

E 4

REPUBLICA DE COLOMBIA  
ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA



Bogotá, D. E. 10. de Marzo de 1989.

SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS

DIVISION DE ESTUDIOS

PROGRAMA DE RECUPERACION DE CANTERAS

LIGENCIA N° 392.

Cantera FINCA CARMEN DEL SOL  
Ubicación COSTADO SUR DE LA DIAGONAL 45B SUR A LA ALTURA DE LA CARRERA 8E, BARRIO MARCO  
Propietario CARMEN PARDO DE ALVAREZ FIDEL SUAREZ  
Responsable Proyecto CARMEN PARDO DE ALVAREZ

Se concede licencia para LA RECUPERACION MORFOLOGICA Y ECOLOGICA DE LOS TERRENOS DE LA CANTERA.

OBSERVACIONES LA PRESENTE LICENCIA ES VALIDA POR EL TERMINO DE SEIS (6) MESES CONTADOS A PARTIR DE LA FECHA DE SU EXPEDICION.

Los trabajos presentados en el Proyecto de Recuperación y que constituyen base de esta licencia, deben ser ejecutados según el programa autorizado y la División de Estudios controlará el desarrollo del mismo; las modificaciones y ajustes serán autorizados previamente. El incumplimiento del plan contratado dará lugar a la suspensión inmediata de la Licencia y el cierre total de los trabajos, no habiendo efectiva la póliza de garantía.

SECRETARIO DE OBRAS PUBLICAS

DIRECTOR DIVISION ESTUDIOS

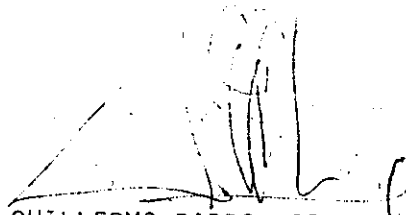


SP.

25 MAR. 2014  
0440138

Recibí de la División de Estudios de la Secretaría de Obras Públicas,  
el original de la Licencia de Explotación No. 392 de Marzo 10. de -  
1.989.

RECIBI :



GUILLERMO PARDO POSSE  
C.C. No. 19'241.819 de Bogotá.



## Resolución No. 392

" Por la cual se expide una Licencia de Recuperación Morfológica y Ecológica de una Cantera ".

EL SECRETARIO DE OBRAS PUBLICAS DEL DISTRITO ESPECIAL DE BOGOTA, en ejercicio de las atribuciones que le confiere el Decreto No.0105 de 1.988, y

### C O N S I D E R A N D O :

Que la Administración Distrital viene desarrollando un plan de manejo de las zonas de Canteras tendientes a la recuperación Morfológica y Ecológica de estos sectores conforme a lo previsto en los Decretos Nos 743 de 1.976 y 1901 de 1.985 de la Alcaldía Mayor de Bogotá.

Que según el Artículo 7o. del Decreto 743 de 1.976, se exige un Estudio Geológico y Proyecto de Recuperación Morfológica y Ecológica, el cual fué presentado y aprobado de acuerdo con las normas técnicas según la Resolución No. 3038 de 1.976 de la Secretaría de Obras Públicas del Distrito Especial de Bogotá.

Que por Resolución No. 371 del 5 de Julio de 1.988 emanada de la Secretaría de Obras Públicas del Distrito Especial de Bogotá, se fijó el valor de la Póliza de Garantía de Cumplimiento y se determinaron otros requisitos según el Artículo 7o. Numeral 9 del Decreto 743 de 1.976.

Que los propietarios, así como los explotadores o empresarios de tales industrias, deben responder por los perjuicios que pueda causar en desarrollo de tales actividades.

### R E S U E L V E :

ARTICULO PRIMERO : Conceder a la señora CARMEN PARDO DE ALVAREZ identificada con cédula de ciudadanía No. 20'265.739- de Bogotá, la Licencia para la recuperación Morfológica y Ecológica de los terrenos, por el término de seis (6) meses, en la Cantera localizada en el

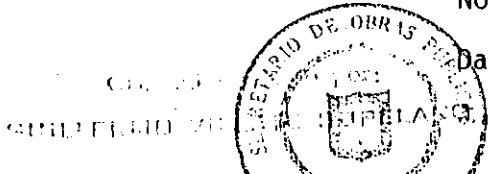
./.

Costado sur de la diagonal 45B sur a la altura de la carrera 8E, barrio MARCO FIDEL SUAREZ, jurisdicción de la Alcaldía Menor de Rafael Uribe, distinguido con certificado de tradición N° 0500457550 de la oficina de Instrumentos Públicos de Bogotá según Expediente C-525.

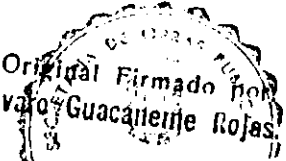
- ARTICULO SEGUNDO : El área de Recuperación para la cual se concede la Licencia es única y exclusivamente la delimitada en los planos que forman parte del proyecto aprobado por la Secretaría de Obras Públicas.
- ARTICULO TERCERO : Las obras de protección ambiental proyectadas en el estudio Geológico deberán ser plenamente realizadas en los términos previstos.
- ARTICULO CUARTO : La asistencia técnica a que se refiere el Artículo 7o. - Numeral 8o. del Decreto 743 de 1.976 debe realizarse por lo menos una (1) vez al mes ya que las condiciones del terreno así lo ameritan y sus observaciones y recomendaciones quedarán consignadas en el libro de las visitas que se lleva en la Cantera.
- ARTICULO QUINTO : En caso de incumplimiento de cualquiera de las obligaciones impuestas, así como las determinaciones en el Decreto 743 de 1.976, dará lugar a la revocatoria del permiso y se procederá a hacer efectiva la garantía sin perjuicio de las sanciones establecidas en el citado Decreto.
- ARTICULO SEXTO : Con todo el propietario o explotador responderá por todo perjuicio causado al Distrito Especial de Bogotá y a terceros en desarrollo de la Recuperación Morfológica y Ecológica especialmente respondiendo por toda violación a la ley 23 de 1.973 en la forma y términos que ella consagra.
- ARTICULO SEPTIMO : La presente Resolución rige a partir de la fecha de su expedición.

NOTIFIQUESE, COMUNIQUESE Y CUMPLASE.

Dada en Bogotá, D.E. a los **29 JUL. 1988**



**GUILLERMO VILLATE SUPÉLANO**  
Secretario de Obras Públicas



**ALVARO GUACANEME ROJAS**  
Director División Estudios

**CARLOS AUGUSTO TRUJILLO REY**  
Sub-Secretario de Obras Públicas

GJE/ 1cdr.-

810

NOTIFICACION PERSONAL

--

Hoy doce (12) de agosto de 1.988 notifique personalmente al señora CARMEN LUCIA PARDO DE ALVAREZ, con Cedula de Ciudadania No. 20.265.739 de Bogotá como persona natural propietaria de la cantera Carmen del Sol, advirtiéndole que contra la misma proceden los recursos de reposición y apelación dentro de los cinco (5) días siguientes.

LA NOTIFICADA:

Carmen Lucía Pardo de Alvarez  
C.C. No. 20.265.739 de Bogotá.

