vivienda. Internamente las columnas poseen 4 varillas de hierro de 1/2". Sobre las columnas descansa una placa en concreto de 10 centímetros de espesor. Los muros están construidos con ladrillos tipo tolete (fotos 14 y 15)

La urbanización cuenta además con servicio de alumbrado público y energía para cada vivienda.

MAN-ZANA	LOTE	PROF. DE ZAPATAS	DIAMET. HIERRO	ESPESOR VIGA	COLUMNAS (cm)	ANCHO ZAPATAS	BASES DE LA VIGA	OBSERVACIONES
N	28	80 cm	1/2"	25 cm	20 X 16	60 X 68		
N	27	75 cm	1/2"	20 cm	25 x 20			
L	6	75 cm	1/2"	20 cm	20 x 25	100 x 90	Piedracemento	
K	1	100 cm	1/2"	28 cm	15 x 20	60 x 60	Piedracemento	
K	6	100 cm	1/2"	25 cm	20 x 20	80 x 80	Piedracemento	
K	7	120 cm	1/2"	30 cm	20 x 25	80 x 90	Piedracemento	
K	8						Piedracemento	Prefabricada
K	9	120 cm	1/2"	30 cm	25 x 25	80 x 90	Piedracemento	
K	10							Prefabricada
K	12	100 cm	1/2"	20 cm	20 x 25	60 x 60	Piedracemento	
K	13						Piedracemento	Prefabricada

TABLA 6. INFORMACIÓN SOBRE CIMENTACIÓN TIPO. BARRIO SAN RAFAEL.



**FOTO 14. CIMENTACIONES CON VIGA DE AMARRE EN LA MANZANA I. NÓTENSE LAS COLUMNAS A CONSTRUIR, CON CONCRETO Y ACERO Y LA RELACION DE LAS VIGAS CON LAS ZAPATAS.**



**FOTO 15. LAS CASAS A CONSTRUIR SON GENERALMENTE DE DOS PISOS, CON VIGAS Y COLUMNAS EN CONCRETO REFORZADAS CON ACERO Y PAREDES EN TOLETE O LADRILLO PENSADO. OBSÉRVESE A LA DERECHA EL MURO EN ENROCADO.**



FOTO 16. DETALLE DE CIMENTACIÓN DE VIVENDAS, CON REFUERZO DE LA BASE EN LADRILLO PENSADO

## CAPÍTULO V

### ANÁLISIS DE RIESGO GEOTÉCNICO

#### 1. INTRODUCCIÓN

Dentro del presente capítulo se analiza detalladamente la zonificación geotécnica del Barrio San Rafael y de las zonas adyacentes, con consideraciones geológicas, geomorfológicas y geomecánicas específicas y la determinación de los planos principales de debilidad, ya sean ellos familias de diaclasas o planos de estratificación en los puntos de interés para el estudio. También se incluyen análisis semicuantitativos de susceptibilidad al movimiento y de la amenaza de las viviendas basada en los parámetros anteriores.

El objeto es detallar el Mapa de Zonificación Geotécnica de Bogotá, en el cual toda la zona montañosa y colinada de Ciudad Bolívar corresponde a la zona VBM, definida como de muy alto riesgo (Foto 17).

#### 2. PRINCIPIOS GENERALES

##### 2.1. Definiciones

De acuerdo con Cardona, O. (1993), los parámetros relacionados con desastres se definen así:

*"Amenaza o peligro o factor de riesgo externo de un sujeto o sistema, representado por un peligro latente asociado con un fenómeno físico de origen natural o tecnológico que puede presentarse en un sitio específico y en un tiempo determinado produciendo efectos adversos en las personas, los bienes o el medio ambiente, matemáticamente expresado como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un evento con una cierta intensidad en un cierto sitio y en cierto periodo de tiempo.*



FOTO 17. MAPA DE ZONIFICACION GEOTECNIA DE BOGOTÁ (INGEOMINAS, 19880). EL BARRIO SAN RAFAEL SE UBICARÍA APROXIMADAMENTE EN EL RECTÁNGULO NEGRO QUE SE OBSERVA HACIA EL CENTRO DE LA IMAGEN.

***El Riesgo** o daño, destrucción o pérdida esperada obtenida de la convolución de la probabilidad de ocurrencia de eventos peligrosos y de la vulnerabilidad de los elementos expuestos a tales amenazas, matemáticamente expresado como la probabilidad de exceder un nivel de consecuencias económicas y sociales en un cierto sitio y en un cierto periodo de tiempo.*

*En términos generales, la "vulnerabilidad" puede entenderse entonces como la predisposición intrínseca e un sujeto o elemento a sufrir daño debido a posibles acciones externas, y por lo tanto su evaluación contribuye en forma fundamental al conocimiento del riesgo mediante interacciones del elementos susceptible con el ambiente peligroso.*

*La diferencia fundamental entra la amenaza y el riesgo esta en que la amenaza está relacionada con la probabilidad de que se manifieste un evento natural o un evento provocado, mientras que el riesgo esta relacionado con la probabilidad que se manifiesten ciertas consecuencias, las cuales están íntimamente relacionadas no solo con el grado de exposición de los elementos sometidos sino con la vulnerabilidad que tienen dichos elementos a ser afectados por el evento."*

Para este trabajo, el concepto de vulnerabilidad trabajado fue puramente físico, sin tener en cuenta la vulnerabilidad social, que es "en la mayoría de los casos, la causa de las condiciones de vulnerabilidad técnica. A diferencia de la amenaza que actúa como detonante, la vulnerabilidad social es una condición que permanece en forma continua en el tiempo y esta íntimamente ligada a los aspectos culturales y al nivel de desarrollo de las comunidades" (Cardona, op. cit.).

## 2.2. Marco conceptual

Las amenazas naturales se pueden evaluar de tres formas (Hansen, 1984, en Arboleda & García, 1989): Método histórico, el cual consiste en el análisis de datos registrados (magnitud, frecuencia y fecha); Método Geomorfológico, en el cual se realiza el análisis de evidencias observadas,

tanto en campo como a partir de sensores remotos, es decir, un método cualitativo. El ultimo método es el Desarrollo Experimental, en el cual se realizan modelos y se siguen procedimientos analíticos los cuales suministran la información cuantitativa necesaria acerca de los procesos que causan los fenómenos.

La completa evaluación sobre la magnitud y el periodo de recurrencia de las amenazas naturales se logra al emplear, en lo posible, los tres métodos citados.

El presente análisis se basa en consideraciones geológicas, geomorfológicas y geotécnicas puntuales y en la interpretación del terreno por medio de sensores remotos (fotografías aéreas), es decir, se utilizó el Método geomorfológico, el cual es el mas accesible dadas las condiciones del estudio.

También se llevaron a cabo ensayos de los materiales solicitados (suelos y rocas), se realizaron charlas con los habitantes del sector y se analizaron fotografías aéreas antiguas con el fin de acercarse a los métodos Histórico y de Desarrollo Experimental.

A continuación se tratan en detalle los factores tenidos en cuenta.

**Factores geológicos:** Se incluyen el tipo de materiales solicitados; en las rocas su plegamiento y fallamiento, factores que controlan el fracturamiento, el cual define su comportamiento geomecánico y la entrada de agua; en los suelos su composición y su génesis.

**Factores geomorfológicos:** Comprenden el análisis de las estructuras morfológicas y la dinámica de la superficie del terreno (desde movimientos lentos hasta deslizamientos rápidos o caídas de bloques o detritos). La dinámica del terreno se halla en íntima relación con el material que constituye la ladera y las condiciones externas como la pluviosidad y las solicitaciones antrópicas que proveen el agente que causa, acelera o detona los procesos, actuando diferencialmente de acuer-



do al tipo de depósito (granulares o arcillosos) y al tipo de roca (en relación con su litología y fracturamiento).

**Factores meteorológicos:** La precipitación media multianual es de 598,1 mm, que clasifica como una zona de precipitación baja, con deficiencia hídrica la mayor parte del año.

**Factores geomecánicos:** Parámetros de resistencia de los materiales involucrados. Medición, descripción y análisis de discontinuidades estructurales y su relación con los taludes de corte, para establecer los tipos de falla potenciales.

### 3. APROXIMACIÓN HISTÓRICA

El barrio San Rafael se ubica adyacente a una antigua explotación minera para materiales de construcción: La cantera Santa Rita. Esta explotación tuvo como objetivo las areniscas cuarzosas de la Formación Guaduas, denominada informalmente en este trabajo como la unidad  $Tk_{gm_2}$ , esta explotación inició alrededor de 1965 y suspendió actividades hacia 1994.

La explotación se inició sobre el eje original de la quebrada Santa Rita (ubicada aproximadamen-

te con dirección este-oeste) con dirección preferencial hacia el oeste y hacia el sur, mientras que su avance hacia el norte (hacia el actual barrio San Rafael) fue pequeño, debido probablemente a que las areniscas se "clavan" hacia el norte, disminuyendo la relación descapote-material de interés minero (Figura 1).

La estabilidad del escarpe arenoso se evidencia con la observación de fotografías aéreas de distintas épocas, las cuales muestran que el antiguo frente de explotación no ha avanzado de manera natural hacia el barrio:

#### Década 1950-1959

- (Vuelo C619, fotos 100 y 101 del 21 de marzo de 1952)

Se observa que no hay actividad minera ni urbanística en el área de estudio. El escarpe original esta cubierto de rastrojo, sin evidencia de caída de material ni de procesos de erosión hídrica concentrada. La zona donde actualmente se ubican las viviendas del barrio San Rafael están cubiertas por pastos y en algunos puntos se observan pequeños procesos de erosión hídrica concentrada (surcos). El sector de estudio es el mas estable desde el punto de vista de erosión o procesos de remoción en masa (Foto 18).

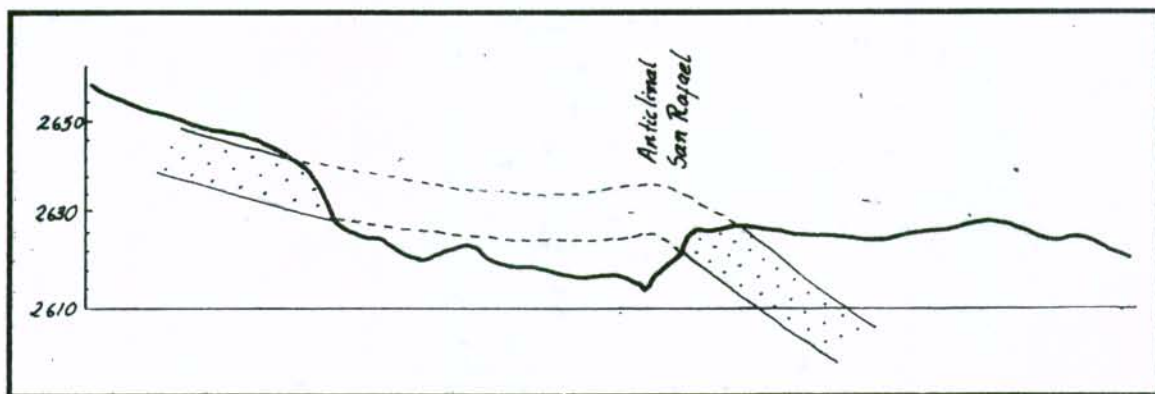


FIGURA 1. ESQUEMA GEOLÓGICO DE LA ZONA APROVECHADA EN LA RECEBERA SANTA RITA. NÓTESE QUE LA RELACION MATERIAL DE INTERÉS / DESCAPOTE NO ERA FAVORABLE HACIA LA DERECHA, LO QUE ACTUALMENTE CORRESPONDE A SAN RAFAEL



**FOTO 18. IMAGEN DE 1952. LA FLECHA MUESTRA EL AREA CORRESPONDIENTE AL ACTUAL BARRIO SAN RAFAEL. OBSÉRVESE QUE LA ZONA ES NATURALMENTE ESTABLE.**

#### **Década 1960-1969**

- (Vuelo C-1058, fotos 1178 y 1179 del 13 de marzo de 1962)

Aun no se ha iniciado la explotación de la cantera. La situación morfodinámica es similar a la de 1955, aunque los procesos de erosión hídrica concentrada se han estabilizado.

#### **Década 1970-1979**

- (Vuelo C1343, fotos 207-208 del 9 de diciembre de 1970)

Ya se ha iniciado la explotación minera, y es evidente a partir de criterios morfológicos su carácter antitéctico, sin taludes de trabajo, bermas o cualquier parámetro económico-geotécnico-minero (Foto 19).

- (Vuelo C1730, fotos 067-068 del 3 de febrero de 1977)

La explotación avanza hacia el sur y hacia el occidente. Los procesos erosivos en la unidad Estructural-Denudacional se han cicatrizado.

#### **Década 1980-1989**

- (Vuelo C2128, fotos 055-056 del 12 de mayo de 1984)

La explotación minera muestra una extensión similar a la actual. El escarpe se ve estable. Se ha construido la vivienda ubicada en la Zona II (vivienda del Palomo), pegada en la parte basal del escarpe, en el extremo oriental del barrio (Foto 20).

#### **Década 1990**

- (Vuelo F-05, año 1991)

La explotación minera continuo su avance hacia el sur y el occidente (Foto 21). El escarpe de



**FOTO 19. IMAGEN DE 1970. LA FLECHA MUESTRA EL AREA CORRESPONDIENTE AL ACTUAL BARRIO SAN RAFAEL. NOTESE LA EXPLOTACIÓN MINERA ANTITÉCNICA Y LA AUSENCIA DE EVIDENCIAS DE INESTABILIDAD EN LAS ZONAS DE ESCARPE NO AFECTADAS POR LA EXTRACCIÓN**

interés (límite de la urbanización hacia el sur) se observa estabilizado, con tonos oscuros que evidencian intemperismo, directamente relacionado con su estabilidad (la tasa de meteorización es mas alta que la tasa de erosión). El escarpe fallado, ubicado fuera de la urbanización, continua siendo trabajado. Además de la casa del Palomo, se ha construido una nueva vivienda adjunta a aquella (Foto 22).

Del análisis histórico se puede concluir que:

- Las rocas que conforman el escarpe paralelo a la manzana K son de buenas características geomecánicas, lo cual se evidencio de la morfología original.

- El escarpe paralelo a la manzana K es estable y si presenta procesos de remoción en masa, estos son puntuales (caídas de detritos y bloques), no retrogresivos. Esta conclusión se soporta además en la existencia de casas en la base del escarpe al menos desde 1984.
- La zona externa al Barrio que ha sido analizada ha sido desestabilizada debido a la explotación minera antitécnica.
- La zona en que se encuentra ubicada la totalidad del Barrio San Rafael presentó procesos pequeños de erosión hídrica concentrada, que se recuperaron naturalmente.



**FOTO 20. IMAGEN DE 1984. LA FLECHA MUESTRA EL AREA CORRESPONDIENTE AL ACTUAL BARRIO SAN RAFAEL. LA EXTRACCIÓN DE MATERIAL CONTINUA, CONCENTRÁNDOSE EN EL COSTADO OPUESTO A SAN RAFAEL. EL CIRCULO MUESTRA LA CASA QUE HA SIDO CONSTRUIDA EN LA PARTE BASAL DEL ESCARPE.**



**FOTO 21. IMAGEN DE 1991. LA FLECHA MUESTRA EL AREA CORRESPONDIENTE AL ACTUAL BARRIO SAN RAFAEL. LAS LABORES DE EXTRACCIÓN HAN CONCLUIDO**



**FOTO 22. DETALLE DE LA FOTO ANTERIOR. NOTESE LA METEORIZACION INCIPIENTE DE LA ARENISCA QUE FORMA EL ESCARPE, CON TONOS GRISES CLAROS Y LAS CASAS EN LA PARTE BASAL.**

## 4. MODELAMIENTO

Este análisis se desarrolló en el numeral 4.3 del capítulo III (Análisis de estabilidad geotécnica)

## 5. ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD AL MOVIMIENTO DE LADERAS (MÉTODO GEOMORFOLÓGICO)

### 5.1. Metodología

La determinación de la susceptibilidad al movimiento se basó en la modificación del método utilizado por León, R., Moreno, G. y Peña, V. (1994), el cual analiza variables que inciden en la estabilidad del terreno. Estas variables son: tipo de roca, pendiente, geoformas, relación entre la estratificación y la pendiente topográfica, fracturamiento, parámetros geomecánicos y pluviosidad. Cada una de estas variables fue caracterizada, ajustada y estimada, dando un valor determinado dentro del total de la susceptibilidad al movimiento para los sectores zonificados.

El valor de cada variable se estimó con base en observaciones de campo e información secundaria (pluviosidad) y su valor porcentual es el siguiente:

Variable	Peso %
Tipo de material	25
Pendiente topográfica	15
Geoforma	10
Fracturamiento	15
Relación estratificación/pendiente	25
Pluviosidad	10

Los rangos de susceptibilidad al movimiento establecidas fueron:

Rango	Calificación
Muy alta	>80
Alta	61-80
Media alta	51-60
Media media	41-50
Media baja	31-40
Baja	<30

Estos rangos están dados de 10 a 100 puntos, siendo 100 el valor que representa la mayor inestabilidad del terreno y 10 la menor.

A continuación se analiza cada una de las variables y su categorización.

#### 5.1.1. Tipo de material (25%)

Cada una de las litologías y suelos existentes en el área presentan una respuesta mecánica diferente ante factores como la meteorización y los esfuerzos, de tal forma que rocas como las areniscas (con buen comportamiento geomecánico) representan zonas de mayor estabilidad, por lo que se les asigna un puntaje bajo. Por el contrario, materiales como las lutitas o los suelos arcillosos presentan comportamientos mecánicos deficientes, representando zonas de inestabilidad, por lo que se les asignan puntajes altos.

La clasificación es la siguiente:

Tipo de material	%
Suelo arcilloso	100
Detritos (fragmentos de suelo y roca)	60
Suelo arenoso	50
Lutitas	50
Arenisca lodosa-lodolitas	30
Arenisca cuarzosa	20

### 5.1.2. Pendientes (15%)

Se establece que el rango de pendientes que presenta mayor desequilibrio cinemático esta entre los 45 y 60° (100 puntos) y el menor entre 0 y 8° (10 puntos). Cabe destacar el hecho que las pendientes mayores de 60° se consideran estabilizadas naturalmente, razón por la cual no se les asigna el mayor puntaje. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la fuerza gravitatoria actúa en forma considerable sobre ellas razón por la cual se da un puntaje de 60.

Rango de pendiente	%
Plano a ligeramente inclinado (0-8°)	10
Moderadamente inclinado (9-13°)	20
Espinado (13-45°)	40
Muy espinado (45-60°)	100
Extremadamente espinado (>60°)	60

### 5.1.3. Geoforma (10%)

Se analizan aquí las geoformas presentes en el área estudiada. Las características morfológicas generales fueron tratadas en el numeral 2 del capítulo III, por lo que se muestra únicamente la calificación de las unidades.

Geoforma	Porcentaje
Ladera coluvial	90
Pendiente estructural	60
Escarpe de contrapendiente	40
Ladera no coluvial	20
Talus	40
Base antigua cantera	20

### 5.1.4. Fracturamiento (15%)

El fracturamiento (asumido aquí como diaclasamiento de las rocas y agrietamiento del suelo) es un factor muy importante, pues mientras mayor sea, mayor será su susceptibilidad a la meteorización y su inestabilidad geotécnica. Las zonas próximas a sistemas de fallas geológicas presentan fracturamiento intenso, ocasionando el debilitamiento de materiales rocosos.

Tipo de fracturamiento	Porcentaje
Fallado	100
Plegado y diaclasado	50
Masivo	10

### 5.1.5. Relación estratificación de rocas vs. pendiente topográfica (25)

La dirección de los estratos y su disposición en relación con la ladera es un factor de gran importancia en la estabilidad de taludes, de tal forma que una disposición horizontal de los estratos en un relieve plano es muy poco susceptible a los movimientos de remoción en masa, mientras que una estratificación a favor de la pendiente de la ladera y mayor al ángulo de fricción interna del material crea condiciones cinemáticamente favorables (100 puntos).

Relación estratificación/pendiente	%
A favor del movimiento	100
En contra del movimiento	50
No estratificado	20

### 5.1.6. Pluviosidad (10%)

Las lluvias y los fenómenos asociados de infiltración y escorrentía son factores importantes en la generación de movimientos en masa. Debido a lo puntual del estudio, se toma como un parámetro no variable espacialmente.

Pluviosidad	Porcentaje
Baja	20

## 6. ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA DEL BARRIO SAN RAFAEL Y ALREDEDORES

Con el análisis de formas y dinámica del relieve, los tipos de material, los parámetros geomecánicos, el análisis de susceptibilidad de laderas al movimiento, unida con la interpretación

URBANIZA



TÉCNICA DEL BARRIO SAN RAFAEL.  
AD BOLIVAR (SANTAFÉ DE BOGOTÁ).