NOTIFICO:

Alfredo Amador Pardo  
C.C. No. 79.121.858 de Bogotá

000018

ESTUDIO GEOLOGICO  
(ESTABILIDAD DEL TERRENO)  
URBANIZACION CARMEN DEL SOL

NICOLAS MIRANDA ALVAREZ  
Ingeniero Geologo-Fotointerprete  
Matrícula Ingeniero No. 3426

Diciembre 4 de 1986

000019

INDICE

	PAGINA
I. INTRODUCCION	1
1.1 Objeto del Contrato	1
1.2 Método de Trabajo	1
2. GEOLOGIA DEL AREA DE LA URBANIZACION	4
2.1 Geomorfología	4
2.2 Estratigrafía	6
.1 Areniscas	6
.2 Arcillolitas	7
.3 Fierritas	7
.4 Limolitas	9
.5 Gredas, Arcillolitas Arenosas y Aremiscas arcillolíticas	9
.6 Cataclasitas	9
.7 Diques y cuñas agrilíticas y caoliniticas	10
.8 Suelos	10
2.3 TECTONICA	10
.1 Sinclinal de Usme	11
.2 Fallas	12
.2.1 Planicies San Jorge Marco Fidel Suarez	14
.2 Falla F1	15
.3 Fallas F2 y F5	16

000020

	<u>PAGINA</u>
.4 Fallas F7 y F8	16
.5 Fallas 9 y 10	16
3. GEOLOGIA REGIONAL	18
3.1 Análisis Geológico	18
4. ESTABILIDAD DEL TERRENO	21
4.1 Unidad Arcilla-Caolínica	22
.1 Escarpa ( $E_1$ )	23
.2 Escarpa ( $E_{21}$ )	25
4.2 Unidad Areniscosa	27
4.3 Derrumbes	29
.1 Desplomes	30
.2 Deslizamientos	30
4.4 ESTABILIZACION DE ESCARPAS: RECOMENDACIONES	32
.1 Escarpa ( $E_{12}$ )	32
.2 Escarpa ( $E_{16}$ )	33
.3 Escarpa ( $E_{15}$ )	34
.4 Escarpa ( $E_2$ ) y ( $E_6$ )	35
.5 Escarpa ( $E_3$ )	35
.6 Escarpa ( $E_4$ )	36
.7 Escarpa ( $E_{22}$ )	36



	<u>PAGINA</u>
.8 Escarpa (E <sub>23</sub> )	36
.9 Escarpa (E <sub>13</sub> )	37
.10 Otras escarpas	37
.11 Notas	38
.12 Zona de Caolinitas	38
.13 Gran Carcava	39
5. ESTABILIDAD NATURAL	40

PLANCHAS

1. - LOCALIZACION DE LA URBANIZACION CARMEN DEL SOL.
2. - MAPA GEOLOGICO DEL AREA DE LA URBANIZACION
3. - PERFIL LONGITUDINAL DE LA CUCHILLA "CERRO LA POPA"
4. - SECCION GEOLOGICA A<sub>1</sub> A<sub>2</sub>
5. - SECCION GEOLOGICA B<sub>1</sub> B<sub>2</sub>
6. - SECCION GEOLOGICA C<sub>1</sub> C<sub>2</sub>
7. - MAPA GEOLOGICO REGIONAL.
8. - CALCULO DE LA COHESION DE LA ARCILLOLITA
9. - NUMERACION DE ESCARPAS E INDICACION DE LAS OBRAS DE ESTABILIZACION DEL TERRENO.
10. OBRAS DE ESTABILIZACION DEL TERRENO.

## 1. INTRODUCCION

Los terrenos que ocupa la hoy llamada URBANIZACION CARMEN DEL SOL, con localización aproximada en la Diagonal 45B Sur con Carrera Octava del Sur Oriente de Bogotá, en los límites de este Municipio con el de Usme, - fueron sometidos a explotación petrea mediante chircales a partir de 1948 - 1951 (aproximadamente) según lo testimonia la historia aerofotográfica que engloba al sitio: en 1944 no habían explotaciones y en 1952 era incipiente; en 1960 la actividad era intensa. Los métodos de extracción aplicados en cuanto a la estabilidad del terreno se refieren carecían de toda técnica, los cuales dependían del gusto de cada arrendatario - explotador.

Ante esta circunstancia los PROPIETARIOS de estas tierras, al proyectar urbanizarlas, tratan de subsanar esas deficiencias técnicas mediante este trabajo geológico, lo cual sólo es posible mediante sacrificios de terreno.

### 1.1 OBJETO DEL CONTRATO

Efectuar los estudios geológicos para determinar las condiciones de estabilidad del terreno y formular prácticas de estabilización y construcción en el lote de terrenos "Urbanización Carmen del Sol" con un área global de un ciento trece mil novecientos cinco metros cuadrados (113.905 m<sup>2</sup>).

### 1.2 METODO DE TRABAJO

Para ejecutar la investigación geológica relacionada con la estabilidad del terreno se aplicó la fotointerpretación complementada con la exploración de campo superficial y la subsuperficial mediante apiques y trincheras.

Para la fotointerpretación se foto-estudio rápidamente la historia aerofotográfica desde 1940 hasta la fecha habiéndose seleccionado por la escala (detalle analizable), antigüedad y actualidad en relación con la explotación las siguientes:

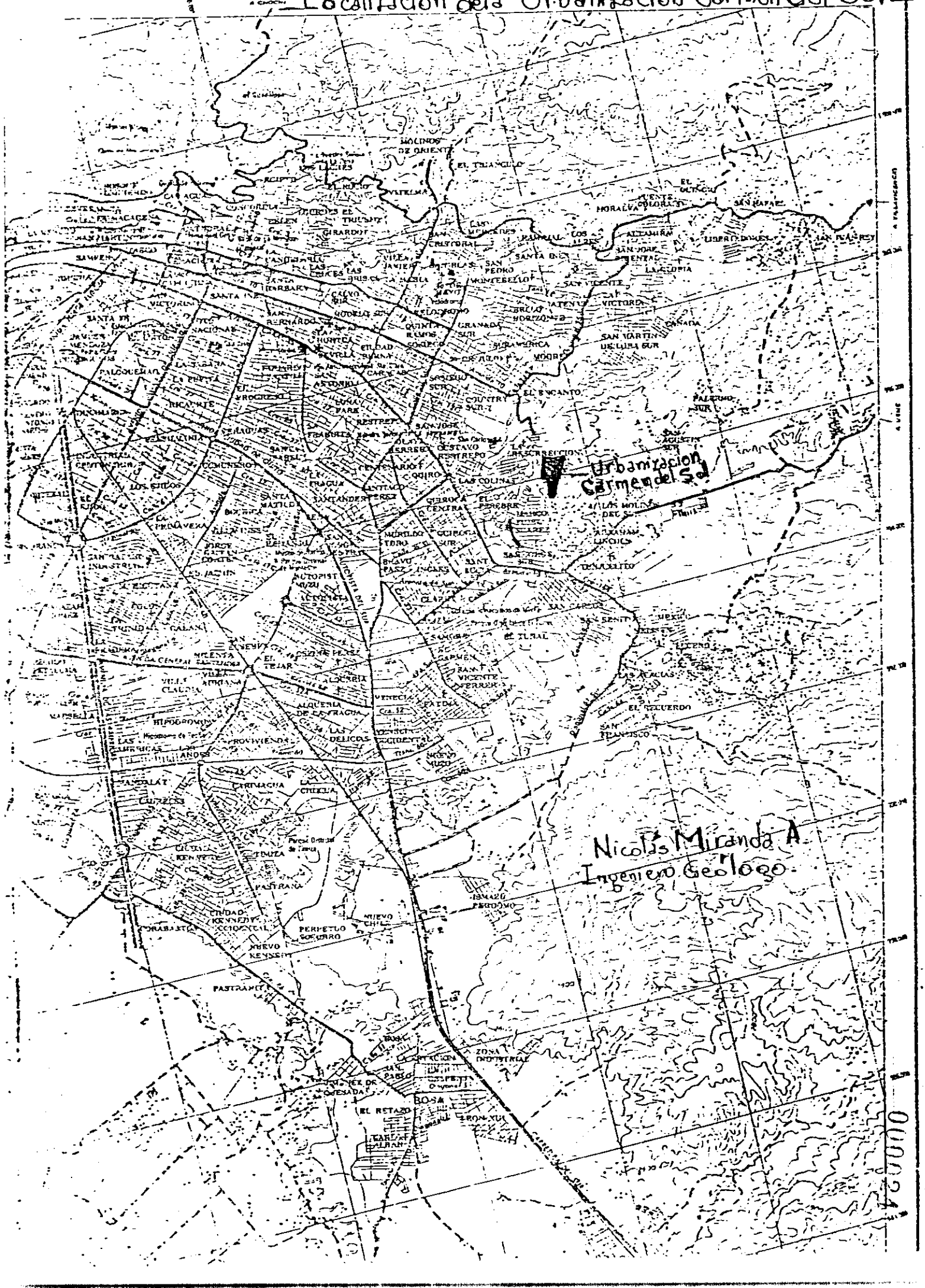
<u>Año</u>	<u>Vuelo</u>	<u>Sobre</u>	<u>Escala</u>
1952	C-620	20022	1/18.000
1984	C-2161	32443	1/12.000

Las de 1985 (un año vista de las seleccionadas de 1984) se desecharon por su escala reducida (1/30.000) que obscurecía detalles de explotación y estabilidad, y que por los métodos rudimentarios de explotación petrea aplicados a los chircales, a sólo fuerza humana, no ofrecía mayores variaciones del terreno, con respecto a las seleccionadas de 1984 cuya escala  $2 \frac{1}{2}$  veces mayor permite un mejor análisis del terreno.

Las muestras del terreno se estudiaron en el campo con una lupa de aumento, ocho (8X) provista de una escala a décimos de milímetros (0,1 mm. = 100  $\mu$ ) complementada con ensayos de mano (rollo, dureza a la trituración entre los dedos, raspado, moldeo, etc) en estado húmedo y seco según sea

# Plancha No. 1 (fotocopia de un plano de BOGOTÁ)

## Localización de la Urbanización Carmen del Sol



Nicolás Miranda A.  
Ingeniero Geólogo

BOGOTÁ

el ensayo que se efectúe. La lupa permitía detectar la presencia de arena y clasificarla en gruesa o fina y dar un porcentaje aproximado; para diferenciar la arcillolita de la limolita se aplicaron los ensayos de mano. Muestras que en estado seco estallan pulverulentamente al apretarlas entre los dedos o que dan mucho polvo al rasparlas con las uñas es limolita, pero si en cambio son muy duras, y no se rompen sus arcillitas; en estado húmedo si dan rollo fino o muy delgado (2 mm) con superficie brillante son arcillitas o (arcillas) muy plásticas. Las mezclas de esos 3 elementos presentan propiedades intermedias: por ejemplo un rollo más grueso (3 a 5 mm) que muestre aspereza o se note arena será una arcillolita arenosa, pero si difícilmente se forma rollo pero es algo duro a la trituración o rotura entre los dedos en seco será una arenica arcillosa; otro caso es un rollo fino pero en seco estalla con alguna dificultad al apretarlo entre los dedos y da algo de polvo al raspar la muestra seca con la uña: es una arcillolita (arcilla) limosa pero se da mucho polvo al rasparla (casi se axfixia uno con él) es una limolita (limo) arcillosa. Y así sucesivamente, con este método de mano y la lupa (8X) se puede hacer una clasificación granulométrica aceptable de campo.

El autor aprovechó la escasa diagénesis de las rocas para aplicar la clasificación de suelos cuyas propiedades mecánicas son bien conocidas lo que permite llenar más cabalmente los objetivos del trabajo.

## 2. GEOLOGIA DEL AREA DE LA URBANIZACION

El trabajo geológico se enfoca para facilitar los análisis de estabilidad.

### 2.1 GEOMORFOLOGIA

La "Urbanización Carmen del Sol" ocupa una faja de terreno que forma parte de la falda montañosa septentrional de la Cuchilla E-W "Cerro La Popa" cuya cima describe localmente un arco cóncavo hacia el norte con radio de 870 metros y ángulo interno de 100 grados. A su vez, constituye la vertiente izquierda de la micro-cabecera ( $0,7 \text{ Km}^2$ ) del corto Valle (2.5 kms) "San Jorge - Marco Fidel Suarez" que fluye en dirección global SE-NW, sobre el cual se asientan estos barrios del Distrito Especial de Bogotá. Los parámetros morfométricos de la cuchilla son: pendiente global de  $20^\circ$  hacia el N NE ó 3/1 con altura de 135 metros coronada a los 2753 $^\circ$  sobre la mar con el lote de la urbanización enclavado entre los 2620 y 2700 metros a lo largo de su pie. Esa geoforma natural fue alterada en lo que respecta a su pendiente por las excavaciones de la explotación petrea que avanzan montaña adentro, hacia su núcleo en dirección suroeste lo que generó frentes de ataque SE-NW alineados con el derrotero global de la cuchilla "Cerro La Popa".

El desarrollo de esas escarpas sensiblemente verticales que alcanzan los 20 metros de altura, fueron prolijadas por la modalidad de contratación de la

explotación petrea que solo permitía la extracción de la arcillolita (argilita) y el caolín prohibiéndose la de la arena, por lo que la excavación avanzaba siguiendo los estratos arcillolíticos (gransón en el lenguaje del sitio) la cual, por lo tendido de la estratificación (unos 10° SSW) es en planta de longitud apreciable (unos 50 metros) con las areniscas suprayacentes formando escarpa vertical hasta que interceptaban otro estrato arcillolítico-limoso suprayacente que secuencialmente sometían a explotación, con lo que se formaba un nuevo piso o escalón arriba del escalón y escarpa precedente, escarpa areniscosa montaña adentro cuya altura dependía de la posición de un nuevo horizonte explotable (arcilloso) superpuesto a la serie descrita. En ese avance hacía el suroeste del frente de trabajo explotaban las areniscas suprayacentes, que se desplomaban por la socavación de su base en primer término, desplome que se veía favorecido por su naturaleza blanda a medio dura y prácticamente incoherente de las areniscas.

La prohibición de explotarlas no permitía excavar en las areniscas directamente, (aunque si extraerlas a <sup>e</sup>manera de un subproducto), práctica de contratación y por ende de explotación cuya resultante son las escarpas verticales, que inciden en la inestabilidad del área.

Por ello hoy día, al suave paisaje de la pendiente natural del terreno la cual, como lo enseña la interpretación de las fotos aéreas de 1952 (cuando comenzaba la explotación) no exhibía rotura distinta a los cauces poco profundos de las cañadas que recogen la esorrentia (no hay derrumbes) se le

implantó una serie de escalones o abancalados con taludes relativamente altos (de 5 a 20 metros) según la potencia de la arenisca "no" explotable y los estratos de arcillolita explotables.

## 2.2 ESTRATIGRAFIA

El menú de rocas incluidas en los 113.905 metros cuadrados del lote pertenecen a la formación Usme (Tu en el Plano Geológico). Son sedimentitas.

2.2.1 Las arenicas. (s) friables, blandas a moderadamente duras, de medio a grueso granulares ocasionalmente con granulos de cuarzo; en un afloramiento (1) es francamente gravilosa (diámetro de un centímetro y 25%) y en otros tres finogranulares.

Su cemento es arcilloso (medio duras en seco, plásticas húmedas) y también limolítico (estalla la muestra seca al presionarla entre los dedos con relativa dureza). Son de color claro: blanco a crema con motes café exceptuándose donde la cortan zonas de fallas cuya mayor fracturación indujo intensa ferruginización que le confiere una coloración roja con mucha "fierrita" entrecruzada. Indistintamente y en corta distancia cambian a gredas o a limolitas arenosas, indicando un desconcertante cambio de facie y dificultad en seguir las en afloramientos no continuos y mas bien dispersos. Frecuentemente están cortadas por diques de arcillolitas las cuales no son otra cosa que fallas y diaclases rellenas por la arcillolita de los estratos supra e infrapuestos que



fué inyectadas cuando esas estructuras lineales se abrieron: son de tensión.

Frecuentemente con estratificación cruzada, con la del afloramiento (7) de tipo torrencial estrellándose angularmente contra la débil capa de 0.3 metros de espesor de la limo-arcillita blanca grisosa infrapuesta.

2.2.2 Las arcillolitas (c) muy plásticas (rollo pulido y fino; fácilmente moldeable entre los dedos) no se desintegran sumergidas en agua (slacking test). Muy duras en seco, otras estallan al oprimirlas entre los dedos lo que indica su carácter limoso; otras al examinarlas bajo lupa (8X) muestran abundante arena de cuarzo grueso granular, siendo arcillolitas arenosas. Son gris plata. Cambian con relativa frecuencia a caolinita blanca moteada de violeta por la ferruginización.

2.2.3 Fierrita (Fe) Es el nombre que los explotadores petreos adoptaron para las fuertes acumulaciones de hierro, pero con dos orígenes distintos. Es igual y de color hierro.

1) En unos casos por la contención de aguas subterráneas ferruginosas en los planos de estratificación suprayacentes a las arcillolitas; su dureza aumenta la resistencia del conjunto; se encuentra en la base de las areniscas, siendo una fierrita areniscosa.