**FOTO 22. PANORÁMICA DE LA ANTIGUA CANTERA SANTA RITA, CON LA ZONIFICACIÓN PROPUESTA. HACIA LA DERECHA, EL ESCARPE QUE CONFORMA EL LÍMITE SUR DEL BARRIO SAN RAFAEL; EN EL CENTRO, LAS CASAS UBICADAS EN LA ANTIGUA CANTERA, QUE SE ENCUENTRAN EN ALTO RIESGO DEBIDO A LA AMENAZA CONSTITUIDA POR LA MASA DE SUELO AFECTADA POR FALLAS SUCESIVAS RETROGRESIVAS. EN LA IMAGEN ESTA SITUACIÓN SE EVIDENCIA EN LO QUE SE OBSERVA EN EL EXTREMO DERECHO. NÓTESE EL ESPESOR DEL SUELO FALLADO (> 2 METROS), EL BUZAMIENTO DE LAS ROCAS PARALELO A LA PENDIENTE TOPOGRÁFICA Y POR LO TANTO FAVORABLE AL DESLIZAMIENTO, EN COMPARACIÓN CON EL ESCARPE ADYACENTE A LA MANZANA K, DONDE EL BUZAMIENTO ES CONTRARIO A LA CARA LIBRE DEL ESCARPE, OCURRIENDO POR TANTO CAÍDAS PUNTUALES DE ROCAS Y DETRITOS Y DONDE ES IMPROBABLE QUE OCURRAN MOVIMIENTOS EN MASA.**



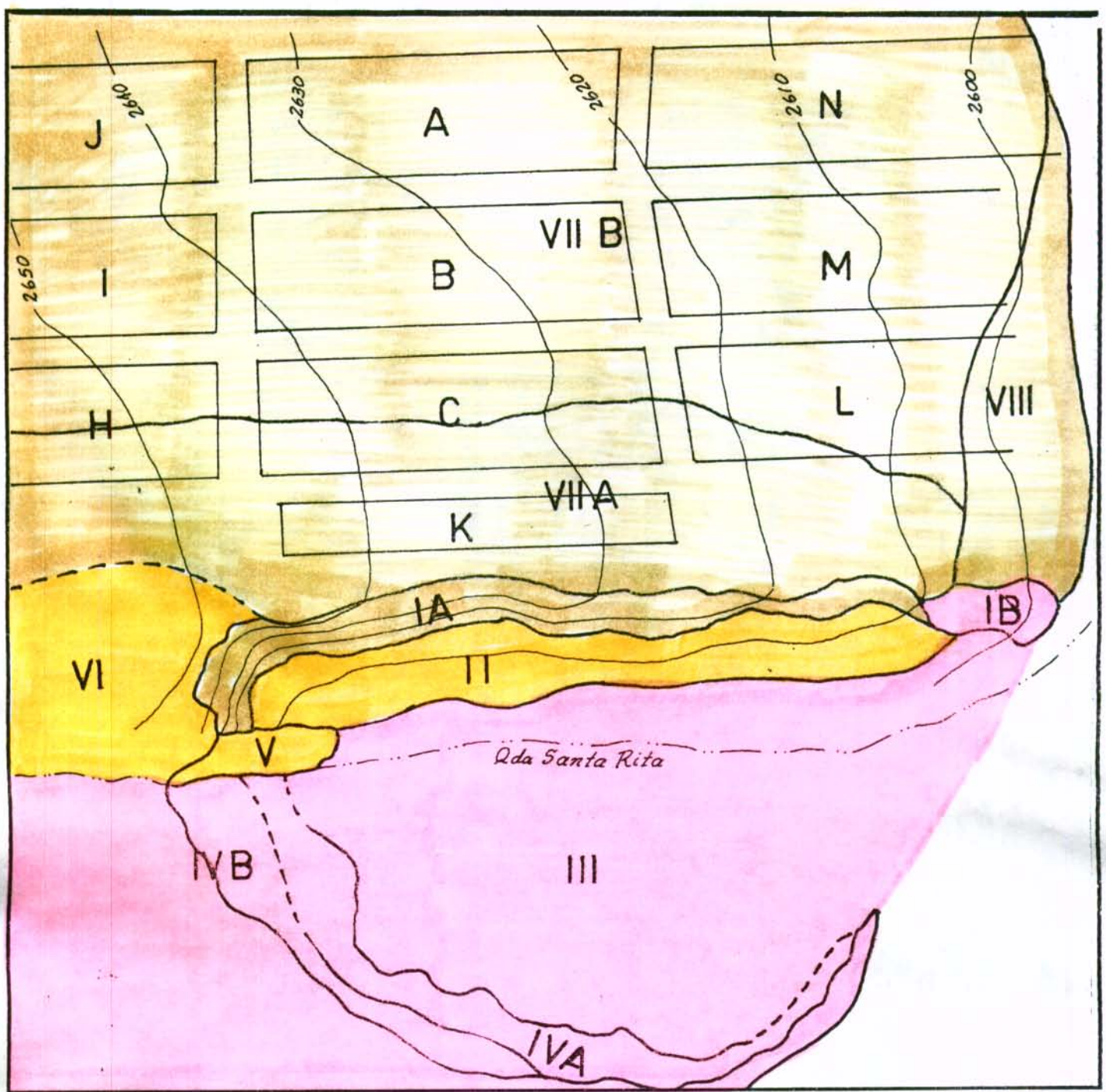


FIGURA 2. ESQUEMA DE ZONIFICACIÓN DE RIESGOS GEOTÉCNICOS. SAN RAFAEL Y AREA ADYACENTE

- |   |   |   |  |
|---|---|---|--|
|  | Zona IA. Escarpe arenisca. Riesgo bajo            |  | Zona V. Talus. Riesgo Medio medio            |
|  | Zona IB. Escarpe arenisca. Riesgo alto            |  | Zona VI. Ladera coluvial. Riesgo Medio medio |
|  | Zona II. Base escarpe, lutitas. Riesgo Medio alto |  | Zona VIIA. Ladera rocosa. Riesgo bajo        |
|  | Zona III. Antigua base recebera. Riesgo alto      |  | Zona VIIB. Ladera rocosa. Riesgo bajo        |
|  | Zona IVA. Escarpe arenisca. Riesgo alto           |  | Zona VIII. Ladera empinada. Riesgo bajo      |
|  | Zona IVB. Suelo fallado. Riesgo Muy alto          |   |  |

de fotografías aéreas, se dividió la zona de estudio, que incluye el barrio San Rafael y áreas adyacentes, en 11 zonas (Figura 2).

A continuación se presenta el análisis zonal del área de estudio, haciendo una breve descripción de cada uno de los sectores, los problemas existentes, la evaluación semicuantitativa de susceptibilidad al movimiento de laderas y las recomendaciones pertinentes.

## 6.1. Zona IA

### Descripción

Se caracteriza por ser una ladera correspondiente al escarpe de contrapendiente de rocas con litología correspondiente a areniscas cuarzosas (Foto 24). Un escarpe se caracteriza geomorfológicamente por desarrollarse sobre rocas resistentes a la erosión, es decir, con características geomecánicas que se pueden calificar como buenas desde un punto de vista cualitativo.

El fracturamiento de las rocas no es intenso, pero la combinación de las diferentes familias de diaclasas y la estratificación definen cuñas y planos (ver numeral 4.2 del capítulo III) causando caídas de roca y detritos. Estos procesos no son intenso y son puntuales, debido a que la estratificación, que

constituye el principal plano de debilidad no es favorable al movimiento. La estabilidad del escarpe se ha evidenciado en el análisis histórico (numeral 3 del presente capítulo).

Las mediciones de parámetros geomecánicos resultó en la definición de una arenisca cuarzosa, con ángulo de fricción ( $\phi'$ ) en la discontinuidad de  $32^\circ$  (criterio conservador), cohesión ( $c'$ ) de 0,1, densidad seca de 2,25 y densidad húmeda de 2,35.

### Evaluación Susceptibilidad al movimiento

Tipo de material	Arenisca cuarzosa
Pendiente	$>60^\circ$
Geoforma	Escarpe de contrapendiente
Fracturamiento	Plegado y diaclasado
Estratificación/pendiente	En contra
Pluviosidad	Baja

**Calificación:** Susceptibilidad al movimiento  
Media baja

### Amenaza

Procesos puntuales de caída de roca y detritos. Pequeñas masas rocosas en voladizo, que presentan grietas de tracción cercanas al escarpe (50 cm.).



**FOTO 24. ZONAS IA Y II. ASPECTO DEL MACIZO ROCOSO CORRESPONDIENTE AL ANTIGUO FRENTE DE LA CANTERA SANTA RITA Y QUE ESTA SEPARADO DE LA MANZANA K POR UNA DISTANCIA MÍNIMA DE 7 METROS. NÓTESE EL ASPECTO METEORIZADO DEL MACIZO ROCOSO, QUE EVIDENCIA SU ESTABILIDAD EN EL TIEMPO. LA CASA QUE SE VE EN HACIA EL EXTREMO INFERIOR DERECHO DE LA IMAGEN SE CONSTRUYÓ EN 1984, Y NO HA SIDO AFECTADA POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA, AUNQUE HAN EXISTIDO CAÍDAS PUNTUALES DE DETRITOS Y FRAGMENTOS ROCOSOS.**

### Vulnerabilidad física

No se encuentran obras de infraestructura ni viviendas que puedan ser afectadas.

### Riesgo

Riesgo bajo. No es zona de riesgo en el momento actual.

### Uso actual y futuro

No tiene uso definido debido a su alta pendiente. Debe preservarse como zona de cesión.

### Recomendaciones

Intentar recuperar mediante revegetalización con especies arbustivas como el retamo. No construir ni utilizar como equipamiento urbano la parte basal.

## 6.2. Zona IB

### Descripción

Es el extremo oriental de la ladera correspondiente al escarpe de contrapendiente de rocas con litología correspondiente a areniscas cuarzosas. En esta zona, la presencia del Anticlinal de San Ra-

fael hace que el buzamiento de las capas arenosas sea paralelo o corresponda a la pendiente topográfica (Foto 25).

El fracturamiento de las rocas, combinado con los planos de estratificación, hacen posible la ocurrencia de fallas planares o cuñas (foto 26). Si el periodo de recurrencia fuera alto, se habría afectado la vivienda ubicada adyacente a esta zona, la cual fue construida en 1984.

Los parámetros geomecánicos de esta unidad están representado por valores del ángulo de fricción que oscila entre 32 y 34 grados.

### Evaluación Susceptibilidad al movimiento

Tipo de material	Arenisca cuarzosa
Pendiente	45-60°
Geoforma	Pendiente estructural
Fracturamiento	Plegado y diaclasado
Estratificación/pendiente	A favor
Pluviosidad	Baja

**Calificación:** Susceptibilidad al movimiento  
Media media

### Amenaza

Media media. Posibilidad de caídas de bloques y detritos gruesos, por fallas planares o cuñas.



**FOTO 25. SEGÚN LA INTERPRETACION CINEMÁTICA DE ESTA ZONA, LA PROBABILIDAD DE FALLAS PLANARES ES BAJA PUES EL ÁNGULO DE ESTRATIFICACIÓN ES MAS BAJO QUE EL ANGLULO DE FRICCIÓN. (ZONA IIB).**



**FOTO 26. ZONA IB, DONDE EL MACIZO ROCOSO SE ENCUENTRA MAS FRACTURADO, PERO ES TAMBIÉN LA ZONA EN QUE EL ESCARPE ES MAS BAJO. LA PARTE ALTA DE ESTA ZONA NO SERÁ URBANIZADA. NÓTESE LA VEGETACIÓN XERÓFITA, TÍPICA DE ZONAS CON PRECIPITACIONES MUY BAJAS.**

### Vulnerabilidad física

Alta. Las viviendas de invasión ubicadas en la margen izquierda de la quebrada Santa Rita, ajenas al Barrio San Rafael pueden ser afectadas.

### Riesgo

Zona de riesgo alto, en viviendas que no pertenecen al barrio San Rafael. Período de recurrencia de eventos bajo.

### Uso actual y futuro

No tiene uso definido debido a su alta pendiente. Debe preservarse como zona de cesión.

### Recomendaciones

Intentar recuperar mediante revegetalización con especies arbustivas como el retamo. No construir ni utilizar como equipamiento urbano la parte basal.

## 6.3. Zona II

### Descripción

Parte basal de la ladera correspondiente al escarpe de contrapendiente, desarrollada sobre

rocas lutíticas (ver foto 24). Las lutitas presentan pequeños procesos erosivos de tipo hídrico concentrado (surcos) debido principalmente a la precipitación sobre la cara libre del talud (las aguas de la parte alta del escarpe drenan hacia el barrio).

El fracturamiento de las rocas se caracteriza por la falta de definición de los planos de debilidad (a excepción de la estratificación), lo cual resulta en fracturamiento superficial en detritos finos (diámetro promedio de 1 cm). Si no se controla la erosión de esta unidad pueden presentarse procesos puntuales no masivos de erosión diferencial.

La relación estratificación pendiente no es favorable al movimiento.

Las mediciones de parámetros geomecánicos dio como resultado un ángulo de fricción ( $\phi$ ) de  $34^\circ$ , cohesión ( $c$ ) de  $0,1 \text{ kg/cm}^2$ , densidad seca de 1,59 y densidad húmeda de 1,94.

### Evaluación Susceptibilidad al movimiento

Tipo de material	Lutita
Pendiente	45-60°
Geoforma	Escarpe de contrapendiente
Fracturamiento	Plegado y diaclasado
Estratificación/pendiente	En contra
Pluviosidad	Baja

**Calificación:** Susceptibilidad al movimiento  
Media media

#### Amenaza

Media media. Procesos puntuales de caída de detritos finos. Posibilidad de puntos con erosión diferencial por mayor resistencia de las rocas arenosas que se encuentran sobre las lutitas.

#### Vulnerabilidad física

Alta. Algunas viviendas de invasión (ajenas al barrio San Rafael) se encuentran cercanas a este sector.

#### Riesgo

Riesgo Medio alto sobre viviendas ajenas a San Rafael.

#### Uso actual y futuro

La parte mas baja y plana de esta zona contiene dos (2) viviendas de invasión, ajenas al Barrio San Rafael. Sus habitantes deben ser reubicados, las viviendas demolidas y la zona ser adecuada para el equipamiento municipal.

#### Recomendaciones

Revegetalizar con Retamo (*Cytissus Monspe sublanus*) FABACEAE, Hayuelo (*Dodonea viscosa*) SAPINDACEAE, Chicalá (*Tecoma Stans*) BIGNONIACEAE, Chilco (*Bacharis Sp.*) ASTERACEAE, Chusque (*Chusquea tessellata*), Arbol loco (*Polymnia pyramidale*) ASTERACEAE, Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) Abutilon (*Abutilon Sp.*) MALVACEAE.

## 6.4. Zona III

#### Descripción

Corresponde a la base de la antigua cantera Santa Rita, y esta constituida por las lutitas de la unidad geológica Tk<sub>gm</sub><sub>1</sub>. Es posible que en la ex-

plotación minera se llegara hasta la base de las areniscas (objetivo exploratorio), encontrándose con el nivel de lutitas no explotables. La pendiente de esta zona es de moderadamente inclinada a empinada y esta cortada por la quebrada Santa Rita, que forma pequeños barrancos (Ver foto 23).

En la metodología se asume el material como no estratificado debido a que no hay cortes que hagan cinemáticamente posible el movimiento.

En esta zona, el material arcilloso no esta sujeto a movimientos debido a su baja pendiente. No se observaron procesos mayores de socavación por parte de la quebrada Santa Rita.

#### Evaluación Susceptibilidad al movimiento

Tipo de material	Lutita y aluvial-torrencial
Pendiente	9-13°
Geoforma	Base antigua cantera
Fracturamiento	Masivo
Estratificación/pendiente	No estratificado
Pluviosidad	Baja

**Calificación:** Susceptibilidad al movimiento  
Baja

#### Amenaza

Alta. La principal amenaza sobre esta zona no es su propia susceptibilidad al movimiento, sino el hecho que allí convergen las pendientes que la rodean, es decir, es un hueco. Algunas de las laderas adyacentes (zona IV) son extremadamente inestables y se encuentran agrietadas.

Al menos durante los años de 1997 y 1998 se observaron deslizamientos retrogresivos ubicados en la zona IV que se constituyeron en factores de amenaza.

#### Vulnerabilidad física

Alta. En este lugar se ubican aproximadamente 15 viviendas de invasión, ajenas al Barrio San Rafael.

### Riesgo

Riesgo alto sobre viviendas ajenas al barrio San Rafael.

### Uso actual y futuro

Esta zona contiene viviendas de invasión, ajenas al Barrio San Rafael. Sus habitantes deben ser reubicados, las viviendas demolidas y la zona ser adecuada para el equipamiento municipal.

### Recomendaciones

Priorización de zonas de alto riesgo, mediante la definición de posibles métodos de estabilización de los taludes de la zona IV. Determinación de la reducción de la vulnerabilidad física. Si se determina mediante un estudio detallado el riesgo, será necesaria la reubicación de los habitantes establecidos en la zona. Se recomienda considerar la alternativa de utilizar la cantera como un eventual relleno controlado.

## 6.5. Zona IVA

### Descripción

Parte basal de la ladera correspondiente a la pendiente estructural situada al sur del barrio San Rafael, desarrollada sobre rocas de litología de areniscas cuarzosas. Las rocas presentan buenas características geomorfológicas (sus características geomecánicas se pueden asumir similares a las de la zona IIA) y fueron el objetivo minero de la antigua Cantera Santa Rita (ver foto 23).

Las rocas no se encuentran muy fracturadas, pero se presentan pequeños procesos de caída por volteo y deslizamientos planares, favorecidos por la relación estratificación/pendiente.

El análisis histórico muestra que la zona era originalmente estable a nivel de substrato roco-

so, pero el hecho de remover la parte basal del talud desestabilizó la ladera.

### Evaluación Susceptibilidad al movimiento

Tipo de material	Arenisca cuarzosa
Pendiente	45-60°
Geoforma	Pendiente estructural
Fracturamiento	Plegado y diaclasado
Estratificación/pendiente	A favor
Pluviosidad	Baja

**Calificación:** Susceptibilidad al movimiento  
Alta

### Amenaza

Alta. Procesos puntuales de caída de bloques y detritos gruesos. Masas rocosas en voladizo.

### Vulnerabilidad física

Alta. En la parte baja se encuentran viviendas de invasión.

### Riesgo

Zona de riesgo alto sobre viviendas ajenas a San Rafael.

### Uso actual y futuro

No tiene uso definido debido a su alta pendiente. Debe preservarse como zona de cesión.

### Recomendaciones

Priorización de zonas de alto riesgo, mediante la definición de posibles métodos de estabilización de los taludes de la zona IV. Determinación de la reducción de la vulnerabilidad física. Si se determina mediante un estudio detallado el riesgo, será necesaria la reubicación de los habitantes establecidos en la zona. Se recomienda considerar la alternativa de utilizar la cantera como un eventual relleno controlado.

## 6.6. Zona IVB

### Descripción

Cobertura de suelo arcilloso espeso (>2m) correspondiente a la pendiente estructural de rocas arenosas. El suelo es predominantemente arcilloso, con niveles orgánicos en la parte superior (ver foto 23).

Los suelos se encuentran agrietados, defendiéndose un movimiento rotacional retrogresivo que está limitado en la parte inferior por el contacto suelo-roca (arenisca cuarzosa). Esta interfase constituye el plano de despegue principal debido al cambio en la permeabilidad, con lo cual se concentran los flujos que penetran por las grietas de tracción, facilitando el movimiento (foto 27). El análisis histórico muestra que el uso del suelo para cultivos limpios causó la aparición de procesos erosivos hídricos concentrados (surcos y cárcavas).

### Evaluación Susceptibilidad al movimiento

Tipo de material	Suelo arcilloso
Pendiente	45-60°
Geoforma	Pendiente estructural
Fracturamiento	Fallado
Estratificación/pendiente	A favor
Pluviosidad	Baja

**Calificación:** Susceptibilidad al movimiento  
Muy alta

### Amenaza

Alta. Grandes bloques de suelo que caen hacia la zona III, avanzando por deslizamiento planar o por volteo.

### Vulnerabilidad

Alta. En la parte baja se encuentran viviendas de invasión.

### Riesgo

Zona de riesgo muy alto, sobre áreas ajenas a la Urbanización San Rafael. Este proceso pone en riesgo la invasión de la parte baja y teniendo en cuenta su avance ladera arriba puede afectar una invasión situada en la parte alta.

### Uso actual y futuro

El uso actual de esta zona son pastos no mejorados. Esta zona debe ser reservada como zona verde debido a la amenaza por el deslizamiento retrogresivo, proceso que es activo.



**FOTO 27. DETALLE DEL MATERIAL AFECTADO POR EL FENÓMENO DE REMOCIÓN EN MASA DE LA ZONA IVB.**

### Recomendaciones

Manejo de aguas superficiales mediante construcción de zanjas de corona, construcción de alcantarillados en el asentamiento de la parte alta y relleno de grietas de tracción con materiales arcillosos. Priorización de zonas de alto riesgo, mediante la definición de posibles métodos de estabilización de los taludes de la zona IV. Determinación de la reducción de la vulnerabilidad física. Si se determina mediante un estudio detallado el riesgo, será necesaria la reubicación de los habitantes establecidos en la zona. Se recomienda considerar la alternativa de utilizar la cantera como un eventual relleno controlado.

## 6.7. Zona V

### Descripción

Parte basal de la ladera correspondiente al escarpe de contrapendiente, ubicado en el extremo occidental, constituido por los bloques y detritos caídos de la zona del escarpe en que este se encuentra fallado.

Los detritos no se encuentran dentro de una masa aglutinante y la pendiente de este depósito es muy empinada, razones que lo hacen susceptible al movimiento (foto 28).

### Evaluación Susceptibilidad al movimiento

Tipo de material	Detritos
Pendiente	45-60°
Geoforma	Talus
Fracturamiento	Fallado
Estratificación/pendiente	No estratificado
Pluviosidad	Baja

**Calificación:** Susceptibilidad al movimiento  
Alta

### Amenaza

Alta. Posibilidad de movimiento del material ladera abajo.

### Vulnerabilidad física

Baja. Las viviendas de invasión se encuentran separadas de esta zona por la incisión de la quebrada Santa Rita, que actuaría como barrera.

### Riesgo

Riesgo medio medio, no involucra viviendas de San Rafael.

### Uso actual y futuro

No hay uso actual definido.