De notar es que en dos afloramientos (4) y (5) Mapa Geológico Regional

000030

fuera de la urbanización, esa ~~de~~ "Fierrita de estratificación" forma bolas esferoidales con estructura igualmente esferoidal de cascarones de fierrita de un centímetro de espesor separados por cuerpos de la roca matriz (arenisca); estos bolos esferoidea tienen los lados aplanados en el sentido de la estratificación con sección ligeramente rómbica, lo que indicaría que estos estratos estuvieran sometidos a esfuerzos cizallantes mediante un "par de fuerzas" paralelas a la estratificación, par que pudo ser generado por un deslizamiento tectónico de la serie sedimentaria <sup>supra</sup> sobre la infrayacente firme: la conclusión es que dentro de la formación Usme hubo despegamientos estructurales durante el plegamiento. Complementario de lo anterior, porque enseña la secuencia tectónica, es que dentro de zonas de falla (sitio 2. en el Mapa Geológico) forma parte de la cataclasta sedimentaria bolos de esta clase lo que indica un tectonismo posterior a la formación de esta "fierrita de bolos estratigráficos".

2) La otra fierrita está emplazada en la fracturación generada por fallas y por lo tanto se encuentra no sólo en las areniscas como anteriormente, sino también en las arcillo-coalinitas; en esta área característicamente es una modalidad para detectar y seguir fallas y la amplitud de su zona (la falla f1) de gravedad fue detectada y seguida en esta forma, al sur (unos 5 a 10 metros) del carretable que enmarca el límite meridional del lote, sitios (3) plancha geológica.

Ese material es el "cancho" según el lenguaje de los chircaleros y por su resistencia a la rotura con herramientas de mano le huyen.

2.2.4 Limolitas (L) Hay muchas rocas que estallan "Pulverulentamente" al apretarlas entre los dedos. El autor las examinó con lupa de ocho aumentos provista de escala a decimos de milímetro (0.1 mm). Ocasionalmente lograba ver granos; serían areniscas muy finas con escaso cemento arcilloso, pero el carácter pulverulento la asimila a limolitas.

2.2.5 Gredas, Arcillolitas arenosas (Cs) y areniscas arcillolíticas (Sc). Fueron dilucidadas con la lupa las cuales a primera vista eran clasificables como arcillolitas o argilitas puras.

Un mismo estrato cambiaba rápidamente de facie de arenisca o arcillolita a estas modalidades sedimentarias. También verticalmente en la secuencia estratificada a un estrato de arenisca lo suprayacia una greda (areniscosa o arcillolítica) y luego seguía la argilita.

2.2.6 Cataclasitas sedimentarias (Ct). Se encuentran en las zonas de falla frecuentemente; facilita su detección en el terreno la "fierrita" ya que esta, a manera de un cascarón de 1 a 3 centímetros de espesor, separa o engloba los cuerpos areniscosos de los arcillolíticos dejando ver su naturaleza errática y no estratiforme ya que por el tamaño de los bolos (con diámetros de 1 a 3 metros) en cortos o dispersos afloramientos, como es el caso normal, aparecerían como simples estratos. Los pares estereos copicos No. 1, 2 y 3 la enseñan.

2.2.7 Diques y cuñas argilíticas (arcillolitas) y caoliníticas. Cortan frecuentemente las arenicas, algunas veces estratiformemente; son inyecciones provenientes de las unidades plásticas vecinas. El par estereoscópico No. 4 muestra un ejemplo.

2.2.8 Suelos. Son residuales de carácter arcilloso y normalmente de escasa potencia (0.5 metros de espesor) excepto en las zonas de falla que transversalmente (en dirección global de la pendiente) cortan el terreno donde la mayor trituración de la roca tuvo el doble efecto de permitir una mayor erosión superficial por la escorrentía y atraer hacia sí el flujo subterráneo. El efecto combinado de esos dos procesos fué la meteorización más profunda de la roca y el desarrollo de hondonadas de escurrimiento a lo largo de esa zona: aquí el espesor del suelo alcanza los dos (5) metros de profundidad y es húmedo lo que genera problemas de estabilidad cuando lo intercepta una escarpa de la explotación petrea. En el plano geológico (plancha 2) se marcan las zonas de suelos profundos.

### 2.3 TECTONICA

La cuchilla "Cerro La Popa" con orientación acimutal de  $110^{\circ}$ , en cuya falda septentrional se encuentra el lote de terrenos de la Urbanización Carmen del Sol cuya estabilidad se estudia, es parte de la nariz norte del sinclinal norte - sur de Usme.

Como la estratificación buza con azimut de 200 a 245°, es decir SSW, los estratos se clavan montaña adentro hacia su núcleo.

Al observar el paisaje desde la distancia, en el perfil longitudinal de la cuchilla se aprecián quiebres anómalos en su geoforma. Mediante la fotointerpretación o la exploración de campo en sitios escogidos se comprueba que esos quiebres guardan relación con fallas que cortan transversalmente la cuchilla y le dan su contextura geológica: es una alternancia de bloques hundidos y levantados, o sea grabenes y pilares tectónicos en secuencia E-W (ver plancha 3: perfil longitudinal de la cuchilla cerro La Popa". El bloque que contiene el coronamiento de la cuchilla a 2753 metros sobre la mar, donde se encuentran los transmisores de la Empresa de Acueductos y Alcantarillados, es un pilar o horst tectónico con sus vecinos laterales al este y oeste convertidos relativamente en grabenes: los separan las fallas maestras (f3) y (f4) como se indica en la Plancha 7: Geología Regional.

Ese comportamiento isostático es explicable por la base plástica o elástica que ofrecía las arcillolitas de la formación Bogotá a la Usme, y dentro de la misma Usme las unidades arcillo caoliníticas a sus suprayacentes areniscosas.

### 2.3.1 Sinclinal de Usme

Para explicar los cambios rápidos de facie en las rocas constitutivas del área del lote bajo estudio tratamos en este capítulo esta estructura geológica.

Observando desde su vecindad norte la Cuchilla "Cerro La Popa" se aprecia que la estratificación del bloque al occidente de la falla (f4) hasta la Avenida Caracas buza al Oriente en dirección a la citada falla, formando en la vecindad de ésta una suave arruga sinclinal N - S hecho también estructuralmente anómalo porque pasando la falla (f4) la estratificación cambia bruscamente a NSE (210° aproximadamente). No hay un desarrollo gradual de rumbo en la estratificación para pasar del ala occidental del sinclinal a la nariz del mismo.

Ese cambio anómalo en la estratificación al occidente y oriente de la falla (f4) y la arruga sinclinal que ofrece el bloque occidental (plancha 7) en su vecindad induce a pensar que durante el basculamiento de bloques (constituídos por la serie de la Usme) flotantes en ese mar plástico-elástico de las arcillolitas de la formación Bogotá, el bloque occidental (o bloques porque varias fallas lo subdividen: Plancha 7) entre la (f4) y la Avenida Caracas cabeceó hacia el Oriente, contra la falla.

Esa mecánica es muy factible porque el levantamiento del bloque central comprendido entre las fallas (f3) y (f4) debió atraer, para compensar volúmenes, hacia su base o cimienta material plástico del cimienta arcillolítico de sus bloques vecinos, con mayor volumen y por ende hundimiento en la proximidad de las fallas, mecanismo que se esquematiza en la Figura 2 de la Plancha 3.

Por otra parte, los cambios erráticos y rápidos de facie que caracteriza la

litología de las rocas de la formación Usme encuentra cabal explicación mediante este basculamiento y cabeceo isostático de bloques y que este cambiaba en el tiempo y el espacio.

La arruga sinclinal que se formó en el bloque occidental se debe al arrastre hacía arriba de sus estratos por la fricción generada a lo largo de la falla (f4) por su cabeceo hacía abajo con respecto al bloque central.

### 2.3.2 Fallas

Dentro de los 113.905 metros cuadrados abundan estructuras lineales; las fallas que característicamente aquí están acompañadas por un juego de diaclasas bien desarrolladas en las areniscas que le son paralelas.

La mayoría tienen rumbo paralelo al pie montañoso que marca el contacto remarcablemente recto de la cuchilla "Cerro La Popa" y la planicie "San Jorge - Marco Fidel Suarez", y escalonadas hacía la planicie. Las fallas están rellenas de arcillolita y caolinita a manera de "diques" (estereopar No. 4) la cual fué inyectada durante el tectonismo desde los horizontes arcillo-caoliniticos vecinos: son fallas de tensión.

Han incidido en la morfogenia del área y en sus características de estabilidad por haber facilitado, como se dijo en el numeral 2.2.8, el desarrollo de suelos más profundos.