**FOTO 28. DETALLE DEL MATERIAL AFECTADO POR EL FENÓMENO DE REMOCIÓN EN MASA DE LA ZONA IVB.**



### Recomendaciones

Recuperar mediante revegetalización con especies que entran raíces como el Chusque. Evitar colmatación de quebrada con basuras mal dispuestas para evitar socavación.

## 6.8. Zona VI

### Descripción

Esta ladera es natural y el análisis histórico muestra que era originalmente estable. Esta compuesta por roca muy fracturada, que se aproxima al comportamiento de un coluvión. La desestabilización se dio, como en el caso de la zona IV por la pérdida del soporte basal, que le quitó el confinamiento a la totalidad de la masa (foto 29).

#### Evaluación Susceptibilidad al movimiento

Tipo de material	Detritos
Pendiente	14-45°
Geoforma	Ladera coluvial
Fracturamiento	Fallado
Estratificación/pendiente	No estratificado
Pluviosidad	Baja

**Calificación:** Susceptibilidad al movimiento  
Media alta

### Amenaza

Media alta. Grietas de tracción que pueden patrocinar pequeños movimientos retrogresivos.

### Vulnerabilidad

Baja. No hay viviendas en la parte baja de esta zona. Tampoco se encuentran viviendas cercanas en la parte alta.

### Riesgo

Medio medio. No involucra las viviendas de San Rafael.

### Uso actual y futuro

La parte alta esta cubierta por pastos no manejados, pero puede ser urbanizada, cosa que debe ser evitada. El área propiedad del urbanizador de San Rafael y que se ubica sobre esta zona no será urbanizada y corresponde a la Zona Verde No. 1.

### Recomendaciones

Recuperar mediante revegetalización con especies arbustivas como el retamo. Manejo de aguas mediante zanjas de corona que entreguen a la quebrada Santa Rita.



**FOTO 29. QUEBRADA SANTA RITA, EN LA PARTE IZQUIERDA DE LA IMAGEN SE NOTA LA ZONA DE SUELO INESTABLE CON FALLA RETROGRESIVA QUE INVOLUCRA SUELOS ARCILLOSOS Y UN NIVEL SUPERIOR DE TURBAS (ZONA V). EN LA PARTE DERECHA, EL FLANCO SUR DEL ANTICLINAL DE SAN RAFAEL, CON ALTO GRADO DE FRACTURAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO, SOBRE LA QUE SE DESARROLLA LA LADERA DE LA ZONA VI.**

## 6.9. Zona VIIA

### Descripción

La zona VII A corresponde al actual barrio San Rafael, Manzanas K y parte de la manzanas H, C y L las cuales se construyeron sobre la unidad Tk<sub>gm</sub>2 (foto 30). Esta unidad esta cubierta por suelos arenosos, con una capa de turba. Sin embargo, la cimentación de las viviendas se realiza directamente sobre es substrato rocoso.

La morfología de esta zona se puede asumir como un plano inclinado en promedio 20° hacia el occidente, es decir una morfología tabular (estructural).

### Evaluación Susceptibilidad al movimiento

Tipo de material	Arenisca cuarzosa
Pendiente	14-45°
Geoforma	Ladera no coluvial (Estructural)
Fracturamiento	Plegado y diaclasado
Estratificación/pendiente	En contra
Pluviosidad	Baja

**Calificación:** Susceptibilidad al movimiento  
Media baja

### Amenaza

Media baja. Procesos erosivos hídricos concentrados (surcos) en las calles paralelas a la pendiente. Caída de pequeñas masas en la corona del escarpe que limita la zona hacia el norte. El retroceso histórico del escarpe luego que se detuvo su laboreo minero es imperceptible.

### Vulnerabilidad

Baja. Viviendas cimentadas sobre roca y no sobre suelo, con estructuras con requisitos de calidad aceptables. Se puede inducir vulnerabilidad física si se permite el crecimiento de casas de la Manzana K hacia la corona del escarpe.

### Riesgo

Riesgo bajo

### Uso actual y futuro

Se encuentran construidas 9 casas de la manzana K y quedan 9 lotes por construir. La mayor parte de la zona es zona verde (parte de la Zona verde No. 1) o áreas de reserva (el corredor ubi-



**FOTO 30. PLANCHA PARA EL SEGUNDO PISO (MANZANA K). NÓTESE LA DISTANCIA AL ESCARPE (1) QUE CONSTITUYE LA ZONA IA; LA VULNERABILIDAD FÍSICA ACTUAL ES BAJA, PERO SI LAS CONSTRUCCIONES AVANZAN HACIA EL ESCARPE, LA VULNERABILIDAD AUMENTARÁ, RAZÓN POR LA CUAL SE PROPONE LA CONSTRUCCIÓN DE UN MURO QUE IMPIDA DICHA SITUACIÓN.**

cado entre la manzana K y el escarpe correspondiente a la Zona IA. Las casas 19 a 32 que originalmente se iban a construir, serán reemplazadas por zona de cesión.

### Recomendaciones

Para evitar que se induzca vulnerabilidad física por avance de los lotes y construcciones de la Manzana K hacia el escarpe se debe construir una forma de barrera, que puede ser de malla eslabonada cimentada en concreto ciclópeo, combinada con cercas vivas, utilizando las especies ya indicadas.

La cimentación de las viviendas por construir en esta zona deben seguir los parámetros mínimos que han sido utilizados por las casas ya construidas y que fueron descritos en el capítulo IV.

## 6.10. Zona VIIB

### Descripción

Sobre esta zona se asientan las manzanas A, B, I, J, M, N y parte de las manzanas C, H y L, ocupando la mayor parte del Barrio San Rafael.

Esta zona es ondulada, desarrollada sobre litologías correspondientes a areniscas lodosas

(foto 31). Las areniscas se encuentran plegadas y la relación entre la estratificación de las capas y la pendiente del terreno no favorece el movimiento.

Originalmente presentaba pequeños drenajes, que fueron rellenados durante el proceso de adecuación del terreno.

Las mediciones de parámetros geomecánicos del substrato rocoso son similares a las registradas en la zona IA. Sin embargo, sobre esta unidad existen suelos de tipo arcilloso con las siguientes características: ángulo de fricción interno ( $\phi'$ ) de  $34^\circ$ , cohesión de  $0,1 \text{ kg./cm}^2$ , densidad seca de  $1,65$  y densidad húmeda de  $1,92$ .

### Evaluación Susceptibilidad al movimiento

Tipo de material	Arenisca lodosa
Pendiente	$14-45^\circ$
Geoforma	Ladera no coluvial (Estructural-denudacional)
Fracturamiento	Plegado y diaclasado
Estratificación/pendiente	En contra
Pluviosidad	Baja

**Calificación:** Susceptibilidad al movimiento  
Media baja



**FOTO 31.** LA CIMENTACIÓN DE LA FUTURA VIVIENDA A CONSTRUIR SE ENCUENTRA DIRECTAMENTE SOBRE UN NIVEL ROCOSO DE BUENAS CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS (ZONA VIIB).

**Amenaza**

Media baja: Procesos erosivos hídricos concentrados (surcos) en las calles paralelas a la pendiente.

**Vulnerabilidad**

Baja. Viviendas cimentadas sobre roca y no sobre suelo, con estructuras con requisitos de calidad aceptables.

**Riesgo**

Riesgo bajo

**Uso actual y futuro**

La mayor parte del barrio en esta zona ya se encuentra construida. El uso actual coincide con el futuro.

**Recomendaciones**

La cimentación de las viviendas por construir en esta zona deben seguir los parámetros mínimos que han sido utilizados por las casas ya construidas y que fueron descritos en el capítulo IV.

**6.11. Zona VIII****Descripción**

Esta zona presenta materiales geomecánicos similares a la zona VIIB, pero presenta pendientes muy empinadas (Foto 32).

La relación estratificación pendiente no es favorable al movimiento (Foto 33).

Las mediciones de parámetros geomecánicos pueden asumirse como las de la zona VII.

**Evaluación Susceptibilidad al movimiento**

Tipo de material	Arenisca lodosa
Pendiente	14-45°
Geoforma	Escarpe de contrapendiente
Fracturamiento	Plegado y diaclasado
Estratificación/pendiente	En contra
Pluviosidad	Baja

**Calificación:** Susceptibilidad al movimiento  
Media

**Amenaza**

Media media

**Vulnerabilidad**

Baja, no existen construcciones

**Riesgo**

Riesgo Bajo

**Uso actual y futuro**

Debe usarse como zona verde o de equipamiento urbano.

**Recomendaciones**

Recuperar zonas que presentan pequeños procesos erosivos difusos mediante revegetalización con las especies recomendadas.

La construcción de viviendas en este sector debe condicionarse a la construcción de un muro de contención en la parte baja y un relleno realizado de manera técnica.



**FOTO 32. QUEBRADA SANTA RITA, UBICADA EN EL LÍMITE ORIENTAL DEL BARRIO SAN RAFAEL. EN LA PARTE SUPERIOR, EL ACCESO AL BARRIO, QUE CORTA LA UNIDAD GEOLÓGICA TKGM1 Y QUE LIMITA LA ZONA VIII AL ORIENTE.**



**FOTO 33. ACCESO AL PREDIO SAN RAFAEL. LA ZONA DE ALTA PENDIENTE QUE SE MUESTRA (ZONAS IIA Y VIII) NO SERÁ URBANIZADA Y SE CONSTITUIRÁ EN UN ÁREA DE CESIÓN.**

## CAPÍTULO VI

### RECOMENDACIONES

Se dan las recomendaciones de acuerdo con la sectorización llevada a cabo en este estudio, reiterando las medidas del capítulo V, numeral 6.

• **Zonas IA y IB:**

- Intentar recuperar mediante revegetalización con especies arbustivas como el retamo.
- No construir ni utilizar como equipamiento urbano la parte basal.

• **Zona II:**

- Revegetalizar con especies preferiblemente nativas. Este sector ha probado ser fácilmente revegetalizable, pues sobre el se desarrollan especies arbustivas. Se recomienda:

Retamo (*Cytissus Monspe sublanus*) FABACEAE

Hayuelo (*Dodonea viscosa*) SAPINDACEAE

Chicalá (*Tecoma Stans*)BIGNONIACEAE

Chilco (*Bacharis Sp.*) ASTERACEAE

Chusque (*Chusquea tessellata*)

Arbol loco (*Polymnia pyramidale*) ASTERACEAE

Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*)

Abutilon (*Abutilon Sp.*) MALVACEAE.

• **Zonas III y IV:**

- Priorización de zonas de alto riesgo, mediante la definición de posibles métodos de estabilización de los taludes de la zona IV.
- Determinación de la reducción de la vulnerabilidad física. Si se determina mediante un estudio detallado el riesgo, será necesaria la reubicación de los habitantes establecidos en la zona.
- Se recomienda considerar la alternativa de utilizar la cantera como un eventual relleno controlado.
- Adicionalmente para la zona IVB, Manejo de aguas superficiales mediante construcción de zanjas de corona, construcción de alcantarillados en el asentamiento de la parte alta y relleno de grietas de tracción con materiales arcillosos.

---

- **Zona V**

- Recuperar mediante revegetalización con especies que entran raíces como el Chusque para amarrar los fragmentos sueltos del talus.
- Evitar colmatación de la quebrada Santa Rita con basuras mal dispuestas para evitar socavación o desbordes.

- **Zona VI**

- Recuperar mediante revegetalización con especies arbustivas como el retamo y las dadas en el listado de la zona II.
- Manejo de aguas mediante zanjas de corona que entreguen a la quebrada Santa Rita.

- **Zona VIIA**

- Para evitar que se induzca vulnerabilidad física por avance de los lotes y construcciones de la Manzana K hacia el escarpe se debe construir una forma de barrera, que puede ser de malla eslabonada cimentada en concreto ciclópeo, combinada con cercas vivas, utilizando las especies ya indicadas.
- La cimentación de las viviendas por construir en esta zona deben seguir los parámetros mínimos que han sido utilizados por las casas ya construidas y que fueron descritos en el capítulo IV.

- **Zona VIIB**

- La cimentación de las viviendas por construir en esta zona deben seguir los parámetros mínimos que han sido utilizados por las casas ya construidas y que fueron descritos en el capítulo IV.

- **Zona VIII**

- Recuperar zonas que presentan pequeños procesos erosivos difusos mediante revegetalización con las especies recomendadas.
- La construcción de viviendas en este sector debe condicionarse a la construcción de un muro de contención en la parte baja y un relleno realizado de manera técnica.

## REFERENCIAS CITADAS

- ARBOLEDA, G. & GARCÍA, E. 1990. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO GEOTÉCNICO DE LAS UNIDADES AFLORANTES Y EVALUACIÓN DEL RIESGO GEOTÉCNICO EN LOS CAMPOS PETROLEROS BALCÓN, SANTA CLARA Y COLOMBINA, HUILA, COLOMBIA. TR. DE GRADO, DEPARTAMENTO DE GEOCIENCIAS, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. BOGOTÁ.
- CARDONA, O. 1993. PREVENCIÓN DE DESASTRES Y MITIGACIÓN DE RIESGOS EN LA PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO. MEMORIAS PLANEACIÓN EN LA PREVENCIÓN DE DESASTRES. CIDER - OPES. BOGOTÁ.
- HOEK, E. & J.W. BRAY. 1977. ROCK SLOPE ENGINEERING. 2ND. EDITION. THE INSTITUTION OF MINING AND METALURGY. LONDON.
- INGEOMINAS-PLANEACIÓN DISTRITAL. 1988, ZONIFICACION GEOTÉCNICA DE BOGOTÁ CONVENIO 200-86. BOGOTÁ.
- INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS COMMISSION ON STANDARDIZATION OF LABORATORY FIELD TESTS ISRM, 1978
- JULIVERT 1968. LEXIQUE STRATIGRAPHIQUE AMERIQUE LATINE. VOL V, FASCICULE 4A. COLOMBIE. PARIS.
- LEÓN, R., MORENO, G. Y PEÑA, V. 1994, ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y GEOLOGÍA DEL ÁREA COMPRENDIDA ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ALBÁN Y VILLETÁ. TRABAJO DE GRADO, DEPARTAMENTO DE GEOCIENCIAS, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. BOGOTÁ.



# ANEXOS



# ANEXO ENSAYOS





**SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**GREGORIO ROJAS & CIA. LTDA.**  
**CALLE 80 No. 51 - 64**  
**TELEFAX : 2 - 25 - 47 - 60**

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

JLR

PROYECTO :	BARRIO "SAN RAFAEL"	FECHA:	Junio 17/97
CLIENTE :	GEÓLOGO JHON JAIRO GIRALDO		
SONDEO :	2	MUESTRA:	SUPERFICIAL
DESCRIPCIÓN :	ARCILLOLITA DE COLOR HABANA AMARILLENTO		
OBSERVACIONES :	INUNDADO		

DIAMETRO Do	5.08	cm
ALTURA Ho	2.76	cm
AREA INICIAL Ao	20.27	cm <sup>2</sup>
VOLUMEN Vo	55.94	cm <sup>3</sup>
PESO SUELO W t	113.90	g
CARGA NORMAL	20.000	Kg
ESFUERZO NORMAL	0.987	Kg/cm <sup>2</sup>
ALTURA DESP. CONS.	2.763	cm
ALTURA FINAL	2.698	cm

ANILLO CARGA No.	1	No.
CONSTANTES	0.082343	1
CONSTANTES	0.081700	2-1
CONSTANTES	0.212230	2-2
PESO UNIT. TOTAL	2.036	g / cm <sup>3</sup>
PESO UNIT. SECO	1.713	g / cm <sup>3</sup>

HUMEDAD	
INICIAL	FINAL
83.5	133.4
73.0	108.0
17.3	16.4
18.85%	27.73%

ETAPA DE CONSOLIDACION		
Def. inicial	251	*10E-3in
Def. final	252	*10E-3in
Delta	-0.0025	cm
T. consol.		min

TIEMPO	LECT. ANILLO *10E - 4 in	DEFORMACION		FUERZA CORTE Kg	AREA CORREG. cm <sup>2</sup>	ESFUERZO		DEFORMACION		RELACION Tao/Sig
		HORIZ. *10E-3in	VERT. *10E-3in			NORMAL Kg/cm <sup>2</sup>	CORTE Kg/cm <sup>2</sup>	VERTICAL %	HORIZONTAL %	
0:00:00	0	0.0	256	0.00	20.27	0.987	0.000	0.000	0.000	0.000
0:02:40	38	5.0	256	3.13	20.20	0.990	0.155	0.000	0.250	0.156
0:05:07	80	10.0	255	6.59	20.14	0.993	0.327	-0.092	0.500	0.329
0:08:09	117	15.0	254.5	9.63	20.07	0.996	0.480	-0.138	0.750	0.482
0:10:45	153	20.0	254	12.60	20.01	0.999	0.630	-0.184	1.000	0.630
0:15:53	210	30.0	253.5	17.29	19.88	1.006	0.870	-0.230	1.500	0.865
0:20:41	233	40.0	252.5	19.19	19.75	1.013	0.971	-0.322	2.000	0.959
0:28:31	260	60.0	251.5	21.41	19.49	1.026	1.098	-0.414	3.000	1.070
0:35:39	247	80.0	252	20.34	19.24	1.040	1.057	-0.368	4.000	1.017
0:41:33	233	100.0	253	19.19	18.98	1.054	1.011	-0.276	5.000	0.959
0:47:45	229	120.0	254	18.86	18.72	1.068	1.007	-0.184	6.000	0.943
0:53:40	220	140.0	255	18.12	18.46	1.083	0.981	-0.092	7.000	0.906
0:59:40	213	160.0	255.5	17.54	18.21	1.099	0.963	-0.046	8.000	0.877
1:05:42	204	180.0	256	16.80	17.95	1.114	0.936	0.000	9.000	0.840
1:11:32	196	200.0	257	16.14	17.69	1.130	0.912	0.092	10.000	0.807
1:17:20	189	220.0	257	15.56	17.44	1.147	0.893	0.092	11.000	0.778
1:23:10	184	240.0	257.5	15.15	17.18	1.164	0.882	0.138	12.000	0.758
1:29:00	180	260.0	257.5	14.82	16.92	1.182	0.876	0.138	13.000	0.741
1:35:00	175	280.0	258	14.41	16.67	1.200	0.865	0.184	14.000	0.721
1:40:41	174	300.0	258.5	14.33	16.41	1.219	0.873	0.230	15.000	0.716
1:46:27	173	320.0	258.5	14.25	16.16	1.238	0.882	0.230	16.000	0.712
1:52:25	172	340.0	258.5	14.16	15.90	1.258	0.891	0.230	17.000	0.708
1:59:10	171	360.0	258.8	14.08	15.65	1.278	0.900	0.257	18.000	0.704
	169	380.0	258.8	13.92	15.39	1.299	0.904	0.257	19.000	0.696
2:13:04	166	400.0	259	13.67	15.14	1.321	0.903	0.276	20.000	0.683

LABORATORISTA

GREGORIO ROJAS ROJAS

# SUELOS Y PAVIMENTOS

## GREGORIO ROJAS & CIA. LTDA.

CALLE 80 No. 51 - 64  
TELEFAX : 2 - 25 - 47 - 60

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

JLR

PROYECTO :	BARRIO "SAN RAFAEL"	FECHA:	Junio 17/97
CLIENTE :	GEÓLOGO JHON JAIRO GIRALDO		
SONDEO :	2	MUESTRA:	SUPERFICIAL
DESCRIPCION :	ARCILLOLITA DE COLOR HABANA AMARILLENTO		
OBSERVACIONES:	INUNDADO		

DIAMETRO Do	5.08	cm
ALTURA Ho	2.43	cm
AREA INICIAL Ao	20.27	cm <sup>2</sup>
VOLUMEN Vo	49.25	cm <sup>3</sup>
PESO SUELO W t	101.00	g
CARGA NORMAL	40.000	Kg
ESFUERZO NORMAL	1.974	Kg/cm <sup>2</sup>
ALTURA DESP. CONS.	2.417	cm
ALTURA FINAL	2.341	cm

ANILLO CARGA No.	2	No.
CONSTANTES	0.082343	1
CONSTANTES	0.081700	2-1
CONSTANTES	0.212230	2-2
PESO UNIT. TOTAL	2.051	g / cm <sup>3</sup>
PESO UNIT. SECO	1.732	g / cm <sup>3</sup>