### 2.3.2.1 Planicie San Jorge - Marco Fidel Suarez

La presencia de fallas de gravedad escalonadas hacia la planicie San Jorge Marco Fidel Suarez hace posible que el contacto singularmente recto de la Cuchilla montañosa con la planicie sea una falla; por la débil resistencia erosiva de las rocas de la formación Usme (areniscas poco coherente, sueltas y argilitas), ese contacto debiera ser sinuoso de ser el producto de erosión fluvial por la divagación lateral de la corriente que lo tallo' y no recto. A este respecto, el sitio (6) contiene una falla de gravedad con rumbo sensiblemente E-W buzando  $80^{\circ}$ N, a 20 metros del contacto de la cuchilla con la planicie.

Por el norte la enmarca la Cuchilla San Carlos en contacto también recto pero angularmente con respecto al pié montañoso de la Cerro La Popa, angularidad que es también anómala si el desarrollo de esta planicie fuera fluvial y notectónico.

Por lo anterior puede sustentarse la hipótesis de que la planicie San Jorge-Marco Fidel Suarez es un bloque hundido que fué invadido a manera de una entrante, por el lago de la Sabana de Bogotá y atraído hacia sí la escorrentía superficial que modificó ligeramente su geofoma original.

Habría que encontrar en su marco norte (la cuchilla Cerro San Carlos) una falla de gravedad que buce hacía ella para que sea un graben, lo que parece improbable ya que las rocas que afloran en su cabecera (cono oriental



de la planicie) no presentan flexura tectónica alguna, sino que siguen la aptitud global de la estratificación.

#### Falla (f1)

Esta fué una lineación fotointerpretada con buzamiento hacía el norte describiendo un amplio arco cóncavo hacía el norte, cuya traza por su desplazamiento horizontal refleja su bajo buzamiento.

Durante el trabajo de campo se detectó en el sitio (7) una falla de gravedad en arenisca con inclinación de  $35^\circ$  en dirección acimutal  $60^\circ$  la cual sensiblemente coincide con la (f1). Su superficie de falla es pulida y rellena con un dique de caolinita (parestescópico 4) de unos 0.2 metros de espesor; en el muro se encuentra infrapuesta a una potente arenisca un estrato de caolinita del cual debió provenir la inyección en la falla.

Por su superficie pulida debió ser inicialmente una falla de cizalla producto de una compresión N - S a lo cual apunta también su anómalo pequeño ángulo de buzamiento (todas las demás tienen buzamientos superiores a los  $75^\circ$ ); finalmente al disiparse la compresión se transformó en una de gravedad abierta para poder admitir en su plano la inyección de caolinita. Al hacer su replanteo geométrico (trazo f6) coincide con una faja de cataclasitas sedimentarias (estereopar 1 y 2) habiendo contribuído a la generación de la Gran Carvara (Ver plano Geológico Area del Proyecto).

Fallas (f2) y (f5)

Estas cortan transversalmente el área del proyecto y convergen hacia la Gran Carcava" habiendo triturado la roca a lo largo de su rumbo. Esa trituración facilitó el trabajo erosivo de la escorrentía lo que generó la "Gran Carcava" y atrae hacia su rumbo el flujo subterráneo generando problemas de estabilidad en su cabecera (estereopar No. 5).

Ambas se comprobaron en los sitios (8) y (9) de la Plancha 2, respectivamente. La (f2), de mayor importancia, debilitó en mayor grado el terreno por lo que a lo largo de su trazo se desarrolló un suelo más profundo que afectó adversamente la estabilidad de la cabecera de la Gran Carcava la cual, como se parecía en el parestereoscópico 5 se derrumba en forma de "Paso de gato" (catstep); al efecto de la falla se sumó la verticalización de la escarpa que el cantereo antitécnico produjo.

Fallas (f7) y (f8)

Cortan con rumbo E-W el ángulo suroriental del lote; son paralelas [rumbo y buzamiento ( $85^\circ$  y  $86^\circ$ )) iguales] siendo 2 de las únicas tres que buzan hacia el sur. Su presencia no es relevante en el afloramiento pero su importancia es máxima para poder descifrar el desconcertante cambio estratigráfico en sólo 50 metros de longitud. El bloque de 30 metros de ancho comprendido entre las fallas se levantó en relación con sus encajante sur y norte.

Fallas (9) y (10)

Se detectaron en el patio (15) donde se presenta una mezcla errática de areniscas y arcillolitas. Al hacer su reconstrucción geométrica se ve que en el se cortan y que allí hay; inyección de caolinita tanto estratiforme como ediques dentro de la arenisca que en los barrancos aflora.

La (f9) buza  $78^\circ$  hacia el norte y la (f10)  $77^\circ$  hacia el sur; conforman un pequeño graben. La (f10) es la tercera que buza hacia el sur en medio de el sistema escalonado E-W que buza hacia el norte.

Hay un cuerpo de arcillolita gris plata que en la barranca oriental de la excavación que formó al patio ladrillero aflora como un estrato que a sólo 20 metros y ya rodeando la base de la escarpa sur se hincha para luego repentinamente adelgazarse a otros 20 metros en la base del flanco occidental de la escarpa que enmarca este patio, donde abruptamente se pincha a manera de un lente. Esa errática geometría refleja que es una inyección o que fue expulsada poniendo en contacto las areniscas supra e infrapuestas que la encajan en los flancos oriental y sur.

#### DISCORDANCIA.

A lo largo de la escarpa  $E_{10}$  (estereopar 6) la estratificación de su mitad superior corta angularmente la estratificación de la mitad inferior, cayendo hacia la gran cárcava, con la línea de contacto suavemente ondulada a manera de una superficie de erosión. Esos hechos indican una discordancia angular aunque es confundible con un deslizamiento por ser una arcillolita el horizonte erodado el cual como se ha visto antes pudo haber sido expulsado, e inclinarse hacia la profunda depresión topográfica de la Gran Cárcava cuya genética se debe a las fallas F2 y F5 ; pudiendo haber sido un deslizamiento tectónico.

### 3. GEOLOGIA REGIONAL

Las frecuentes inyecciones arcillo-coaliníticas que cortan las areniscas de la Usme a manera de diques transversales, estratiformes y lubricando los planes de falla provienen hacia la base de la formación Usme de las arcillolitas de la Bogotá y en los niveles superiores de las arcillo-coalinitas de la misma Usme.

La abundancia de estas inyecciones en la Usme (y relativa infrecuencia en otras formaciones geológicas) requiere de un medio genético propicio que no es otro que una base o cimiento de sustentación fluída sobre el cual floten cuerpos (témpanos). La unidad fluída tiene que ser la arcillolita de la formación Bogotá y los témpanos son los bloques de la Usme que al oscilar en medio de esa mar arcillo plástico-elástica activaron sus propias arcillo-coalinitas para que se inyectaran en sus areniscas encajantes.

Lo anterior sustenta la hipótesis del autor sobre un despegamiento (decóllément) en el contacto de la formación Usme con la Bogotá.

Para sustentar esa hipótesis con análisis es que se incluye este capítulo.

#### 3.1 Análisis Geológico

Como antes dije, la abundancia de estas inyecciones evidencia y sustenta

la hipótesis de que la serie constitutiva de la formación Usme flotó como una gran plataforma sedimentaria sobre el gigantesco lago o mar arcillo plástico de la Bogotá; era un despegamiento (de *décollement*) en el contacto de la formación Usme con la Bogotá; y dentro de la misma Usme también se produjo ese despegamiento en contactos de sus areniscas con las infrapuestas arcillo-caolinitas.

Por lógica, el fallamiento del paroxismo tectónico rompió esa "plataforma Usme" en numerosos bloques los cuales por la agitación vibratoria del "lago - plástico - elástico Bogotá" basculaban y cabeceaban isostáticamente hundiéndose, levantándose e inclinándose sin orden alguno. Este vaiven de los tempanos de la Usme trajo otra consecuencia: variaciones en cortas distancias y frecuentes en la sedimentación lo que explica los rápidos cambios de facie que muestran sus horizontes. También explica la contextura tectónica de las cuchillas Cerro la Popa (y San Carlos al norte), y el hundimiento de la planicie San Jorge - Marco Fidel Suarez.