HUMEDAD	
INICIAL	FINAL
75.5	120.3
66.6	100.3
18.2	17.8
18.39%	24.24%

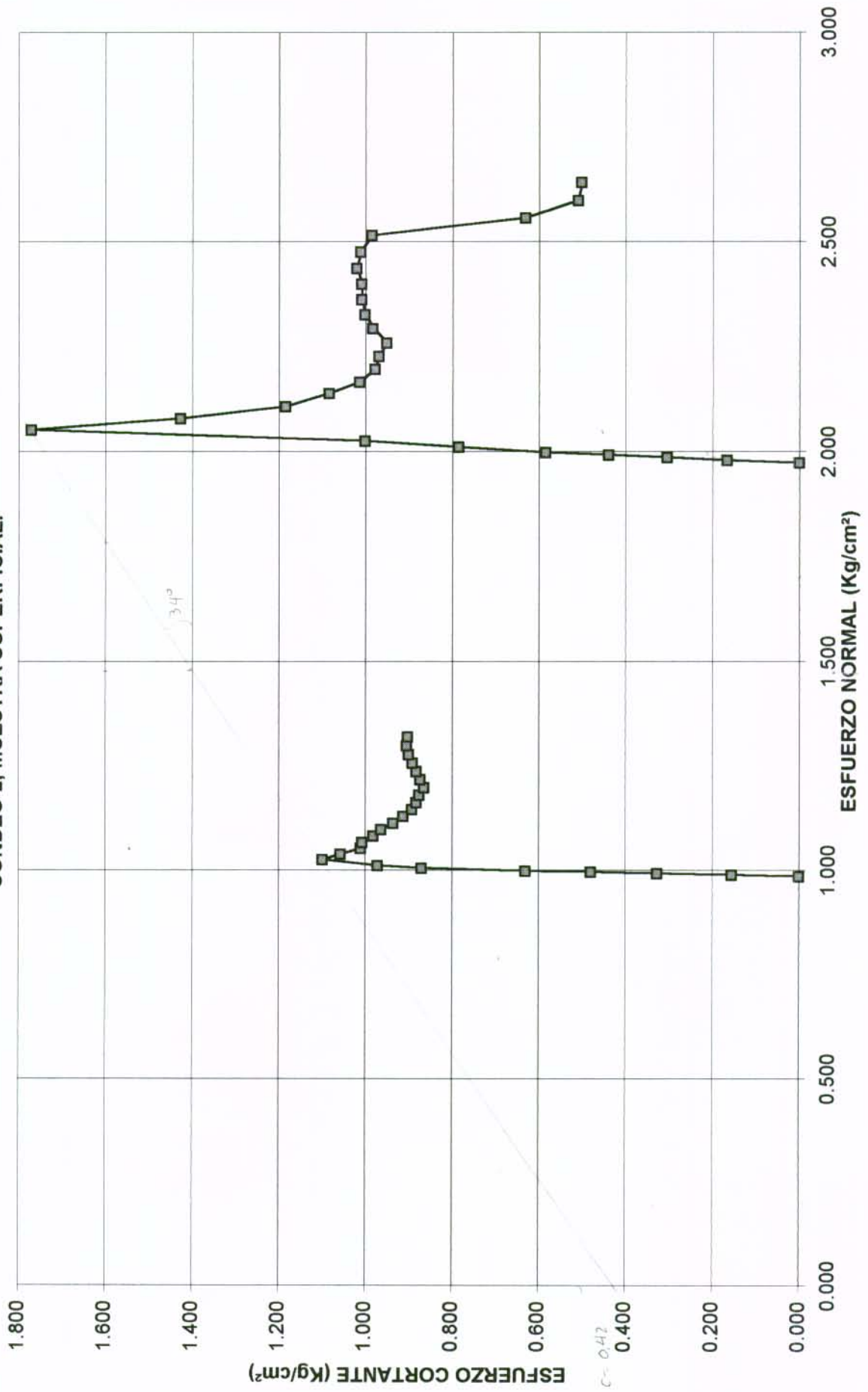
ETAPA DE CONSOLIDACION		
Def. inicial	323	*10E-3in
Def. final	318	*10E-3in
Delta	0.0127	cm
T. consol.		min

TIEMPO	LECT. ANILLO *10E - 4 in	DEFORMACION		FUERZA CORTE Kg	AREA CORREG. cm <sup>2</sup>	ESFUERZO		DEFORMACION		RELACION Tao/Sig
		HORIZ. *10E-3in	VERT. *10E-3in			NORMAL Kg/cm <sup>2</sup>	CORTE Kg/cm <sup>2</sup>	VERTICAL %	HORIZONTAL %	
0:00:00	0	0.0	300	0.00	20.27	1.974	0.000	0.000	0.000	0.000
0:02:17	41	5.0	298.5	3.35	20.20	1.980	0.166	-0.158	0.250	0.084
0:04:15	75	10.0	298	6.13	20.14	1.986	0.304	-0.210	0.500	0.153
0:06:46	108	15.0	297.5	8.82	20.07	1.993	0.440	-0.263	0.750	0.221
0:08:58	143	20.0	295.5	11.68	20.01	1.999	0.584	-0.473	1.000	0.292
0:13:42	191	30.0	294	15.60	19.88	2.012	0.785	-0.630	1.500	0.390
0:17:45	242	40.0	292.5	19.77	19.75	2.025	1.001	-0.788	2.000	0.494
0:27:22	422.5	60.0	290	34.52	19.49	2.052	1.771	-1.051	3.000	0.863
0:37:35	336	80.0	290	27.45	19.24	2.079	1.427	-1.051	4.000	0.686
0:46:07	275	100.0	292	22.47	18.98	2.108	1.184	-0.841	5.000	0.562
0:54:00	248	122.0	293	20.26	18.70	2.140	1.084	-0.736	6.100	0.507
1:00:00	229	140.0	293.5	18.71	18.46	2.166	1.013	-0.683	7.000	0.468
1:06:00	218	160.0	294	17.81	18.21	2.197	0.978	-0.630	8.000	0.445
1:11:50	213	180.0	294	17.40	17.95	2.229	0.970	-0.630	9.000	0.435
1:17:38	206	200.0	294	16.83	17.69	2.261	0.951	-0.630	10.000	0.421
1:23:20	210	220.0	294	17.16	17.44	2.294	0.984	-0.630	11.000	0.429
1:29:20	210.5	240.0	294	17.20	17.18	2.328	1.001	-0.630	12.000	0.430
1:34:40	209	260.0	294.5	17.08	16.92	2.364	1.009	-0.578	13.000	0.427
1:41:02	206	280.0	294.5	16.83	16.67	2.400	1.010	-0.578	14.000	0.421
1:47:20	205	300.0	295	16.75	16.41	2.437	1.021	-0.525	15.000	0.419
1:53:25	200	320.0	295	16.34	16.16	2.476	1.011	-0.525	16.000	0.409
1:58:55	192	340.0	295	15.69	15.90	2.515	0.986	-0.525	17.000	0.392
	121	360.0	295	9.89	15.65	2.556	0.632	-0.525	18.000	0.247
2:11:15	96	380.0	295.5	7.84	15.39	2.598	0.509	-0.473	19.000	0.196
2:17:15	93	400.0	295.8	7.60	15.14	2.642	0.502	-0.441	20.000	0.190

LABORATORISTA

GREGORIO ROJAS ROJAS

**CORTE DIRECTO  
BARRIO SAN RAFAEL  
SONDEO 2, MUESTRA SUPERFICIAL.**



# SUELOS Y PAVIMENTOS GREGORIO ROJAS & CIA. LTDA.

CALLE 80 No. 51 - 64  
TELEFAX : 2 - 25 - 47 - 60

LIMITES DE ATTERBERG

JLR

PROYECTO :	BARRIO "SAN RAFAEL"	FECHA:	Junio 17/97
CLIENTE :	GEÓLOGO JHON JAIRÓ GIRALDO		
SONDEO :	1	MUESTRA:	1
DESCRIPCION :	ARCILLA LIMOSA DE COLOR GRIS, ALTAMENTE OXIDADA, PLASTICIDAD ALTA		
UBICACIÓN:			

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		Wn
	No GOLP	40	26	10		
No recip	20	121	44	92	17	18
P1	40.06	39.40	37.40	16.00	17.10	51.10
P2	26.24	25.17	22.98	14.40	15.13	45.20
P3	6.60	6.22	6.15	6.52	6.00	18.70
W %	70.4	75.1	85.7	20.3	21.6	22.3

LIMITE LIQUIDO 75.6 %  
LIMITE PLASTICO 20.9 %  
INDICE DE PLASTICIDAD 54.7 %

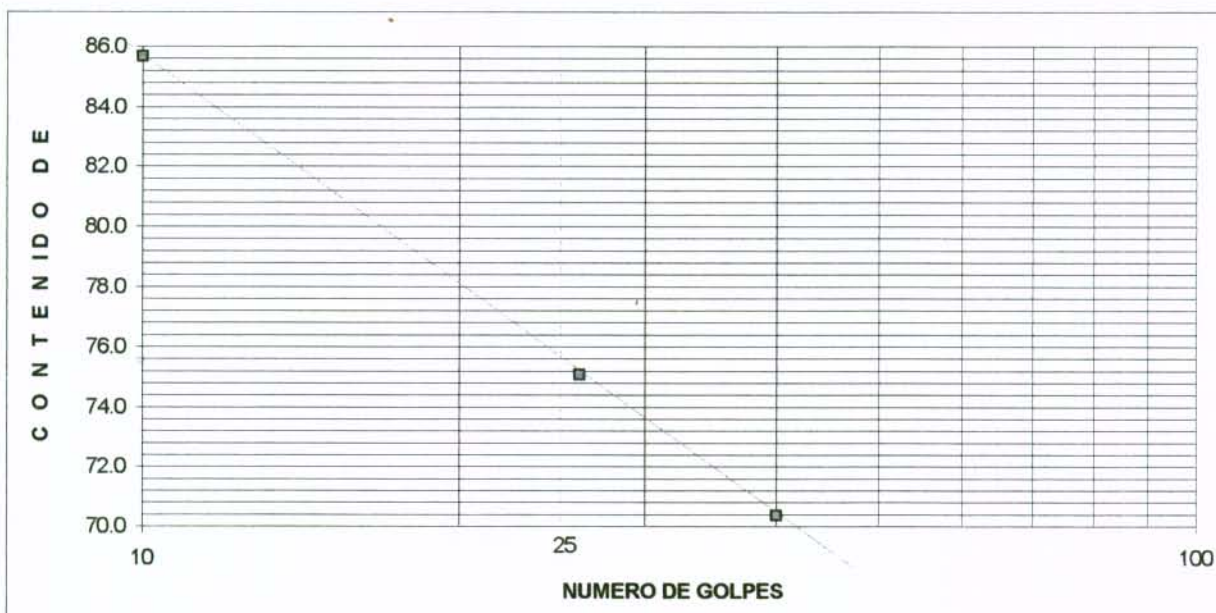
CLASIFICACION U.S.C.S                       
INDICE DE LIQUIDEZ 0.024  
INDICE DE CONSISTENCIA 0.976  
INDICE DE FLUIDEZ 25.436

WTMS	26.50	SUMA W,R,
WLST200		ERROR%

TAMIZ	W RETEN	W.RET.CORR	% RETENIDO	%PASA
2"				
1 1/2"				
3/4"				
1/2"				
3/8"				
N 4				
N10				
N40				
N200				
FONDO				
SUMAS				

PESO UNIT.	
W1	135.4
W2	143.5
W3	64.9
$\gamma t$ (T/m <sup>3</sup> )	1.945
$\gamma d$ (T/m <sup>3</sup> )	1.591

GRAVA            %  
ARENA            %  
FINOS            %



LABORATORISTA

GREGORIO ROJAS ROJAS



# SUELOS Y PAVIMENTOS

## GREGORIO ROJAS & CIA. LTDA.

LIMITES DE ATTERBERG

CALLE 80 No. 51 - 64  
TELEFAX : 2 - 25 - 47 - 60

JLR

PROYECTO :	BARRIO "SAN RAFAEL"	FECHA:	Junio 17/97
CLIENTE :	GEÓLOGO JHON JAIRO GIRALDO		
SONDEO :	2	MUESTRA:	3
DESCRIPCION :	ARCILLOLITA DE COLOR GRIS OXIDADA, PLASTICIDAD BAJA		
UBICACIÓN:			

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		Wn
No GOLP	40	26	13	41	33	32
No recip	104	131	136	41	33	32
P1	42.20	46.54	36.90	15.58	16.00	101.10
P2	30.98	33.48	26.15	13.80	14.03	89.50
P3	5.55	6.10	6.00	6.62	6.15	19.40
W %	44.1	47.7	53.3	24.8	25.0	16.5

LIMITE LIQUIDO                     48             %

LIMITE PLASTICO                 24.9           %

INDICE DE PLASTICIDAD         23.1           %

CLASIFICACION U.S.C.S                                       

INDICE DE LIQUIDEZ                         -0.361

INDICE DE CONSISTENCIA                    1.361

INDICE DE FLUIDEZ                         18.907

WTMS	70.10	SUMA W,R,	
WLST200		ERROR%	

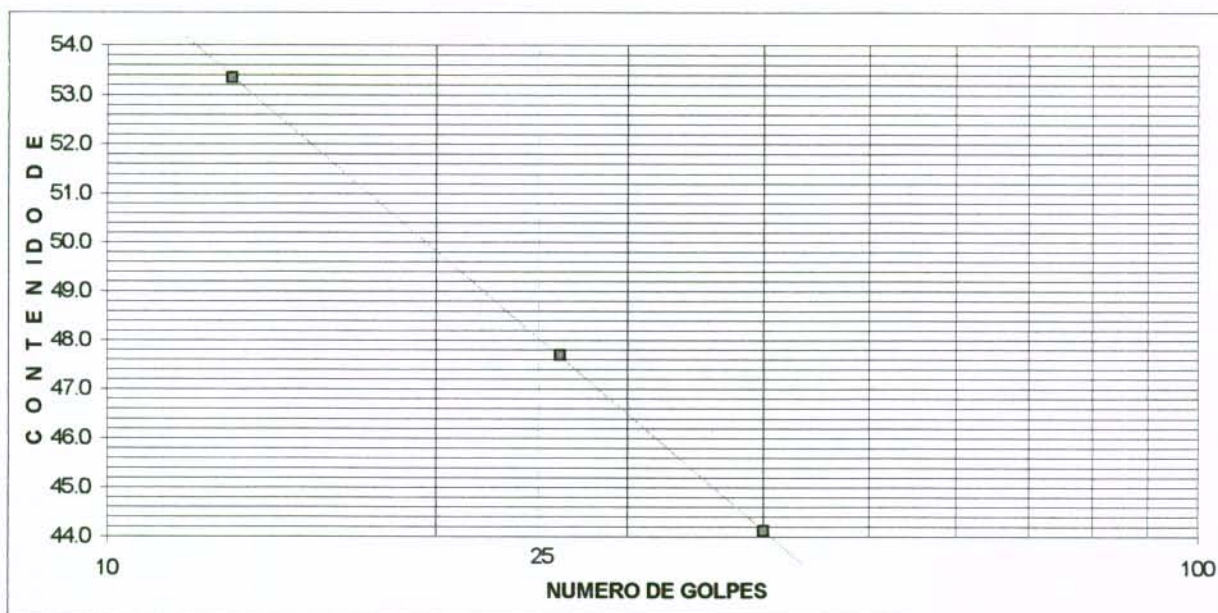
TAMIZ	W RETEN	W.RET.CORR	% RETENIDO	%PASA
2"				
1 1/2"				
3/4"				
1/2"				
3/8"				
N 4				
N10				
N40				
N200				
FONDO				
SUMAS				

PESO UNIT.	
W1	160.0
W2	173.9
W3	75.3
$\gamma t$ (T/m <sup>3</sup> )	1.924
$\gamma d$ (T/m <sup>3</sup> )	1.651

GRAVA                                        %

ARENA                                       %

FINOS                                        %



LABORATORISTA

GREGORIO ROJAS ROJAS

# SUELOS Y PAVIMENTOS GREGORIO ROJAS & CIA. LTDA.

CALLE 80 No. 51 - 64  
TELEFAX : 2 - 25 - 47 - 60

LIMITES DE ATTERBERG

JLR

PROYECTO :	BARRIO "SAN RAFAEL"	FECHA:	Junio 17/97
CLIENTE :	GEÓLOGO JHON JAIRO GIRALDO		
SONDEO :	2	MUESTRA:	4
DESCRIPCION :	ARCILLOLITA LIMOSA DE COLOR GRIS CON OXIDACIONES, PLASTICIDAD ALTA		
UBICACIÓN:			

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		Wn
	40	28	12			
No GOLP	40	28	12			
No recip	101	123	13	130	81	20
P1	44.00	43.20	37.30	15.60	16.10	70.20
P2	32.00	30.64	25.80	14.10	14.44	64.40
P3	6.16	5.43	6.08	6.00	6.20	17.80
W %	46.4	49.8	58.3	18.5	20.1	12.4

LIMITE LIQUIDO \_\_\_\_\_ 51.2 %  
 LIMITE PLASTICO \_\_\_\_\_ 19.3 %  
 INDICE DE PLASTICIDAD \_\_\_\_\_ 31.9 %

CLASIFICACION U.S.C.S \_\_\_\_\_ C H  
 INDICE DE LIQUEZ \_\_\_\_\_ -0.216  
 INDICE DE CONSISTENCIA \_\_\_\_\_ 1.216  
 INDICE DE FLUIDEZ \_\_\_\_\_ 22.714

WTMS	46.60	SUMA W,R,
WLST200		ERROR%

TAMIZ	W RETEN	W.RET.CORR	% RETENIDO	%PASA
2"				
1 1/2"				
3/4"				
1/2"				
3/8"				
N 4				
N10				
N40				
N200				
FONDO				
SUMAS				

GRAVA \_\_\_\_\_ %  
 ARENA \_\_\_\_\_ %  
 FINOS \_\_\_\_\_ %



LABORATORISTA

GREGORIO ROJAS ROJAS

# SUELOS Y PAVIMENTOS

## GREGORIO ROJAS & CIA. LTDA.

CALLE 80 No. 51 - 64

TELEFAX : 2 - 25 - 47 - 60

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

JLR

PROYECTO :	BARRIO "SAN RAFAEL"	FECHA:	Junio 17/97
CLIENTE :	GEÓLOGO JHON JAIRO GIRALDO		
ESTACIÓN :	E11	MUESTRA:	1 PROFUNDIDAD: SUPERFICIAL
DESCRIPCION :	ARENISCA FRIABLE DE COLOR HABANA AMARILLENTO		
OBSERVACIONES:	SIN INUNDAR		

LADO	Lo	5.10	cm
ALTURA	Ho	2.96	cm
AREA INICIAL	Ao	26.01	cm <sup>2</sup>
VOLUMEN	Vo	76.99	cm <sup>3</sup>
PESO SUELO	W t	165.30	g
CARGA NORMAL		13.000	Kg
ESFUERZO NORMAL		0.500	Kg/cm <sup>2</sup>
ALTURA DESP. CONS.		2.960	cm
ALTURA FINAL		2.966	cm

ANILLO CARGA No.	2	No.
CONSTANTES	0.082343	1
CONSTANTES	0.081700	2-1
CONSTANTES	0.212230	2-2
PESO UNIT. TOTAL	2.147	g / cm <sup>3</sup>

*12  
26.01 = 0.5 Kg / cm<sup>2</sup>*

TIEMPO	LECT. ANILLO *10E - 4 in	DEFORMACION		FUERZA CORTE Kg	AREA CORREG. cm <sup>2</sup>	ESFUERZO		DEFORMACION		RELACION Tao/Sig
		HORIZ. *10E-3in	VERT. *10E-4in			NORMAL Kg/cm <sup>2</sup>	CORTE Kg/cm <sup>2</sup>	VERTICAL %	HORIZONTAL %	
0:00:00	0	0.0	244	0.00	26.01	0.500	0.000	0.000	0.000	0.000
0:01:28	31	5.0	243	2.53	25.95	0.501	0.098	-0.009	0.249	0.195
0:02:50	47	10.0	241.5	3.84	25.88	0.502	0.148	-0.021	0.498	0.295
0:04:00	63	15.0	240	5.15	25.82	0.504	0.199	-0.034	0.747	0.396
0:07:15	90	25.0	239.5	7.35	25.69	0.506	0.286	-0.039	1.245	0.566
0:11:20	105	40.0	239	8.58	25.49	0.510	0.337	-0.043	1.992	0.660
0:16:37	127	60.0	239.5	10.38	25.23	0.515	0.411	-0.039	2.988	0.798
0:23:00	140	80.0	242	11.44	24.97	0.521	0.458	-0.017	3.984	0.880
0:28:00	154	100.0	245	12.58	24.71	0.526	0.509	0.009	4.980	0.968
0:32:20	159	120.0	248	12.99	24.46	0.532	0.531	0.034	5.976	0.999
0:37:00	159	140.0	251	12.99	24.20	0.537	0.537	0.060	6.973	0.999
0:45:10	130	178.0	255	10.62	23.70	0.548	0.448	0.094	8.865	0.817
0:53:20	154	210.0	257	12.58	23.29	0.558	0.540	0.112	10.459	0.968
0:57:00	127	230.0	259	10.38	23.03	0.564	0.451	0.129	11.455	0.798
1:06:05	167	270.0	262	13.64	22.51	0.577	0.606	0.154	13.447	1.050
1:13:40	154	300.0	265	12.58	22.12	0.588	0.569	0.180	14.941	0.968
1:16:00	135	320.0	265	11.03	21.86	0.595	0.504	0.180	15.937	0.848
1:21:58	148	340.0	265.5	12.09	21.61	0.602	0.560	0.184	16.933	0.930
1:25:40	165	360.0	268	13.48	21.35	0.609	0.632	0.206	17.929	1.037
1:31:00	160	380.0	268	13.07	21.09	0.616	0.620	0.206	18.925	1.006
1:37:00	147	400.0	268	12.01	20.83	0.624	0.577	0.206	19.922	0.924

LABORATORISTA

GREGORIO ROJAS ROJAS

# SUELOS Y PAVIMENTOS

## GREGORIO ROJAS & CIA. LTDA.

CALLE 80 No. 51 - 64

TELEFAX : 2 - 25 - 47 - 60

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

JLR

PROYECTO :	BARRIO "SAN RAFAEL"	FECHA:	Junio 17/97
CLIENTE :	GEÓLOGO JHON JAIRO GIRALDO		
SONDEO :	E11	MUESTRA:	1 PROFUNDIDAD: SUPERFICIAL
DESCRIPCION :	ARENISCA FRIABLE DE COLOR HABANA AMARILLENTO		
OBSERVACIONES:	SIN INUNDAR		

LADO	Lo	5.10	cm
ALTURA	Ho	2.96	cm
AREA INICIAL	Ao	26.01	cm <sup>2</sup>
VOLUMEN	Vo	76.99	cm <sup>3</sup>
PESO SUELO	W t	165.30	g
CARGA NORMAL		26.000	Kg
ESFUERZO NORMAL		1.000	Kg/cm <sup>2</sup>
ALTURA DESP. CONS.		2.960	cm
ALTURA FINAL		2.967	cm