El despegamiento de la formación Usme sobre la Bogotá en su estado plástico - elástico durante el paroxismo tectónico liberó a la flotante plataforma Usme de la mayor parte de las fuerzas plagantes por lo que no sufrió las contorsiones e intensa diagénesis que presentan las unidades geológicas infrapuestas a la Bogotá (Guaduas, Guadalupe, Villeta y la Caqueyá que es casi una cuarcita): La Usme son arenas compactadas pero totalmente sueltas. La hipótesis del despegamiento de los tempanos sedimentarios Usme sobre el mar

arcillo plástico-elástico de la formación Bogotá también explica ese marcado y cortante contraste en diagenesis; también explica su suave plegamiento. Por lo tanto existen numerosos hechos geológicos expuestos en el capítulo No. 2 que convergen para probar la verdad de la hipótesis.

Finalmente ella elimina la necesidad de un hiatus de sedimentación o discordancia entre las formaciones Bogotá y la suprayacente Usme; sencillamente, la Usme flotó como un "arca de Noe partida" sobre el mar agitado plástico elástico de la Bogotá". Era como un barco fantasma que suavemente se mecía en medio de un vecindario convulsionado.

Con lo anterior el autor reduce todos los descontentos rasgos geológicos de la formación Usme a un sólo plano genético.

### 3.2 GRABEN LAS LOMAS

El barrio Las Lomas descansa sobre un Graben, delimitado al Este por la falla (f1) que por su longitud se ofrece como una de las maestras que corta transversalmente al sinclinal de Usme.

Al occidente hace contacto ( falla (f20) de por medio ) con la cuchilla "Cerro San Carlos) y por el oriente ( con la (f1) de por medio ) con la cuchilla del Alto de Guacamayas.

#### 4. ESTABILIDAD DEL TERRENO

Como se desprende de las secciones geológicas (Planchas 4, 5 y 6) el área de la Urbanización es areniscosa, condición que está oscurecida en el Mapa Geológico (Plancha 2) por limitarse la explotación petrea a solo las arcillólitas lo cual en combinación con lo tendido de los estratos (9 a 12°) las expuso en extensas áreas horizontales en tanto que las potentes areniscas permanecen en escarpas altas que por su verticalidad no se reflejan arealmente en el plano geológico.

No obstante lo anterior es factible subdividirla en una unidad suroeste arenisocos ( $U_s$ ) situada montaña arriba de otra arcilloca olinítica ( $U_c$ ) emplazada a su noreste y a lo largo de la base de la falda montañosa cuyo pie lame la cañada "EL SOL", subdivisión que facilita los análisis y recomendaciones de estabilidad por englobar grandes áreas con distinto comportamiento mecánico de sus rocas dominantes.

En los análisis y recomendaciones se aplica la teoría de Rankine con roturas planas para su estado activo, inclinados  $(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2})$  con la horizontal, y no el método del círculo de deslizamiento (slump), en particular el de Fellenius, en vis-

ta de que los derrumbes que afectan las escarpas (y que el Autor vivió) se efectúan a lo largo de superficies planas inclinadas no más de  $45^\circ$  con la horizontal.

#### 4.1 Unidad Arcilla-caolínica ( $U_c$ )

En esta área fue excavada una escarpa de 10 metros de alto la numerada 1) que no presenta fallas por lo que se utilizó para calcular una cohesión de campo (ver plancha 8).

Esa escarpa y la ( $E_{21}$ ) de por sí indican una buena capacidad de la arcillolita de esta unidad para soportar taludes con alto ángulo (casi verticales).

El cálculo se hizo asumiendo una loza superficial con base subparalela a la superficie porque el elemento más débil del perfil del terreno es la arcilla residual en comparación con la saprolita de argilita y argilita infrapuestas. La arcilla debe resbalar a lo largo del plano inclinado que marque su contacto con el macizo más firme saprolítico-argilitico infrapuesto.

Por lo somero del suelo residual un círculo de deslizamiento es improbable porque indefectiblemente debe interesar la



roca (saprolita y arcillolita) más firme infrapuesta por lo que primero fallaría según la loza propuesta en el análisis.

Ese cálculo da la cohesión (de campo) de la arcillolita o saprolita arcillolítica porque se consideró una loza de 10 metros de profundidad igual a la altura de la escarpa, lo que aumenta la fuerza impulsora y con el plano de rotura cortando esas rocas.

Dió una cohesión de 2.9 toneladas por metro cuadrado lo que está acorde con los valores que traen los textos para así clasificarlas: es una arcilla de dureza media lo que está acorde con lo observado en el campo. Luego es válida esta cohesión. Para el suelo arcilloso residual basta reducir la profundidad a los dos (2) metros del suelo residual y aplicar un proceso de cálculo similar.

Como la unidad  $U_c$  ocupa la base de la escarpa con superficie tendida, con solo la escarpa ( $E_1$ ) rompiéndola, solo se necesita tratar este geoelemento dejando inalterado el área restante ( $U_c$ ).

#### 4.1.1. Escarpa $E_1$

Aunque es común que las escarpas o taludes verticales generen

fisuras de tracción en su corona, este no debe ser el caso aquí ya que por ellas se hubiera infiltrado tanto las precipitaciones como su escorrentía lo que la hubiera derrumbado de tiempo atrás.

No obstante se considera como un macizo fisurado hasta la mitad de su altura (5 m) y se aplican los estados plásticos de Rankine (aquí el activo) cuyo plano de rotura está inclinado  $(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2})$  con la horizontal.

Como es un suelo cohesivo puro ( $\varphi = 0$ ) por lo que la inclinación del talud a construir debe ser  $\frac{\pi}{4} = 45^\circ$ .

La práctica de construcción sería:

1. Tender el talud a  $45^\circ$ .
2. Rebajar la altura del talud tres y medio (3.5) metros mediante corte tendido en longitud de 45 metros de la escarpa con lo que se remueve su parte superior considerada hipotéticamente "fisurada",
3. Rellenar la base del talud con el material excavado en el punto 2) anterior con lo que se estabilizará la base del talud (a más de la inclinación a  $45^\circ$  que en (1) se le dió) al cargarlo con el relleno.

4. Dejar a lo largo de la corona una vía o área de recreación con ancho no inferior a seis metros. La plancha No. 10 Figura 2 ilustra lo recomendado.

Un plan alternativo consiste en tenderla en plano inclinado a  $18^\circ$  ( $\frac{H}{V} = \frac{3}{1}$ ) con la horizontal, excavando su corona hasta hacer contacto con la unidad areniscosa ( $U_s$ ) emplazada, a su sur y rellenando con compactación mecánica el área de su pié hasta el lindero norte próximo a la cañada "EL SOL", alternativa esta que permite utilizar para cualquier propósito urbanístico la parte rellena. Para vivienda, parqueadero o recreación la compactación debe comprobarse con certificaciones con ensayo de mecánica de suelo de campo o laboratorio; para zona verde no necesita compactación.

La Figura 3 en la plancha 10 indica esta alternativa.

#### 4.1.2 Escarpa ( $E_{21}$ )

Presenta un desplome por socavación de su pié con hundimiento de 0.6 metros. Para determinar si no había sufrido desplazamiento pendiente abajo a manera de un ligero deslizamiento o como incipiente círculo de deslizamiento (slump), lo que sería grave, se exploró su contorno superficial mediante dos trincheras de 3 metros de largo cada una y 2 de profun-

didad orientadas una para interceptar su plano de rotura lateral y la otra su raiz pendiente arriba. En la primera, a 2 metros de la escarpa, se comprobó la rotura por desplazamiento vertical de suelo superficial negro (una caída de 0.5 metros aproxm) sin desplazamiento horizontal; la segunda trinchera que debía interesar su raiz no mostro rotura alguna y mucho menos desplazamiento horizontal: por lo tanto es un simple "desplome" por socavación de su pié en el laboreo minero y no indica inestabilidad del terreno.

El par estereoscopico No. 8 indica lo expuesto.

En la excavación que generó la escarpa se presentan dos huecos de 2 metros de diámetro que repetidamente han sido tapados y la siguiente precipitación pluvial los convierte en subsidencia. Antes de los rellenos propuesto sus áreas deben ser excavadas hasta la base de esos huecos y rellenarlas con compactación mecánica. De lo contrario seguirán funcionando como sumideros colectores de aguas superficiales y subsuperficiales, manteniendo un depósito de agua subterránea que afectará los lotes circunvecinos, al alcanzar su cimiento los límites plásticos y líquido de Atterberg.

Después de practicar la remoción y compactación antes estipuladas puede tenderse la escarpa en plano inclinado a  $18^\circ$  con la horizontal ( $\frac{H}{V} = \frac{3}{1}$ ) y rellenar la excavación compactándola mecánicamente para poder utilizarla para cualquier propósito urbanístico.