ANILLO CARGA No.	2	No.
CONSTANTES	0.082343	1
CONSTANTES	0.081700	2-1
CONSTANTES	0.212230	2-2
PESO UNIT. TOTAL	2.147	g / cm <sup>3</sup>

TIEMPO	LECT. ANILLO *10E - 4 in	DEFORMACION		FUERZA CORTE Kg	AREA CORREG. cm <sup>2</sup>	ESFUERZO		DEFORMACION		RELACION Tao/Sig
		HORIZ. *10E-3in	VERT. *10E-4in			NORMAL Kg/cm <sup>2</sup>	CORTE Kg/cm <sup>2</sup>	VERTICAL %	HORIZONTAL %	
0:00:00	0	0.0	251	0.00	26.01	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0:01:15	37	5.0	249	3.02	25.95	1.002	0.117	-0.017	0.249	0.116
0:02:20	55	10.0	248	4.49	25.88	1.005	0.174	-0.026	0.498	0.173
0:03:36	85	15.0	246	6.94	25.82	1.007	0.269	-0.043	0.747	0.267
0:04:34	98	20.0	245.5	8.01	25.75	1.010	0.311	-0.047	0.996	0.308
0:09:14	147	40.0	244	12.01	25.49	1.020	0.471	-0.060	1.992	0.462
0:14:00	182	60.0	244	14.87	25.23	1.030	0.589	-0.060	2.988	0.572
0:20:00	218	80.0	245	17.81	24.97	1.041	0.713	-0.051	3.984	0.685
0:25:40	177	100.0	250	14.46	24.71	1.052	0.585	-0.009	4.980	0.556
0:29:26	175	120.0	251	14.30	24.46	1.063	0.585	0.000	5.976	0.550
0:34:00	146	140.0	254	11.93	24.20	1.075	0.493	0.026	6.973	0.459
0:38:50	174	160.0	255	14.22	23.94	1.086	0.594	0.034	7.969	0.547
0:44:20	224	180.0	255	18.30	23.68	1.098	0.773	0.034	8.965	0.704
0:50:20	257	200.0	258	21.00	23.42	1.110	0.897	0.060	9.961	0.808
0:55:50	255	220.0	258	20.83	23.16	1.123	0.900	0.060	10.957	0.801
1:01:10	258	240.0	261	21.08	22.90	1.135	0.920	0.086	11.953	0.811
1:06:22	263	260.0	262	21.49	22.64	1.148	0.949	0.094	12.949	0.826
1:12:33	278	280.0	264	22.71	22.38	1.162	1.015	0.112	13.945	0.874
1:17:40	255	300.0	267	20.83	22.12	1.175	0.942	0.137	14.941	0.801
1:22:00	277	320.0	269	22.63	21.86	1.189	1.035	0.154	15.937	0.870
1:26:58	252	340.0	271	20.59	21.61	1.203	0.953	0.172	16.933	0.792
1:31:17	260	360.0	274	21.24	21.35	1.218	0.995	0.197	17.929	0.817
1:36:20	281	380.0	275	22.96	21.09	1.233	1.089	0.206	18.925	0.883
1:41:16	280	400.0	277	22.88	20.83	1.248	1.098	0.223	19.922	0.880

LABORATORISTA

GREGORIO ROJAS ROJAS

# SUELOS Y PAVIMENTOS

## GREGORIO ROJAS & CIA. LTDA.

CALLE 80 No. 51 - 64  
TELEFAX : 2 - 25 - 47 - 60

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

JLR

PROYECTO :	BARRIO "SAN RAFAEL"	FECHA:	Junio 17/97
CLIENTE :	GEÓLOGO JHON JAIRO GIRALDO		
SONDEO :	E11	MUESTRA:	1 PROFUNDIDAD: SUPERFICIAL
DESCRIPCION :	ARENISCA FRIABLE DE COLOR HABANA AMARILLENTO		
OBSERVACIONES:	SIN INUNDAR		

LADO	Lo	5.10	cm
ALTURA	Ho	2.96	cm
AREA INICIAL	Ao	26.01	cm <sup>2</sup>
VOLUMEN	Vo	76.99	cm <sup>3</sup>
PESO SUELO	W t	165.30	g
CARGA NORMAL		48.000	Kg
ESFUERZO NORMAL		1.845	Kg/cm <sup>2</sup>
ALTURA DESP. CONS.		2.960	cm
ALTURA FINAL		2.965	cm

ANILLO CARGA No.	1	No.
CONSTANTES	0.082343	1
CONSTANTES	0.081700	2-1
CONSTANTES	0.212230	2-2
PESO UNIT. TOTAL	2.147	g / cm <sup>3</sup>

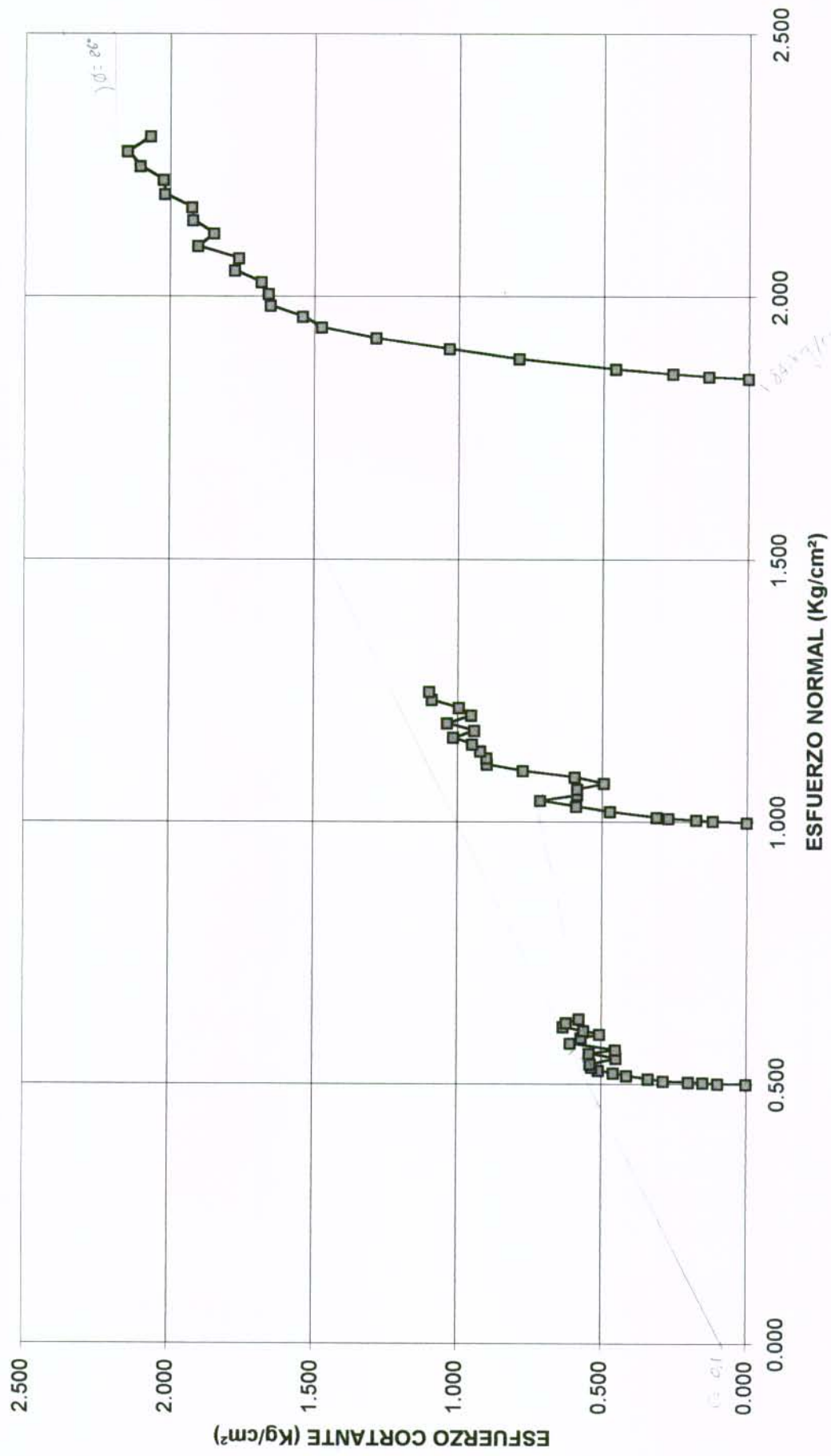
*Handwritten notes:*  
18 / 260  
8

TIEMPO	LECT. ANILLO *10E - 4 in	DEFORMACION		FUERZA CORTE Kg	AREA CORREG. cm <sup>2</sup>	ESFUERZO		DEFORMACION		RELACION Tao/Sig
		HORIZ. *10E-3in	VERT. *10E-4in			NORMAL Kg/cm <sup>2</sup>	CORTE Kg/cm <sup>2</sup>	VERTICAL %	HORIZONTAL %	
0:00:00	0	0.0	246	0.00	26.01	1.845	0.000	0.000	0.000	0.000
0:01:03	43	5.0	245	3.54	25.95	1.850	0.136	-0.009	0.249	0.074
0:02:36	82	10.0	244	6.75	25.88	1.855	0.261	-0.017	0.498	0.141
0:05:25	143	20.0	242	11.78	25.75	1.864	0.457	-0.034	0.996	0.245
0:11:03	245	40.0	239	20.17	25.49	1.883	0.791	-0.060	1.992	0.420
0:16:24	316	60.0	238	26.02	25.23	1.902	1.031	-0.069	2.988	0.542
0:22:07	390	80.0	238	32.11	24.97	1.922	1.286	-0.069	3.984	0.669
0:26:57	442	100.0	238	36.40	24.71	1.942	1.473	-0.069	4.980	0.758
0:29:50	457	120.0	239	37.63	24.46	1.963	1.539	-0.060	5.976	0.784
0:34:30	485	140.0	240	39.94	24.20	1.984	1.651	-0.051	6.973	0.832
0:39:50	482	160.0	243	39.69	23.94	2.005	1.658	-0.026	7.969	0.827
0:43:54	484	180.0	244	39.85	23.68	2.027	1.683	-0.017	8.965	0.830
0:49:00	505	200.0	246	41.58	23.42	2.050	1.776	0.000	9.961	0.866
0:54:20	495	220.0	248	40.76	23.16	2.073	1.760	0.017	10.957	0.849
0:57:30	529	240.0	248	43.56	22.90	2.096	1.902	0.017	11.953	0.907
1:01:48	508	260.0	251	41.83	22.64	2.120	1.847	0.043	12.949	0.871
1:06:13	522	280.0	252	42.98	22.38	2.144	1.920	0.051	13.945	0.895
1:11:07	517	300.0	254	42.57	22.12	2.170	1.924	0.069	14.941	0.887
1:15:51	536	320.0	255.5	44.14	21.86	2.195	2.019	0.082	15.937	0.919
1:20:24	531	340.0	257	43.72	21.61	2.222	2.024	0.094	16.933	0.911
1:25:00	545	360.0	259	44.88	21.35	2.249	2.102	0.112	17.929	0.935
1:30:40	550	380.0	261	45.29	21.09	2.276	2.148	0.129	18.925	0.944
1:35:00	523	400.0	264	43.07	20.83	2.305	2.068	0.154	19.922	0.897

LABORATORISTA

GREGORIO ROJAS ROJAS

**CORTE DIRECTO**  
**BARRIO SAN RAFAEL. MUESTRA CON PLANO DE RUGOSIDAD NATURAL**  
 ESTACIÓN E11, MUESTRA 1, PROF: SUPERFICIAL



# SUELOS Y PAVIMENTOS

## GREGORIO ROJAS & CIA. LTDA.

CALLE 80 No. 51 - 64  
TELEFAX : 2 - 25 - 47 - 60

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

JLR

PROYECTO :	BARRIO "SAN RAFAEL"	FECHA:	Junio 17/97
CLIENTE :	GEÓLOGO JHON JAIRO GIRALDO		
ESTACIÓN :	E10	MUESTRA:	2
DESCRIPCIÓN :	ARENISCA DE COLOR HABANA		
OBSERVACIONES :	MUESTRA PRECORTADA , FALLADA EN CONDICIÓN SECA		

DIAMETRO Do	5.45	cm
ALTURA Ho	3.90	cm
AREA INICIAL Ao	23.33	cm <sup>2</sup>
VOLUMEN Vo	90.98	cm <sup>3</sup>
PESO SUELO W t	197.60	g
CARGA NORMAL	23.300	Kg
ESFUERZO NORMAL	0.999	Kg/cm <sup>2</sup>
ALTURA DESP. CONS.	3.900	cm
ALTURA FINAL	3.811	cm

ANILLO CARGA No.	2	No.
CONSTANTES	0.082343	1
CONSTANTES	0.081700	2-1
CONSTANTES	0.212230	2-2
PESO UNIT. TOTAL	2.172	g / cm <sup>3</sup>

TIEMPO	LECT. ANILLO *10E - 4 in	DEFORMACION		FUERZA CORTE Kg	AREA CORREG. cm <sup>2</sup>	ESFUERZO		DEFORMACION		RELACION Tao/Sig
		HORIZ. *10E-3in	VERT. *10E-3in			NORMAL Kg/cm <sup>2</sup>	CORTE Kg/cm <sup>2</sup>	VERTICAL %	HORIZONTAL %	
0:00:00	0	0.0	352	0.00	23.33	0.999	0.000	0.000	0.000	0.000
	23	5.0	351	1.88	23.26	1.002	0.081	-0.065	0.233	0.081
	62	10.0	350	5.07	23.19	1.005	0.218	-0.130	0.466	0.217
	100	12.0	349	8.17	23.16	1.006	0.353	-0.195	0.559	0.351
	116	20.0	348.5	9.48	23.05	1.011	0.411	-0.228	0.932	0.407
	125	30.0	348	10.21	22.91	1.017	0.446	-0.261	1.398	0.438
	129	40.0	348	10.54	22.77	1.023	0.463	-0.261	1.864	0.452
	125	50.0	348	10.21	22.64	1.029	0.451	-0.261	2.330	0.438
	110	60.0	348	8.99	22.50	1.036	0.399	-0.261	2.796	0.386
	113	80.0	347.5	9.23	22.22	1.049	0.415	-0.293	3.728	0.396
	127	100.0	347.5	10.38	21.94	1.062	0.473	-0.293	4.661	0.445
	139	120.0	347	11.36	21.67	1.075	0.524	-0.326	5.593	0.487
	142	140.0	347	11.60	21.39	1.089	0.542	-0.326	6.525	0.498
	140	160.0	347	11.44	21.12	1.103	0.542	-0.326	7.457	0.491
	133	180.0	347	10.87	20.84	1.118	0.521	-0.326	8.389	0.466
	120	220.0	346.5	9.80	20.29	1.148	0.483	-0.358	10.253	0.421
	129	240.0	346.5	10.54	20.01	1.164	0.527	-0.358	11.185	0.452
	141	260.0	346.5	11.52	19.74	1.180	0.584	-0.358	12.117	0.494
	141	280.0	346	11.52	19.46	1.197	0.592	-0.391	13.050	0.494
	137	300.0	346	11.19	19.19	1.214	0.583	-0.391	13.982	0.480
	142	340.0	346.5	11.60	18.64	1.250	0.622	-0.358	15.846	0.498
	147	360.0	346.5	12.01	18.37	1.268	0.654	-0.358	16.778	0.515
	149	380.0	346	12.17	18.10	1.288	0.673	-0.391	17.710	0.522
1:54:03	147	400.0	346	12.01	17.82	1.307	0.674	-0.391	18.642	0.515

LABORATORISTA

GREGORIO ROJAS ROJAS

# SUELOS Y PAVIMENTOS

## GREGORIO ROJAS & CIA. LTDA.

CALLE 80 No. 51 - 64  
TELEFAX : 2 - 25 - 47 - 60

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

JLR

PROYECTO :	BARRIO "SAN RAFAEL"	FECHA:	Junio 17/97
CLIENTE :	GEÓLOGO JHON JAIRO GIRALDO		
ESTACIÓN :	E10	MUESTRA:	2
DESCRIPCIÓN :	ARENISCA DE COLOR HABANA		
OBSERVACIONES :	MUESTRA PRECORTADA , FALLADA EN CONDICIÓN SECA		

DIAMETRO Do	5.45	cm
ALTURA Ho	3.90	cm
AREA INICIAL Ao	23.33	cm <sup>2</sup>
VOLUMEN Vo	90.98	cm <sup>3</sup>
PESO SUELO Wt	197.60	g
CARGA NORMAL	46.700	Kg
ESFUERZO NORMAL	2.002	Kg/cm <sup>2</sup>
ALTURA DESP. CONS.	3.900	cm
ALTURA FINAL	3.898	cm

ANILLO CARGA No.	2	No.
CONSTANTES	0.082343	1
CONSTANTES	0.081700	2-1
CONSTANTES	0.212230	2-2
PESO UNIT. TOTAL	2.172	g / cm <sup>3</sup>

TIEMPO	LECT. ANILLO *10E - 4 in	DEFORMACION		FUERZA CORTE Kg	AREA CORREG. cm <sup>2</sup>	ESFUERZO		DEFORMACION		RELACION Tao/Sig
		HORIZ. *10E-3in	VERT. *10E-3in			NORMAL Kg/cm <sup>2</sup>	CORTE Kg/cm <sup>2</sup>	VERTICAL %	HORIZONTAL %	
0:00:00	0	0.0	348	0.00	23.33	2.002	0.000	0.000	0.000	0.000
	13	5.0	347.5	1.06	23.26	2.008	0.046	-0.033	0.233	0.023
	24	10.0	347.5	1.96	23.19	2.014	0.085	-0.033	0.466	0.042
	45	20.0	347.5	3.68	23.05	2.026	0.159	-0.033	0.932	0.079
	58	30.0	347.5	4.74	22.91	2.038	0.207	-0.033	1.398	0.101
	77	40.0	347.5	6.29	22.77	2.051	0.276	-0.033	1.864	0.135
	129	60.0	345	10.54	22.50	2.076	0.468	-0.195	2.796	0.226
	141	80.0	343	11.52	22.22	2.102	0.518	-0.326	3.728	0.247
	197	100.0	342	16.09	21.94	2.128	0.733	-0.391	4.661	0.345
	204	120.0	342	16.67	21.67	2.155	0.769	-0.391	5.593	0.357
	265	140.0	342	21.65	21.39	2.183	1.012	-0.391	6.525	0.464
	275	160.0	342	22.47	21.12	2.212	1.064	-0.391	7.457	0.481
	285	180.0	341.5	23.28	20.84	2.241	1.117	-0.423	8.389	0.499
	288	200.0	341.5	23.53	20.56	2.271	1.144	-0.423	9.321	0.504
	290	220.0	341.5	23.69	20.29	2.302	1.168	-0.423	10.253	0.507
	289	240.0	341	23.61	20.01	2.333	1.180	-0.456	11.185	0.506
	288	260.0	341	23.53	19.74	2.366	1.192	-0.456	12.117	0.504
	287	280.0	340.5	23.45	19.46	2.399	1.205	-0.488	13.050	0.502
	287	300.0	340	23.45	19.19	2.434	1.222	-0.521	13.982	0.502
	286	320.0	340	23.37	18.92	2.469	1.235	-0.521	14.914	0.500
	286	340.0	340	23.37	18.64	2.505	1.253	-0.521	15.846	0.500
	286	360.0	340	23.37	18.37	2.542	1.272	-0.521	16.778	0.500
	285	380.0	339.5	23.28	18.10	2.581	1.287	-0.554	17.710	0.499
2:07:55	285	400.0	339.5	23.28	17.82	2.620	1.306	-0.554	18.642	0.499

LABORATORISTA

GREGORIO ROJAS ROJAS



# SUELOS Y PAVIMENTOS

## GREGORIO ROJAS & CIA. LTDA.

CALLE 80 No. 51 - 64  
TELEFAX : 2 - 25 - 47 - 60

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

J.R

PROYECTO :	BARRIO "SAN RAFAEL"	FECHA:	Junio 17/97
CLIENTE :	GEÓLOGO JHON JAIRO GIRALDO		
ESTACIÓN :	E10	MUESTRA:	2
DESCRIPCIÓN :	ARENISCA DE COLOR HABANA		
OBSERVACIONES :	MUESTRA PRECORTADA , FALLADA EN CONDICIÓN SECA		

DIAMETRO Do	5.45	cm
ALTURA Ho	3.90	cm
AREA INICIAL Ao	23.33	cm <sup>2</sup>
VOLUMEN Vo	90.98	cm <sup>3</sup>
PESO SUELO W t	197.60	g
CARGA NORMAL	93.300	Kg
ESFUERZO NORMAL	3.999	Kg/cm <sup>2</sup>
ALTURA DESP. CONS.	3.900	cm

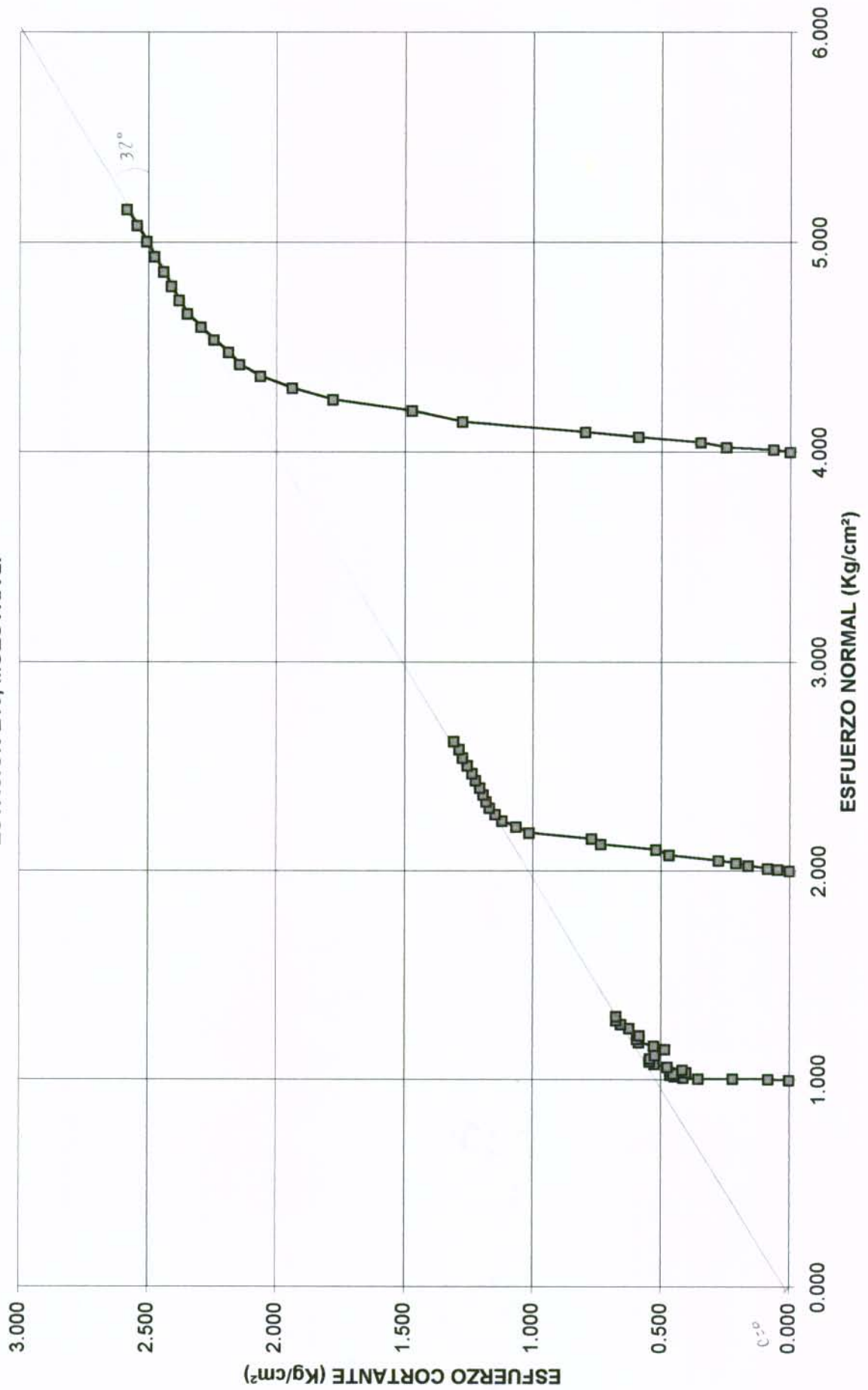
ANILLO CARGA No.	2	No.
CONSTANTES	0.082343	1
CONSTANTES	0.081700	2-1
CONSTANTES	0.212230	2-2
PESO UNIT. TOTAL	2.172	g / cm <sup>3</sup>

TIEMPO	LECT. ANILLO *10E - 4 in	DEFORMACION		FUERZA CORTE Kg	AREA CORREG. cm <sup>2</sup>	ESFUERZO		DEFORMACION		RELACION Tao/Sig
		HORIZ. *10E-3in	VERT. *10E-3in			NORMAL Kg/cm <sup>2</sup>	CORTE Kg/cm <sup>2</sup>	VERTICAL %	HORIZONTAL %	
0:00:00	0	0.0	352	0.00	23.33	3.999	0.000	0.000	0.000	0.000
	18	5.0	349.5	1.47	23.26	4.011	0.063	-0.163	0.233	0.016
	70	10.0	348.5	5.72	23.19	4.023	0.247	-0.228	0.466	0.061
	98	20.0	348	8.01	23.05	4.047	0.347	-0.261	0.932	0.086
	165	30.0	348	13.48	22.91	4.072	0.588	-0.261	1.398	0.144
	222	40.0	346	18.14	22.77	4.097	0.796	-0.391	1.864	0.194
	351	60.0	346	28.68	22.50	4.147	1.275	-0.391	2.796	0.307
	400	80.0	341	32.68	22.22	4.199	1.471	-0.716	3.728	0.350
	478	100.0	341	39.05	21.94	4.252	1.780	-0.716	4.661	0.419
	514	120.0	340.5	41.99	21.67	4.306	1.938	-0.749	5.593	0.450
	540	140.0	340.5	44.12	21.39	4.362	2.062	-0.749	6.525	0.473
	554	160.0	340.5	45.26	21.12	4.419	2.144	-0.749	7.457	0.485
	558	180.0	340	45.59	20.84	4.477	2.188	-0.782	8.389	0.489
	565	200.0	340	46.16	20.56	4.537	2.245	-0.782	9.321	0.495
	570	220.0	340	46.57	20.29	4.599	2.295	-0.782	10.253	0.499
	575	240.0	339	46.98	20.01	4.662	2.347	-0.847	11.185	0.504
	575	260.0	339	46.98	19.74	4.727	2.380	-0.847	12.117	0.504
	574	280.0	339	46.90	19.46	4.794	2.409	-0.847	13.050	0.503
	573	300.0	338	46.81	19.19	4.862	2.440	-0.912	13.982	0.502
	573	320.0	337.5	46.81	18.92	4.933	2.475	-0.944	14.914	0.502
572	340.0	337	46.73	18.64	5.005	2.507	-0.977	15.846	0.501	
572	360.0	337	46.73	18.37	5.079	2.544	-0.977	16.778	0.501	
1:49:32	572	380.0	337	46.73	18.10	5.156	2.583	-0.977	17.710	0.501

LABORATORISTA

GREGORIO ROJAS ROJAS

CORTE DIRECTO  
BARRIO SAN RAFAEL. MUESTRA PRECORTADA  
ESTACIÓN E10, MUESTRA 2.



URBANIZACION SAN RAFAEL

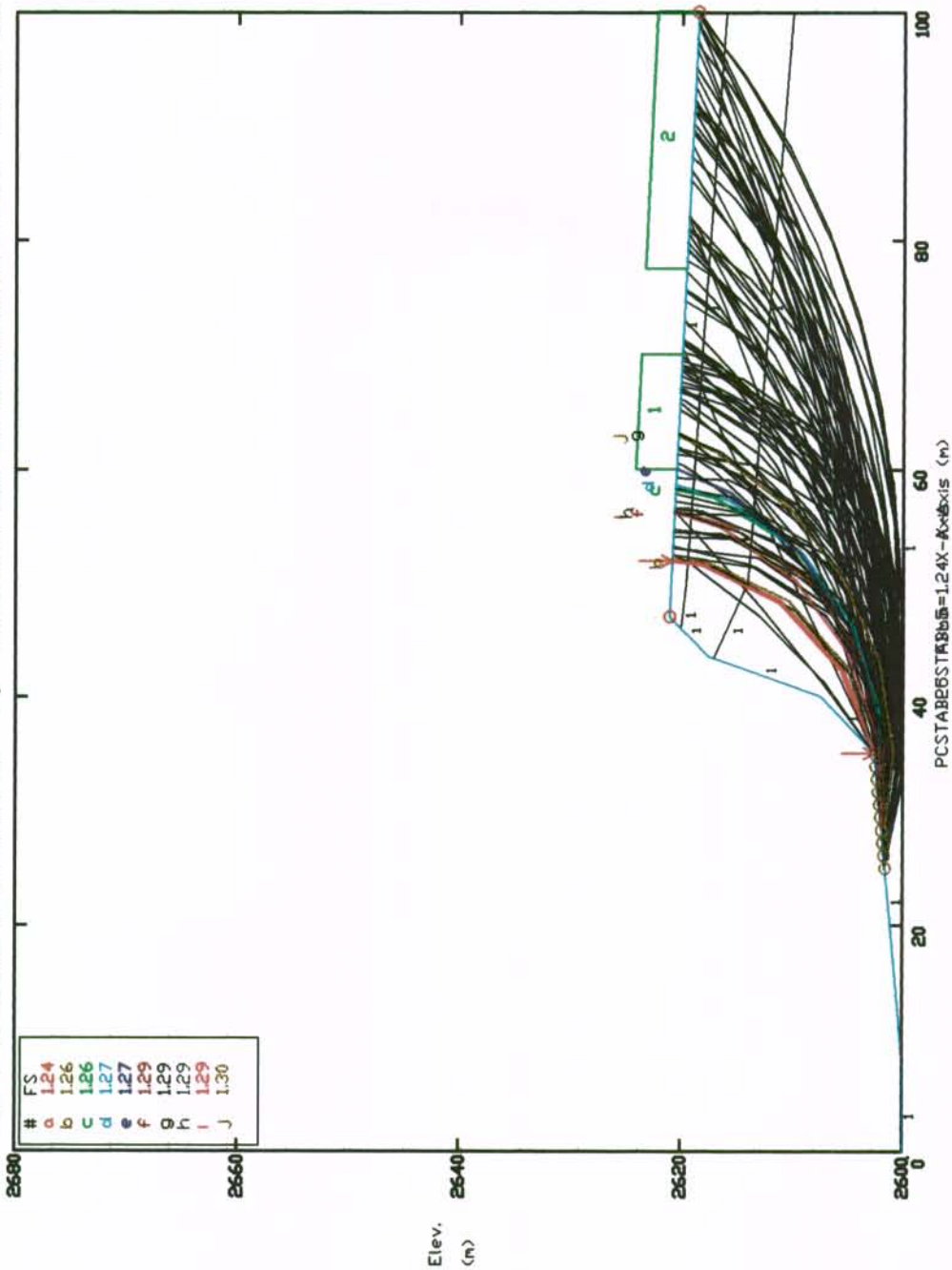
ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA DEL BARRIO SAN RAFAEL.  
LOCALIDAD DE CIUDAD BOLIVAR (SANTAFÉ DE BOGOTÁ).



# **ANEXO MODELAMIENTO PCSTABLE**

# ESTUDIO GEOTECNICO BARRIO SAN RAFAEL PERFIL 989250E (1) - TALUD DRENADO

Ten Most Critical, CIRAFALF.PLT By: CONSULTORIA EN GEOTECNIA LTDA. 01-29-98 7:15am

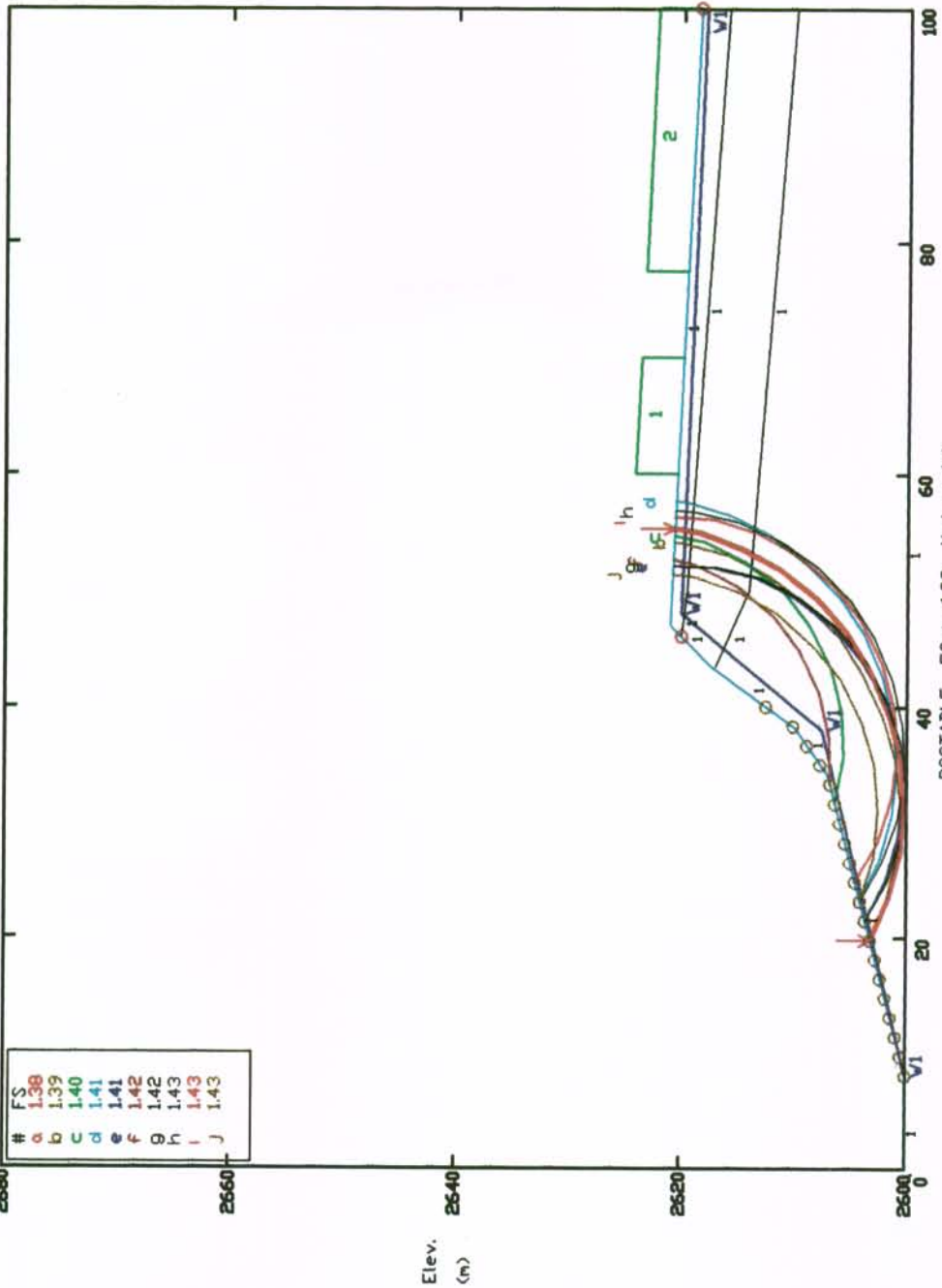


#	FS
a	1.24
b	1.26
c	1.26
d	1.27
e	1.29
f	1.29
g	1.29
h	1.29
i	1.29
j	1.30

Soil Type No. Label	Total Unit Wt. (KN/m <sup>3</sup> )	Saturated Unit Wt. (KN/m <sup>3</sup> )	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 ARCILLAI	16.2	18.8	39.2	34	0	0	
2 ARENISCA	22.5	23.5	9.8	32	0	0	
3 ARCILLAE	15.6	16.8	39.2	34	0	0	

**ESTUDIO GEOTECNICO BARRIO SAN RAFAEL PERFIL 989250E (1) - TALUD BRENADO**  
 Ten Most Critical, C:RAFAI.W,PLT By: CONSULTORIA EN GEOTECNIA LTDA. 01-29-98 7:17am

SATURADO

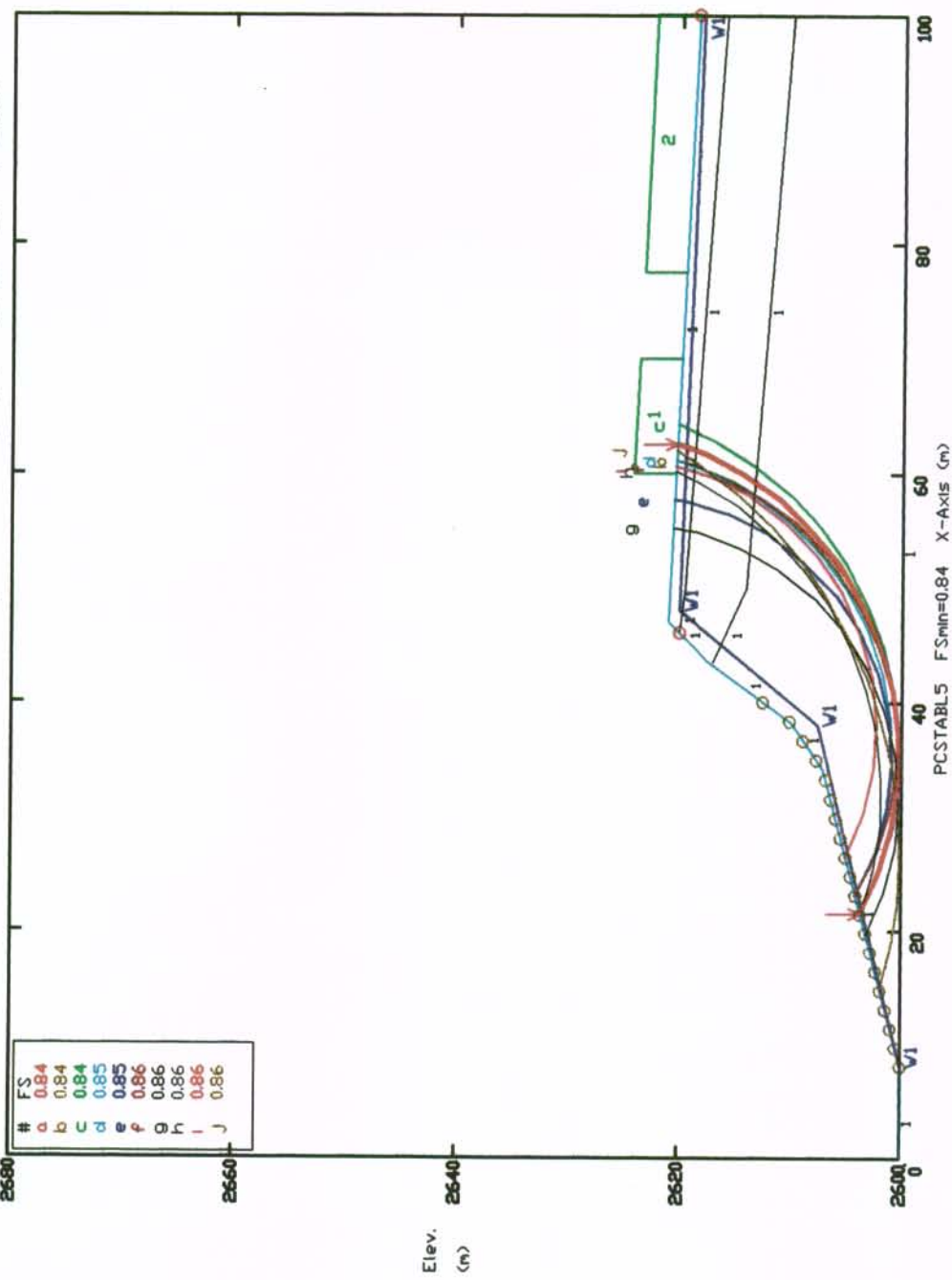


#	FS
a	1.38
b	1.39
c	1.40
d	1.41
e	1.41
f	1.42
g	1.43
h	1.43
i	1.43
j	1.43

Soil Type No. Label	Total Unit Wt. (KN/m <sup>3</sup> )	Saturated Unit Wt. (KN/m <sup>3</sup> )	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 ARCILLA1	16.2	18.8	39.2	34	0	0	V1
2 ARENISCA	22.5	23.5	9.8	32	0	0	V1
3 ARCILLA2	15.6	16.8	39.2	34	0	0	V1

PCSTABLE F<sub>Smin</sub>=1.38 X-Axis (m)

**SATURADO + SISMO**  
**ESTUDIO GEOTECNICO BARRIO SAN RAFAEL PERFIL 989250E (1) - TALUD BRENADO SA7+515**  
 Most Critical Surface. CIRAFAIWS.PLT By: NATIVA LTDA. 01-29-98 7:20am