Actualmente la excavación ha sido parcialmente rellenada; para usarla en vivienda debe compactarse mecánicamente y comprobarse mediante pruebas de Laboratorio o campo. Antes del trabajo de compactación deben tomarse muestras cada 0.5 metros verticalmente (a 5 metros de la escarpa) para determinar su saturación; de la arcillolita infrapuesta, en el contacto, una compresión inconfiada para determinar su capacidad de carga con respecto al relleno.

#### 4.2 UNIDAD ARENISCOSA ( $U_s$ )

Es la situada al Suroeste con 69.055 metros cuadrados. Como lo indican las secciones geológicas 3, 4 y 5 predominan las areniscas friables, blandas a medio duras con grano medio a grueso, granulometría uniforme (coeficiente de uniformidad  $d_{60}/d_{10} < 2$ ), y ocasionalmente finas.

Algunas son arcillosas ( $S_c$ ) y otras limosas ( $S_l$ ) con un horizonte en el ángulo sureste del lote francamente gravilloso (grayas hasta 1 centímetro en un 25%). Son poco coherentes.

La dureza varia erráticamente al igual que su facie hacia arcillosa y limosa.

Esa granulometría y dureza dan idea de sus propiedades mecánicas:

- 1) fácilmente erodables aún por el impacto de las gotas de lluvia;
- 2) Alta porosidad y permeabilidad, comportándose como rocas almacén y conductoras (acuíferos).

A su vez esas condiciones mecánicas desvelan su comportamiento bajo construcción:

"En corte vertical las areniscas se desplomarán siguiendo los estados plásticos de Rankine, aunque las medio duras, como lo enseñan las escarpas ( $E_7$ ), ( $E_8$ ), ( $E_9$ ) en la sección ( $B_1$ ,  $B_2$ ) con alturas de 20, 4.10 y 17 mts respectivamente; la ( $E_{10}$ ) que contiene una discordancia angular (ver estereopar 6) con altura de 21 metros y otras más que se sostienen verticales y en cuyo pie aflora el estrato de arcillolita ocaolinita explotado. Pero como antes se dijo, por su dureza que varía erráticamente es conveniente como norma global inclinarla  $60^\circ$  con la horizontal e implantar terraza-

mientos de 3,5 metros de ancho cada 4 metros, y rellenar la excavación a lo largo de su pie' a manera de plano inclinado con lo que se reduce la altura del talud sin apoyó; a lo largo de la corona dejar una vía peatonal, zona verde a calle vehicular de 8 metros de ancho.

Los taludes de arenisca deben empradizarse para protegerlo del efecto erosivo causado por el impacto de las gotas de lluvia e incluye sembrar los arbustos.

La figura 1 (Plancha 10) ilustra lo recomendado.

#### 4.3 Derrumbes

Las escarpas areniscosas de esta unidad areniscosa ( $U_s$ ) se ven afectadas por derrumbes de dos tipos: desplomes y deslizamientos con roturas planas.

#### 4.3.1. Desplomes

Proviene de la práctica adoptada en el cantereo para los explotadores favorecer su trabajo: socavar la base de la escarpa hasta que esta se desplome. También son causados por la erosión interna generada por el flujo subterráneo.

#### 4.3.2 Deslizamientos

Se producen en sitios donde las escarpas están cortadas por fallas. Se debe a que a lo largo de la zona de falla la roca ha sido relativamente más triturada que en sus encajantes, lo cual facilita la infiltración de aguas superficiales y la atracción del flujo subterráneo hacia ella; este último es de consideración por el estado suelto o no coherente de las areniscas; esa mayor humedad meteoriza más rápida y profundamente la faja triturada de la zona de falla por lo que es más fácilmente erodable que sus macizos vecinos. Al final se forma una mini-cuenca a lo largo de la zona de falla.

Al ser esa zona o faja profundamente meteorizada y húmeda interceptada por la escarpa de la explotación, su material terreo se derrumbará en dos formas: en verano en "paso



de gato (cat step) como se ilustra con el estereopar No. 5 en tanto que en invierno como un flujo por lo arcilloso del suelo residual.

El "paso de gato" son desplomes sucesivos con ligero movimiento hacia afuera.

El derrumbe en flujo es solo parcial ya que su base que hace contacto con el macizo infrapuesto firme, simplemente se desliza siguiendo una superficie plana inclinada y no en circulo de deslizamiento.

Las escarpas ( $E_3$ ), y ( $E_{14}$ ) y ( $E_{16}$ ) experimentan esta inestabilidad. La ( $E_{14}$ ) se presta para un buen análisis de lo arriba expuesto por su estereo par No. 5. En él se aprecia que su lado izquierdo se derrumba en tanto que su derecho es relativamente más estable: la parte que se derrumba en "paso de gato" está cortada por la falla (F2); normalmente es húmeda en verano y en invierno percola abundante agua; su color es oscuro y alcanza gran profundidad (prácticamente los 8 metros de altura de la escarpa) lo que está de acuerdo con la teoría inicialmente expuesta sobre la genética de parte inestable de las escarpas; la parte derecha semi-estable no afectada por la (f2) es de tono claro con un suelo residual muy somero como se aprecia en el estereopar 5.

Su estabilización se complica por encontrarse en un lindero del lote porque las obras involucran terrenos ajenos.

Según lo expuesto debe interceptarse la escorrentía superficial y el flujo subterráneo provenientes de la hondonada ( $H_1$ ) mediante una zanja de intercepción y un filtro contruidos a lo largo de la corona como se ilustra en la plancha 9. La escarpa debe tenderse hasta hacer contacto con el lindero; construir un muro de contención en la parte afectada con las "pisadas de gato"

#### 4.4. ESTABILIZACION DE ESCARPAS:RECOMENDACIONES

Trataremos aquí las que presentan inestabilidad, recomendando métodos para estabilizarlas. En la plancha No. 9 se numeran las escarpas y se describe o esquematiza las obras de control recomendadas; también se demarcan las áreas para su recuperación geológica las cuales pueden dedicarse a zonas verdes.

4.4.1 Escarpa (E12). está constituida por areniscas; la supra yace en suelo residual delgado. Enseña un escalón de 2 metros de ancho simulando un desplome blocoso: para definir este estado se hizo un extenso destape desde la

cima de la escarpa hasta abajodel escalón como lo enseña el estereopar No. 7 donde se aprecia que no hay desplome sino que el escalón es una excavación a media ladera. Es una escarpa firme, estable, a lo cual debe contribuir ese escalón: este debe prolongarse a todo lo largo del talud hasta empalmar con el proyectado para la (E<sub>16</sub>).

Una alternativa sería tenderlo a una pendiente H/V de 3/1 o hasta hacer contacto con la Avenida al Llano para edificar en ese plano, compactando mecánicamente el relleno del pié, la compactación debe certificarse con ensayo de suelo.

#### 4.4.2 Escarpa (E<sub>16</sub>)

Es una arenisca arcillosa que sufre el efecto de las fallas (f<sub>2</sub>), (F<sub>6</sub>) y (f<sub>6</sub>) y pertenece a la misma unidad estratigráfica que la (E<sub>12</sub>) pero en facie mas arcillosa. La faja de terreno a lo largo de su corona es bastante inclinada lo que ha generado en ella un escalonamiento superficial parecidos a los "pisadas de gato) (cat step) pero este proceso es solo mínimo, el que ha sido enfatizado por la esorrentía pluvial y de las aguas negras de un chir-cal que sobre ella se asienta.

No obstante su altura no experimenta derrumbamiento masivo en circulo de deslizamiento, o flujo, corrimientos blocosos, etc.

Ese abanalamiento natural en la cima de la escarpa se sostienen sin mayor deslizamiento.

Para mejorar su estabilidad debe tenderse el talud a  $60^\circ$  con la horizontal y construir un terrazamiento a lo largo de la corona, empalmandolo con el de la unidad ( $E_{12}$ ). A lo largo de la corona debe dejarse una zona verde o vía de 7 metros mínimo de ancho.

Podría también (en vez de una terraza angosta de 3.5 metros de ancho con finalidad estabilizadora unicamente) proyectarse una explanación dedicable al uso de la comunidad, como un área de recreación o un parqueadero.