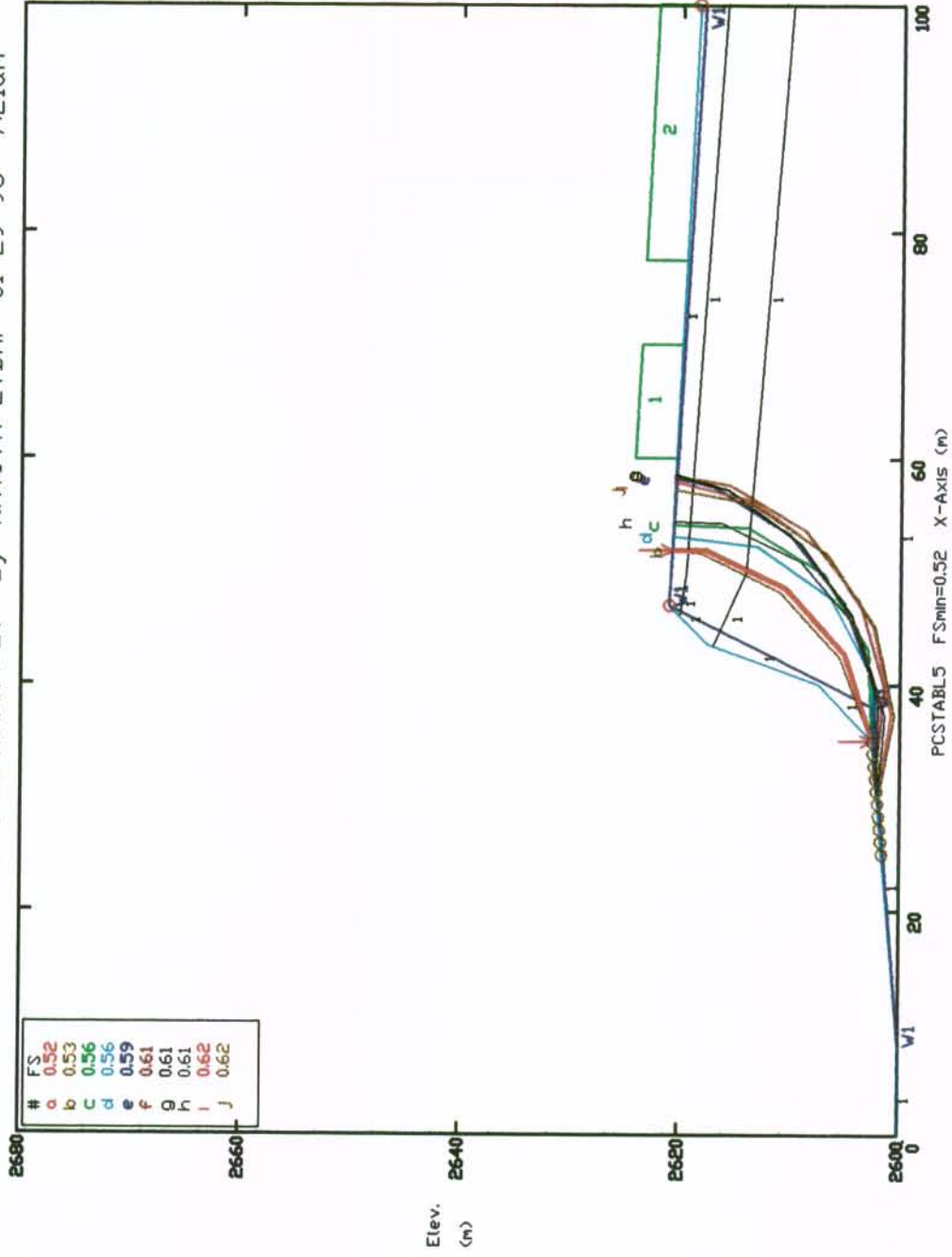
#	FS
a	0.84
b	0.84
c	0.84
d	0.85
e	0.85
f	0.86
g	0.86
h	0.86
i	0.86
j	0.86

Soil Type No. Label	Total Unit Wt. (KN/m <sup>3</sup> )	Saturated Unit Wt. (KN/m <sup>3</sup> )	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 ARCILLA1	16.2	18.8	39.2	34	0	0	V1
2 ARENISCA	22.5	23.5	9.8	32	0	0	V1
3 ARCILLA2	15.6	16.8	39.2	34	0	0	V1

PCSTABLES FSmin=0.84 X-Axis (m)

**ESTUDIO GEOTECNICO BARRIO SAN RAFAEL PERFIL 989250E (1) - TALUD DRENADO**

Most Critical Surface. C:RAFAIWSF.PLT By: NATIVA LTDA. 01-29-98 7:21a.m

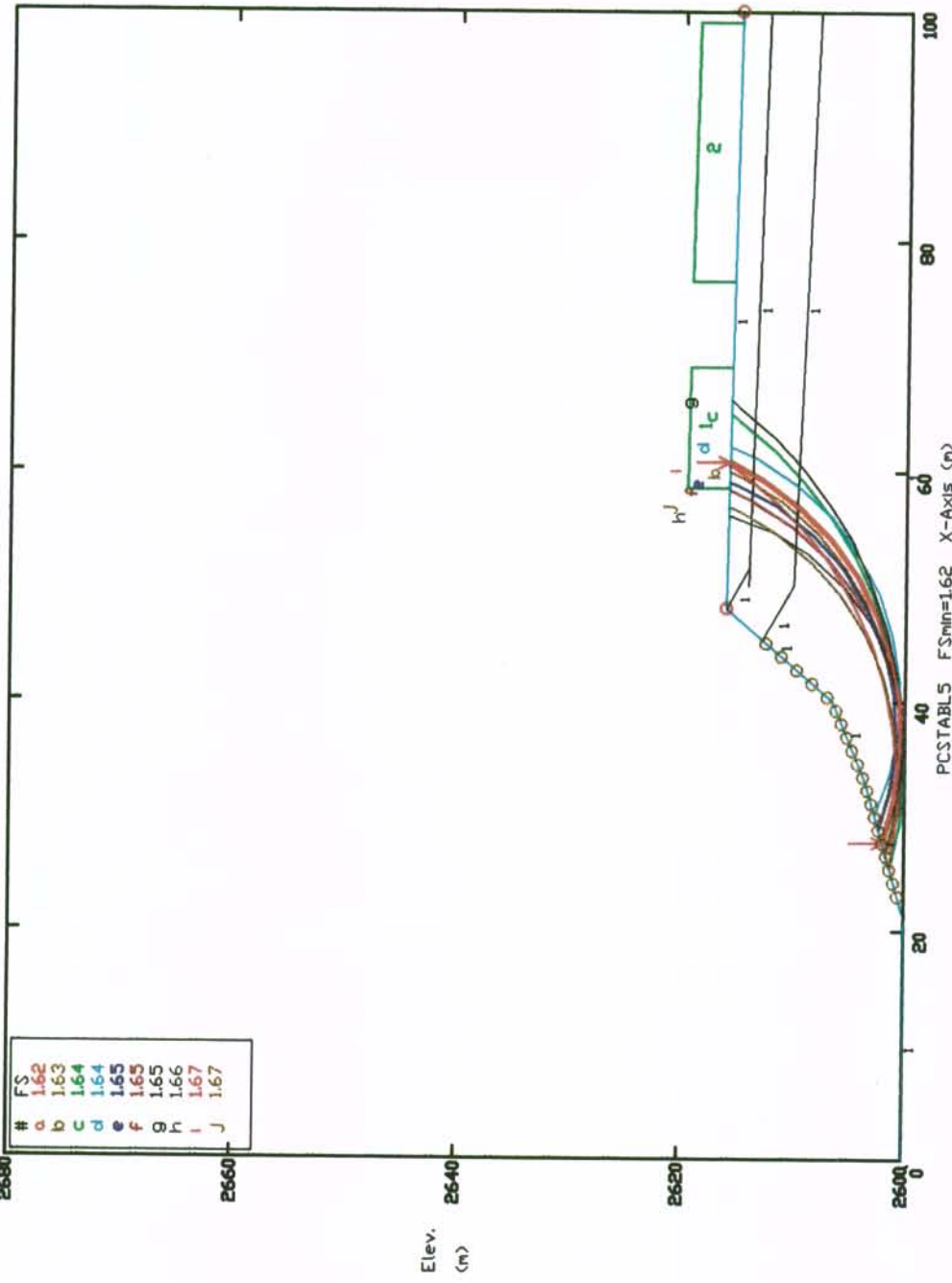


#	FS
a	0.52
b	0.53
c	0.56
d	0.56
e	0.59
f	0.61
g	0.61
h	0.61
i	0.62
j	0.62

Soil Type No. Label	Total Unit Wt. (KN/m <sup>3</sup> )	Saturated Unit Wt. (KN/m <sup>3</sup> )	Cohesion Intercept (kPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (kPa)	Piez. Surface No.
1 ARCILLA1	16.2	18.8	39.2	34	0	0	V1
2 ARENISCA	22.5	23.5	9.8	32	0	0	V1
3 ARCILLA2	15.6	16.8	39.2	34	0	0	V1

PCSTABL5 FSmin=0.52 X-Axis (m)

**ESTUDIO GEOTECNICO BARRIO SAN RAFAEL PERFIL 989300E (2) - TALUD DRENADO**  
 Most Critical Surface. C:RAFA2INI,PLT By: NATIVA LTDA. 01-29-98 7:22am



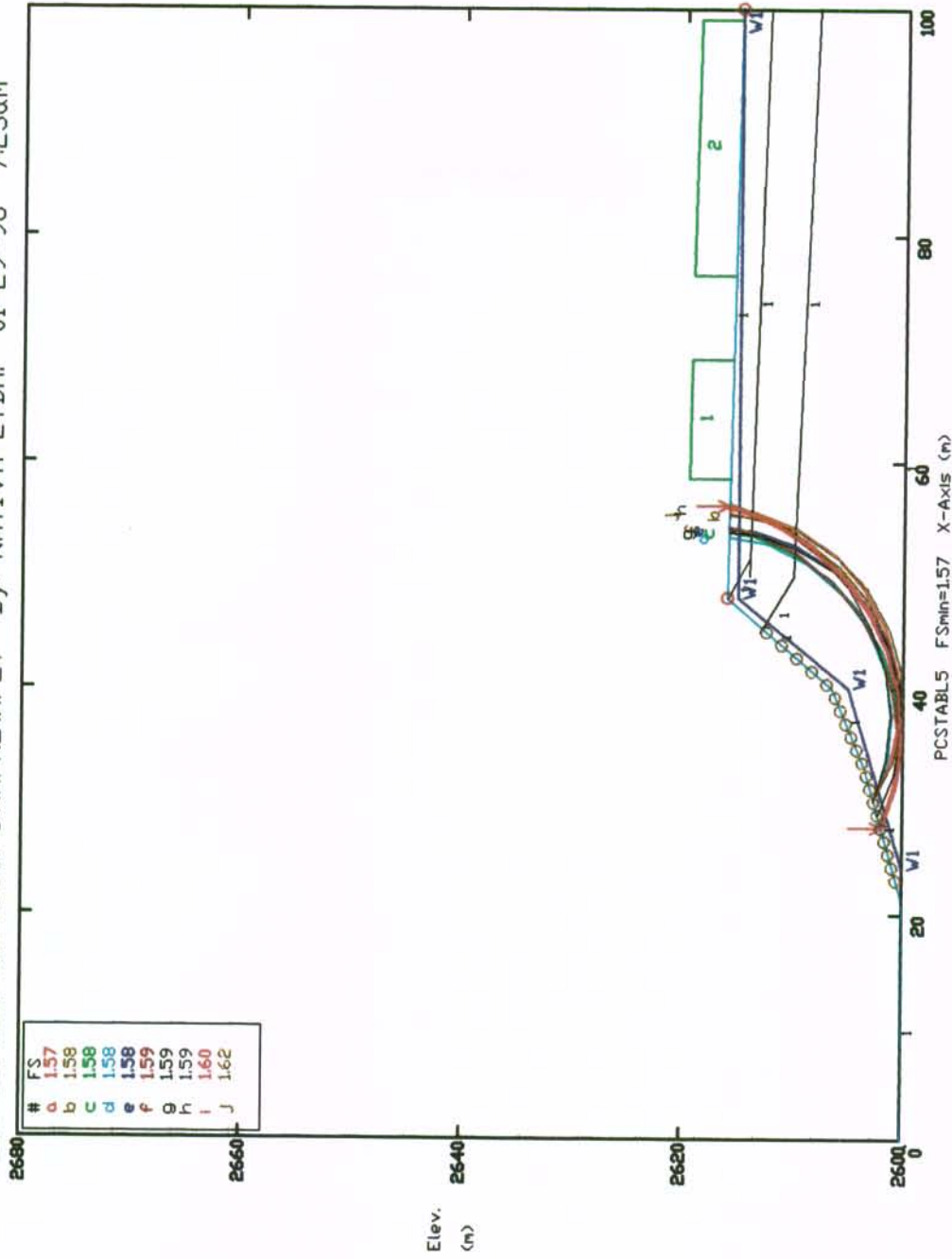
#	FS
a	1.62
b	1.63
c	1.64
d	1.64
e	1.65
f	1.65
g	1.65
h	1.66
i	1.67
j	1.67

Soil Type No. Label	Total Unit Wt. (KN/m3)	Saturated Unit Wt. (KN/m3)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 ARCILLAI	16.2	18.8	39.2	34	0	0	
2 ARENISCA	22.5	23.5	9.8	32	0	0	
3 ARCILLAZ	15.6	16.8	39.2	34	0	0	



**ESTUDIO GEOTECNICO BARRIO SAN RAFAEL PERFIL 989300E (2) - TALUD SATURADO**

Most Critical Surface. CIRAF2W,PLT By: NATIVA LTDA. 01-29-98 7:23a.m

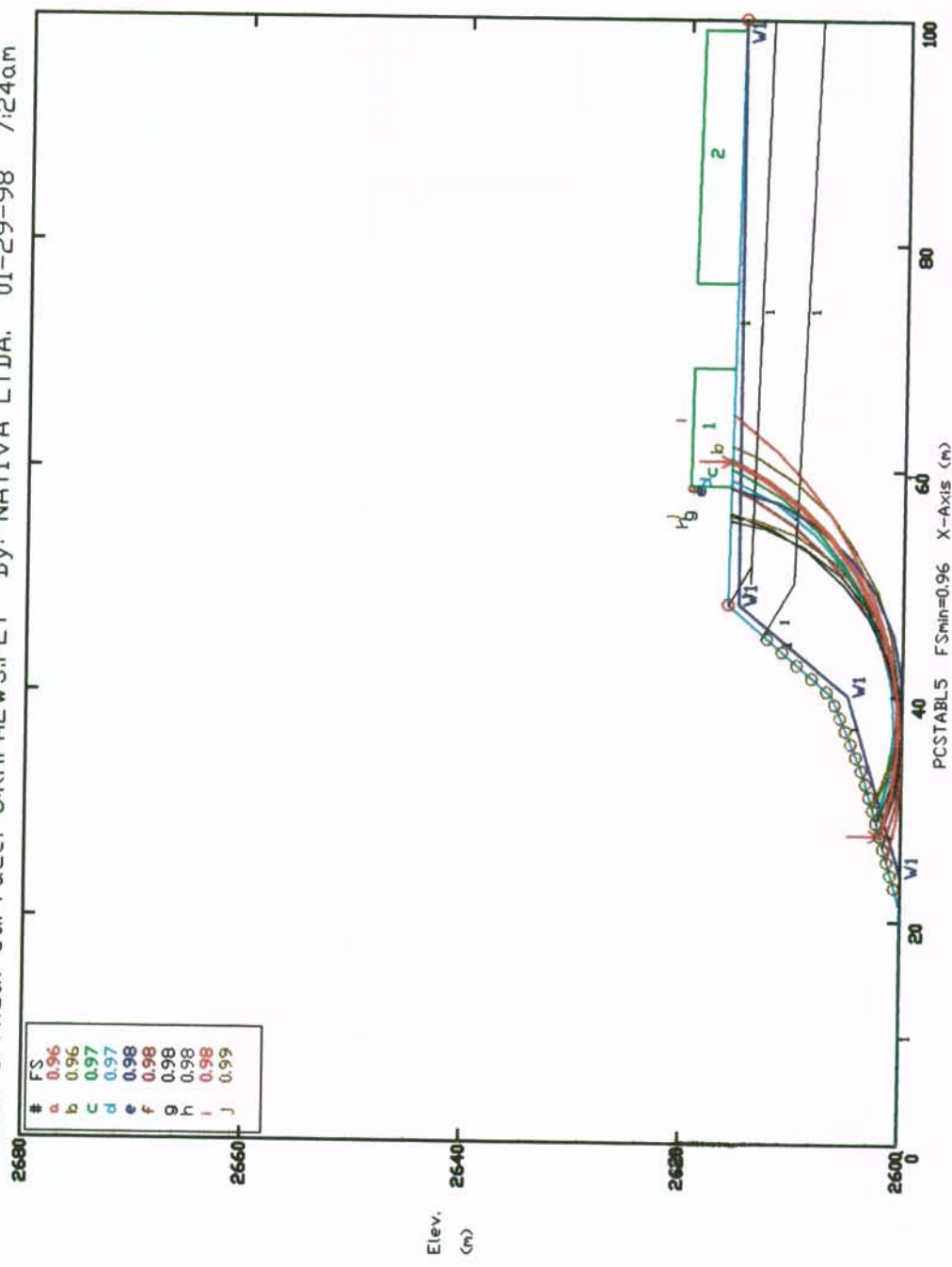


#	FS
a	1.57
b	1.58
c	1.58
d	1.58
e	1.58
f	1.59
g	1.59
h	1.59
i	1.60
j	1.62

PCSTABLE5 FSmin=1.57 X-Axis (m)

Soil Type No. Label	Total Unit Wt. (KN/m <sup>3</sup> )	Saturated Unit Wt. (KN/m <sup>3</sup> )	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez Surface No.
1 ARCILLAI	16.2	18.8	39.2	34	0	0	V1
2 ARENISCA	22.5	23.5	9.8	32	0	0	V1
3 ARCILLAZ	15.6	16.8	39.2	34	0	0	V1

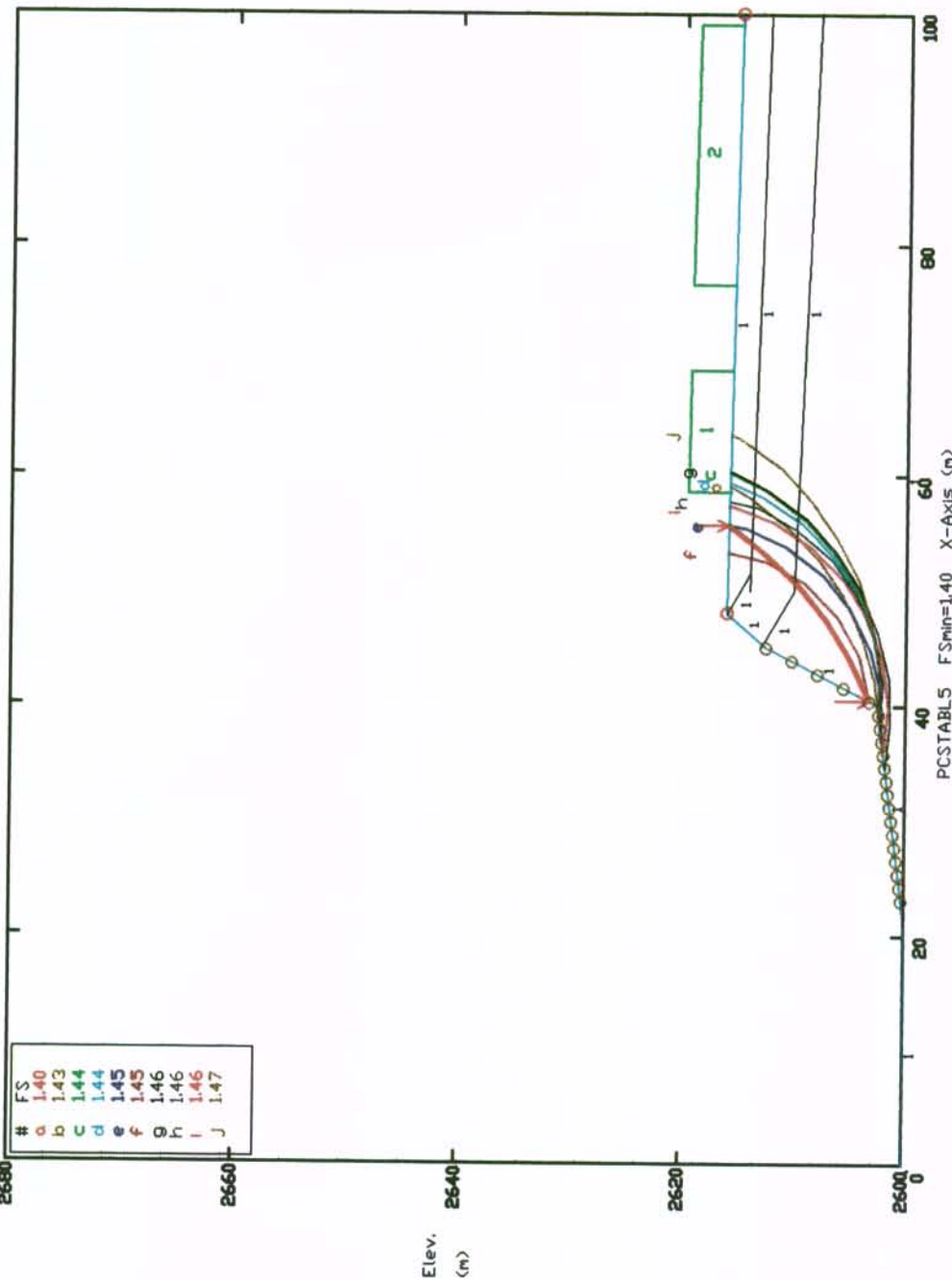
**ESTUDIO GEOTECNICO BARRIO SAN RAFAEL PERFIL 989300E (2) - TALUD SATURADO+SIS**  
 Most Critical Surface. CIRAF2WS,PLT By: NATIVA LTDA. 01-29-98 7:24a.m



#	FS
a	0.96
b	0.96
c	0.97
d	0.97
e	0.98
f	0.98
g	0.98
h	0.98
i	0.98
j	0.99

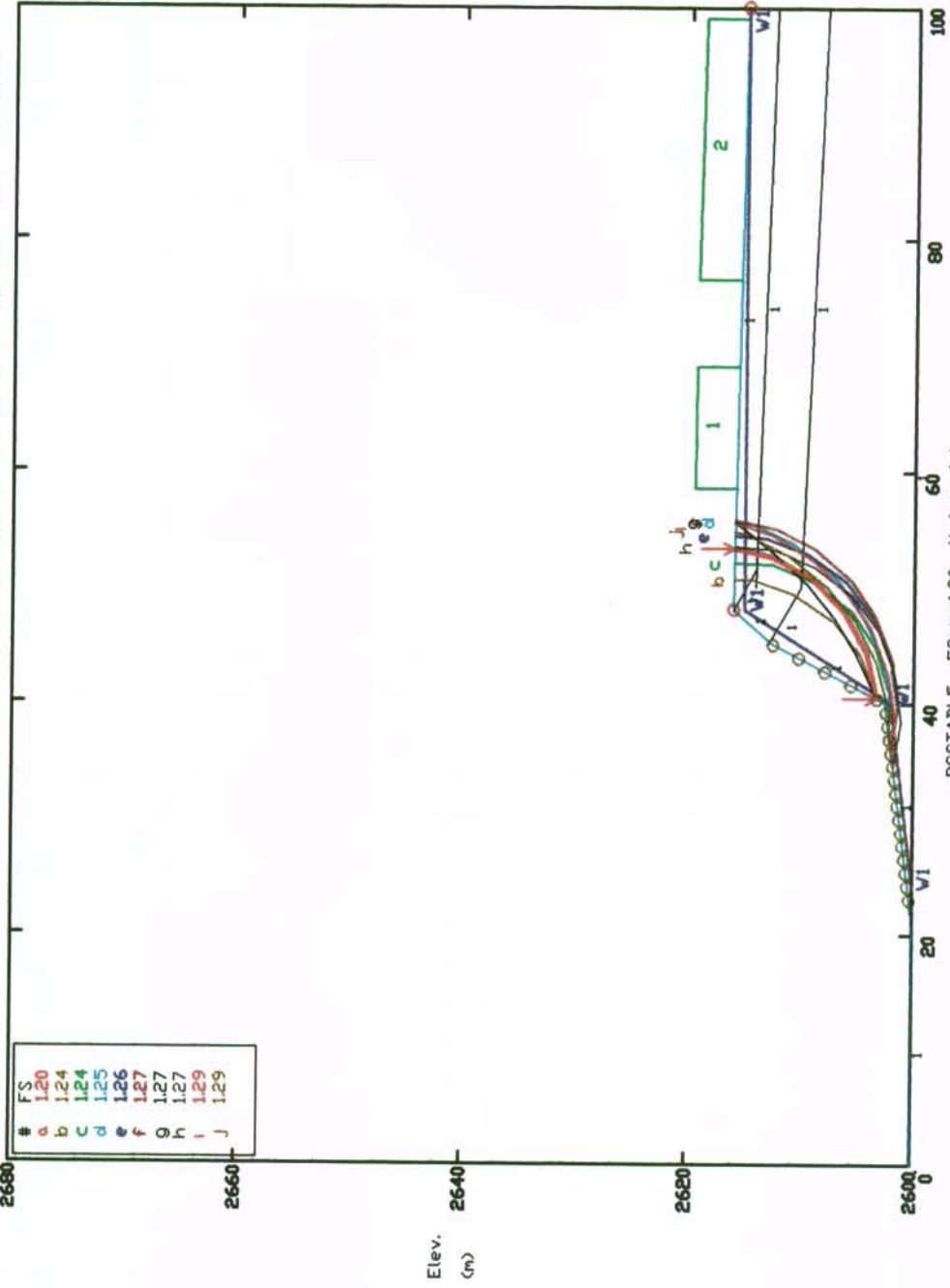
Soil Type No. Label	Total Unit Wt. (KN/m <sup>3</sup> )	Saturated Unit Wt. (KN/m <sup>3</sup> )	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Parame.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 ARCILLA1	16.2	18.8	39.2	34	0	0	V1
2 ARENISCA	22.5	23.5	9.8	32	0	0	V1
3 ARCILLA2	15.6	16.8	39.2	34	0	0	V1

**ESTUDIO GEOTECNICO BARRIO SAN RAFAEL PERFIL 989300E (2) - TALUD DRENADO**  
 Most Critical Surface, C:RAFA2FIN,PLT By: NATIVA LTDA. 01-29-98 7:35am



**ESTUDIO GEOTECNICO BARRIO SAN RAFAEL PERFIL 989300E (2) - TALUD BREVADE**  
 Most Critical Surface. C:RAFA2WFI,PLT By: NATIVA LTDA. 01-29-98 7:23am

SATURADO

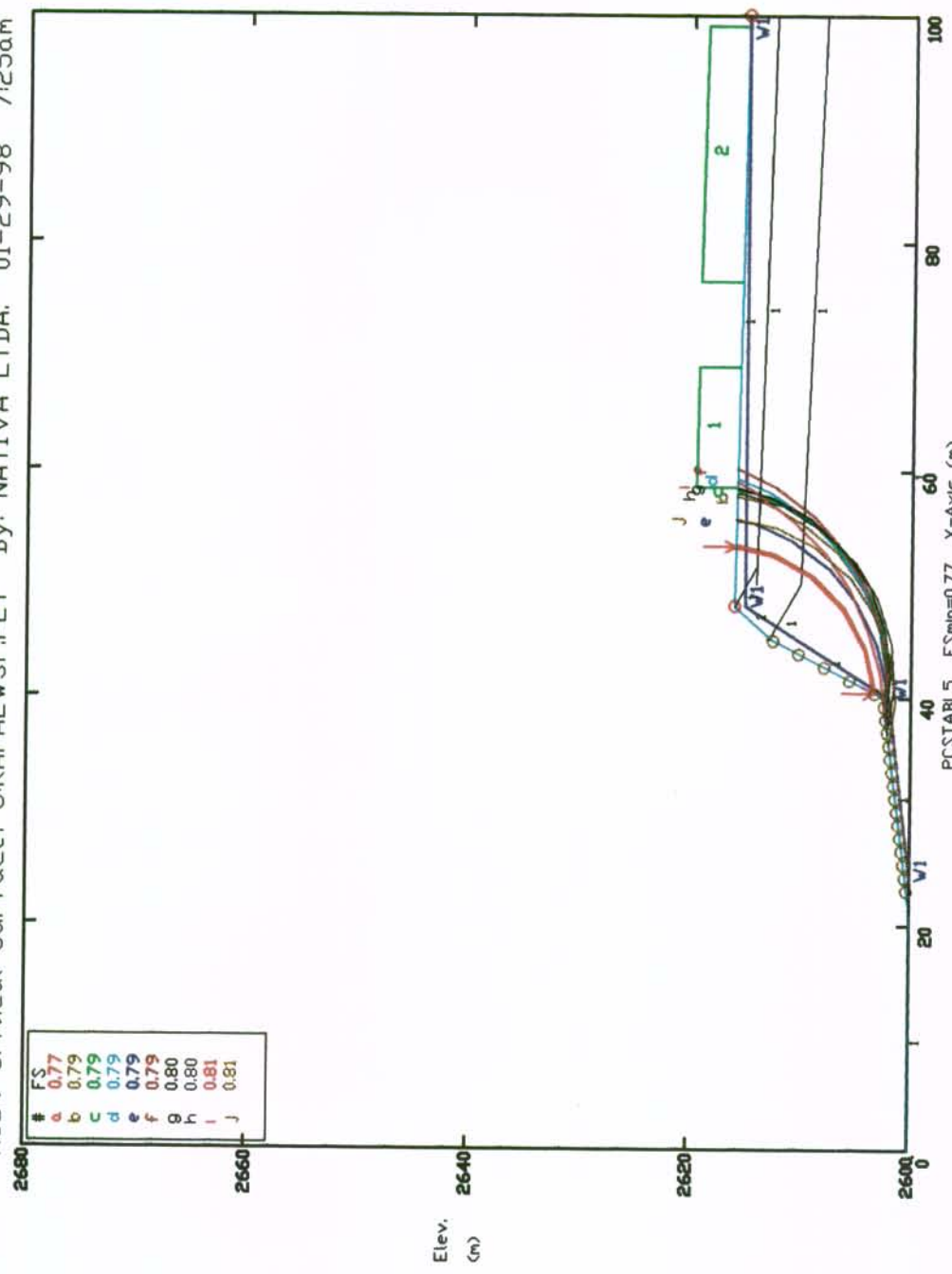


#	FS
a	1.20
b	1.24
c	1.24
d	1.25
e	1.26
f	1.27
g	1.27
h	1.27
i	1.29
j	1.29

Soil Type No. Label	Total Unit Wt. (KN/m <sup>3</sup> )	Saturated Unit Wt. (KN/m <sup>3</sup> )	Cohesion Intercept (kPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (kPa)	Piez. Surface No.
1 ARCILLAR	16.2	18.8	39.2	34	0	0	V1
2 ARENISCA	22.5	23.5	9.8	32	0	0	V1
3 ARCILLAR	15.6	16.8	39.2	34	0	0	V1

PCSTABLS FSmin=1.20 X-Axis (m)

**SATURADO + SISMO**  
**ESTUDIO GEOTECNICO BARRIO SAN RAFAEL PERFIL 989300E (2) - TALUD BRERARIBE**  
 Most Critical Surface. C:RAFA2WSF.PLT By: NATIVA LTDA. 01-29-98 7:25am



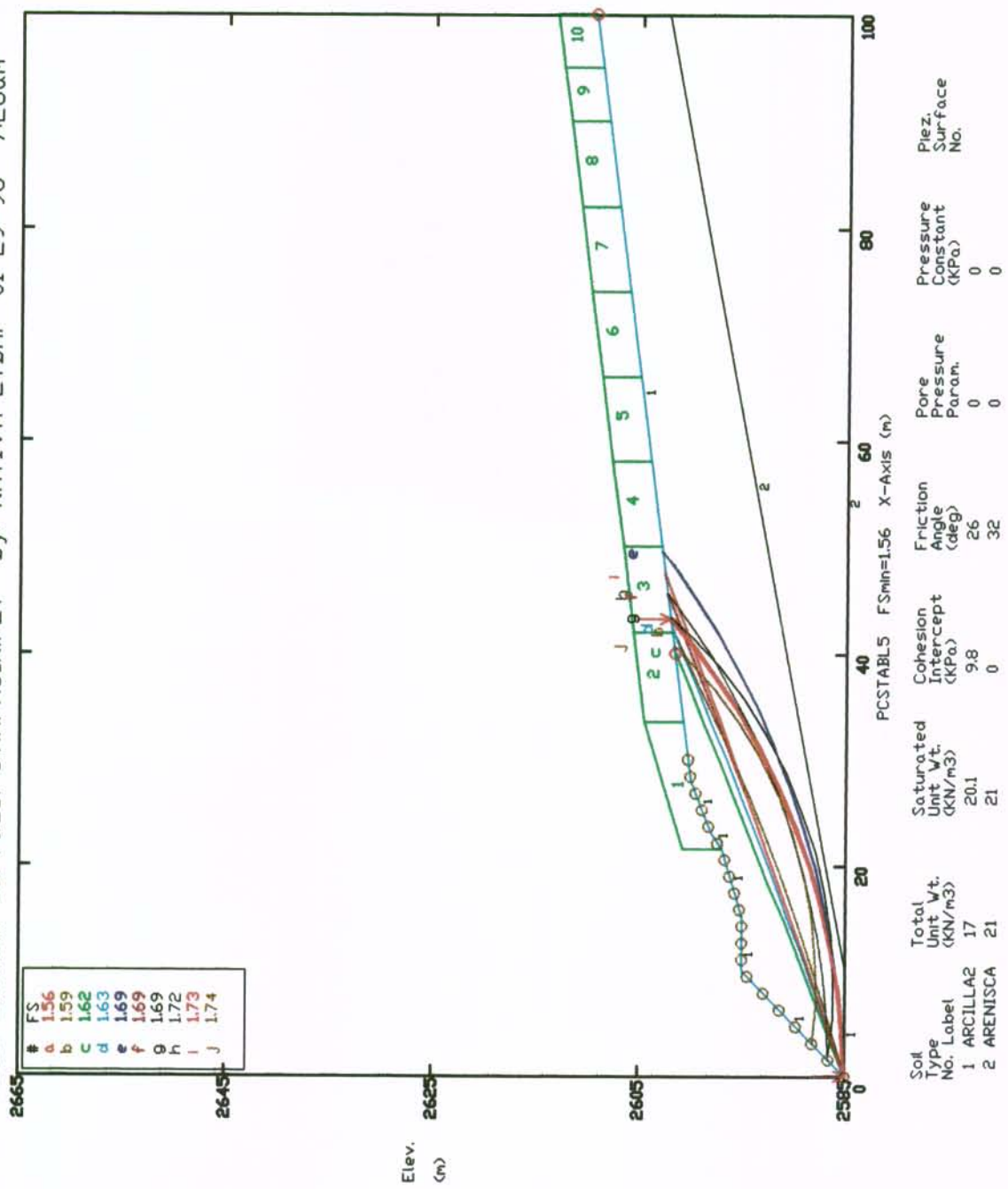
#	FS
a	0.77
b	0.79
c	0.79
d	0.79
e	0.79
f	0.80
g	0.80
h	0.81
i	0.81
j	0.81

Soil Type No.	Label	Total Unit Wt. (KN/m3)	Saturated Unit Wt. (KN/m3)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1	ARCILLAI	16.2	18.8	39.2	34	0	0	V1
2	ARENISCA	22.5	23.5	9.8	32	0	0	V1
3	ARCILLAR	15.6	16.8	39.2	34	0	0	V1

PCSTABLE FSmin=0.77 X-Axis (m)

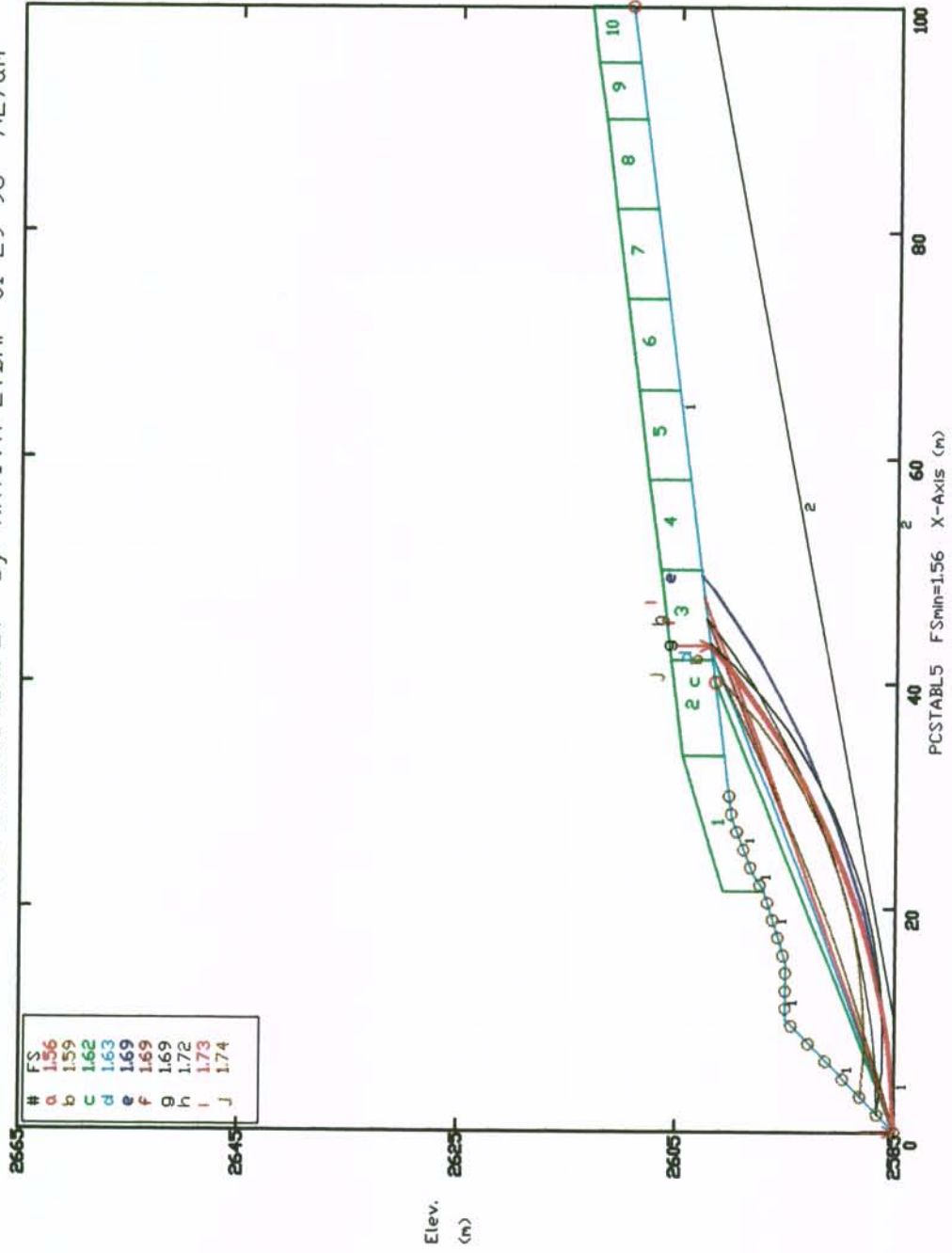
**ESTUDIO GEOTECNICO BARRIO SAN RAFAEL PERFIL 998925N (1) - TALUD DRENADO**

Most Critical Surface. C:RAFA3IN,PLT By: NATIVA LTDA. 01-29-98 7:26a.m



**ESTUDIO GEOTECNICO BARRIO SAN RAFAEL PERFIL 998925N (1) - TALUD DRENADO**

Most Critical Surface. CIRAF3WIN.PLT By: NATIVA LTDA. 01-29-98 7:27 a.m

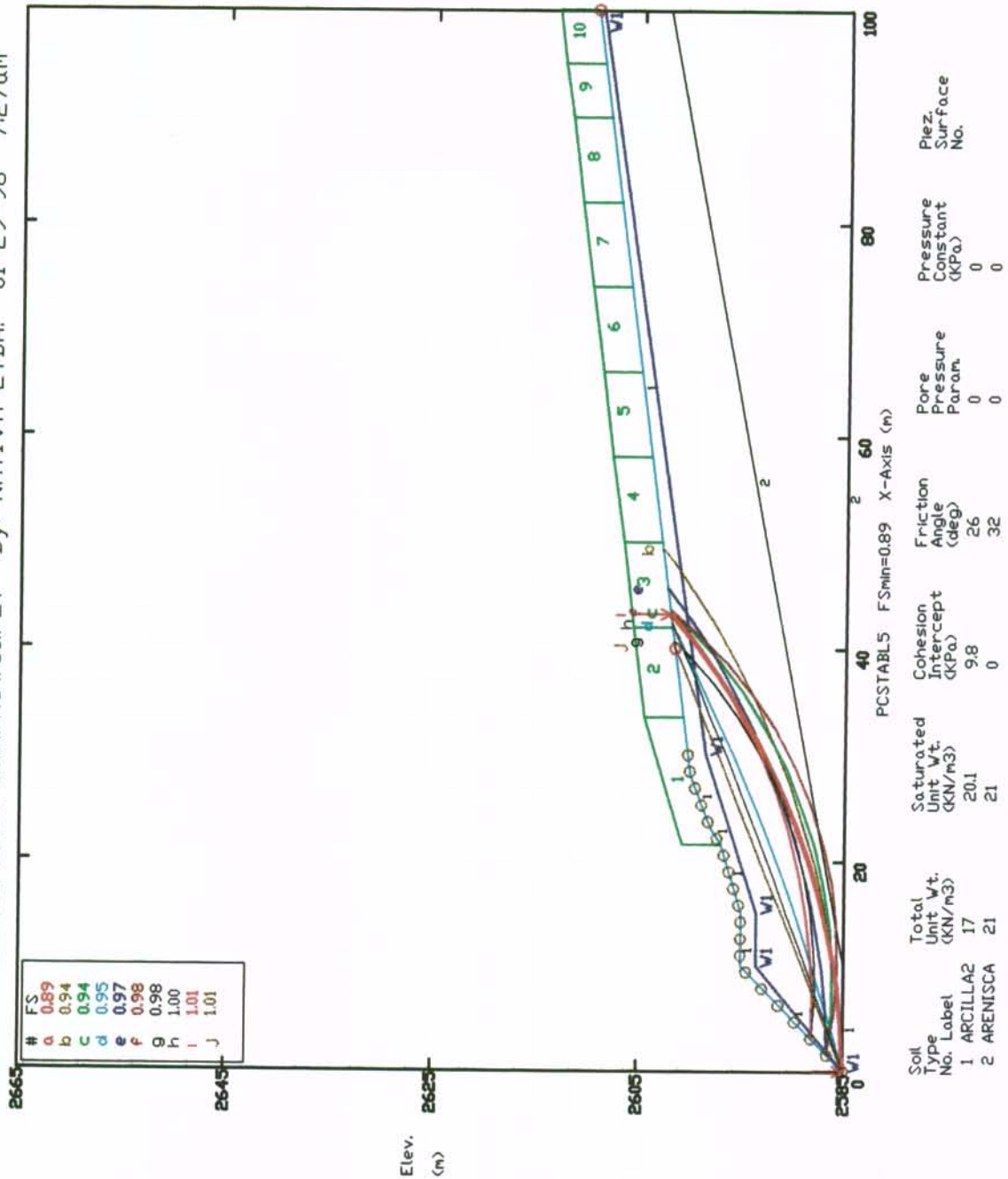


#	FS
a	1.56
b	1.59
c	1.62
d	1.63
e	1.69
f	1.69
g	1.69
h	1.72
i	1.73
j	1.74

Soil Type No. Label	Total Unit Wt. (KN/m3)	Saturated Unit Wt. (KN/m3)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 ARCILLA2	17	20.1	9.8	26	0	0	
2 ARENISCA	21	21	0	32	0	0	

PCSTABL5 FSmin=1.56 X-Axis (m)

**ESTUDIO GEOTECNICO BARRIO SAN RAFAEL PERFIL 998925N (1) - TALUD SATURADO+SIS**  
 Most Critical Surface. C:RAFA3WSI,PLT By: NATIVA LTDA. 01-29-98 7:27a.m





URBANIZACION SAN RAFAEL

ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA DEL BARRIO SAN RAFAEL.  
LOCALIDAD DE CIUDAD BOLIVAR (SANTAFÉ DE BOGOTÁ).



# ANEXO CARTOGRAFICO