#### 4.4.3 ESCARPA ( $E_{15}$ )

Es similar a la ( $E_{14}$ ) en su estratigrafía aunque estructuralmente más baja; su base es una arenisca con el tercio superior (3 metros) ocupado por una argilita. Actualmente su corona se desploma por socavación de su pié. La afecta la falla ( $f_2$ )

Su talud debe tenderse  $45^\circ$  rellenando su pié; a lo largo de su corona dejar una franja de 6 metros de ancho para vía o recreacional.

Una alternativa sería tenderla al 4% o menos para integrarla a una vía vehicular a lo largo de la cárcava.

#### 4.4.4 Escarpas ( $E_2$ ) y ( $E_6$ )

Son bajas, en arenisca; quedan dentro del corredor de la vía al Llano. Para propósitos de la Urbanización no representa problemas de estabilidad, pero puede mejorarse dándoles un ángulo de  $30^\circ$  con la horizontal rellenando con el material de la excavación su pié. Una alternativa es convertirlas en plano inclinado debido a su poca altura (5 m) dedicándolas al uso ambiental u otro si se compacta mecánicamente.

#### 4.4.5 Escarpa ( $E_3$ )

Como antes se dijo es afectada en su estabilidad por la falla (f); para estabilizarla hay que interceptar tanto la escorrentía superficial como la subsuperficial. A lo largo de su pie debe construirse un muro de contención (Ver esquema en Plancha

9).

4.4.6 Escarpa ( $E_4$ ), y área excavada ( $EA_1$ ) que la genera.

Presenta buena estabilidad; para urbanizar debe tenderse a  $30^\circ$  rellenando su pié y una terraza en su mitad de 3.5 metros de ancho.

La avenida al Llano debe construirse de manera que no se afecte su estado actual; por lo tanto debe dedicarse a Recuperación Geológica para posteriormente urbanizarla.

4.4.7 Escarpa ( $E_{22}$ )

Sufre desplomes por la acción remontante de una cárcava que corta el talud; los desplomes son por acción de la erosión interna causada por las filtraciones en su corona. Por lo tanto para estabilizar este sitio debe construirse drenajes interceptores a lo largo de su corona y dejar esta área para recuperación geológica. Terracear la cárcava y forestarla.

4.4.8 Escarpa ( $E_{23}$ )

Es similar geomorfológicamente a la ( $E_{22}$ ) vecina. No está tan

afectada como la ( $E_{22}$ ) pero ya sufre pequeños desplomes también generadas por el flujo subterráneo que eroda internamente su base y que proviene de la hondonada ( $H_2$ ) que le queda corona arriba: para controlar este proceso debe construirse un filtro y una canal interceptora a lo largo de su corona. Si no se estabiliza en corto tiempo será tan grave como la ( $E_{22}$ )

#### 4.4.9 Escarpa ( $E_{13}$ )

Corresponde a los pares estereoscópicos 1 y 2, e incluye la profunda carcava que por la derecha lo rodea (estereopar 1). Requiere recuperación geológica mediante 2 terrazas a lo largo del contorno de esa geoforma, y captación de las infiltraciones en la cabecera de la carcava que es la que la genera, ya que la esorrentía hacia ella es nula; también debe construirse una zanja interceptora a lo largo de su corona como continuación de la que proteja la ( $E_{14}$ ) y prolongarse a su vez para empatar con la de ( $E_{22}$ ).

#### 4.4.10 Otras Escarpas

Tratarlas según la recomendación global hecha en el numeral 4.2, es decir, Escalonarlas cada 4 metros de altura con bermas de 3.5 metros de ancho y tendiendo el talud entre los

escalones a  $60^\circ$  con la horizontal; o en plano continuo al  $10^\circ$  Diez Grados, cuando no se desequilibre el terreno pendiente arriba.

4.4.11. Notas Deben eliminarse la escorrentia de aguas negras provenientes de las urbanizaciones que quedan pendiente arriba que son generadoras de la mayor parte de los procesos destructivos que operan en el terreno de la Urbanización Carmen del Sol.

La explotación petrea debe suspenderse para no causar mas daño geológico y ambiental al sector de que es parte el terreno de la urbanización

#### 4.4.12 Zona de Caolínitas (K)

Esta área fue explotada mediante túneles a varios niveles. Para eliminarlos los propietarios la sometieron a trabajos de nivelación que necesita complementarse ya que las depresiones y clavadas que quedaban las rellenaron dejando vacíos en su base por lo que actuan como sumideros que atraen la escorrentia. Después de cada precipitación pluvial esta área se llena de subsidencias por tal motivo.

Para estabilizarla se recomienda destruir los túneles hasta la base del nivel inferior y luego nivelarla compactandola



mecánicamente e implantar un terrazamiento a 3 niveles con bermas amplias, de unos 10 metros de ancho, para dedicarlas a zona verde o recreación.

#### 4.4.13 Gran Carcava (GC)

Globalmente las altas barrancas de esta cárcava de las que son parte las escarpas ( $E_{14}$ ) ( $E_{13}$ ) ( $E_{15}$ ), ( $E_{16}$ ) antes analizadas, pueden tenderse a ángulo de  $18^\circ$  con la horizontal dejando a su derredor a lo largo de la corona una faja de terreno para zona verde de 6 metros de ancho, exceptuando  $E_{13}$ .

En caso de que se quiera aprovechar urbanísticamente este zanjón, por lo irregular de su contorno (cuya adversa topografía omite el plano topográfico levantado a escala 1:1000) deben levantarse secciones topográficas transversales cada 25 metros desde las cabeceras ( $E_{14}$ ) hasta el límite inferior de la Escarpa ( $E_{16}$ ) para que después del trabajo de nivelación pueda identificarse el contacto del macizo firme del relleno. A lo largo del contacto, dentro del macizo firme debe dejarse una faja de terreno de 6 metros de ancho para uso de la comunidad y lotear a partir de su límite. Si parte del relleno se compacta mecánicamente puede utilizarse como parqueadero y las unidades ( $E_{17}$ ),

(E<sub>19</sub>), y (E<sub>24</sub>) para vivienda. La (E<sub>16</sub>) en relleno compactado para parqueadero.

Se exceptúa la unidad E<sub>13</sub> como al comienzo se dijo y con ella su vecina E<sub>10</sub> porque de su mitad inferior no debe removerse material, ya que los intensos desplomes en la corona de la escapa E<sub>22</sub> con su cárcava asociada (N<sub>1</sub>) que desde la base del talud avanza profunda y rápidamente hacia la corona, producto de filtraciones, las cuales deben ser intensas por lo intenso del proceso destructivo, sugiere un agrietamiento global y continuo en la corona de la unidad (E<sub>22</sub>). Puede afectar la (E<sub>10</sub> - E<sub>13</sub>) y que probablemente ya avanzó hacia la E<sub>23</sub> por haberse activado sus desplomes en el último mes, lo que causaría que todo ese ángulo montañoso formado por (E<sub>23</sub> - E<sub>22</sub> - E<sub>10</sub> - E<sub>10</sub> - E<sub>13</sub> - E<sub>14</sub>) se mueva como un "Corrimiento blocoso de roca" (Block glide).

Las medidas estabilizadoras si se presenta ese caso es rellenar su pié (para darle carga) y excavar unos 3 metros el área:descabellar ese ángulo (E<sub>23-22-10</sub> - E<sub>13</sub>) unos 3 metros.

- Los trabajos debe supervisarlos un Ingeniero Geólogo -

##### 5. ESTABILIDAD NATURAL

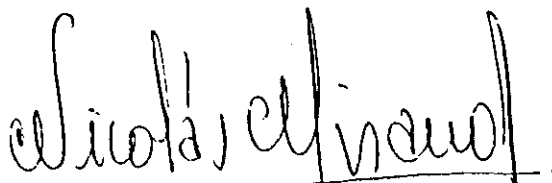
000063

Las fotos aéreas de 1952 se seleccionaron porque son las más antiguas con mayor escala, lo que permite foto-interpretar hechos de derrumbe, y por lo prácticamente inalterada de la falda montañosa del terreno a urbanizar analizar su estabilidad natural.

Se aprecia que no exhibe derrumbes ni micro-hechos con ellos asociables, tales como círculos de deslizamiento (slump), flujos, patinamiento o corrimiento de bloques rocoso (block glide), avalanchas de suelo o roca, en tipo de pistón, etc.

Sólo está cortada a lo largo de la pendiente por cuatro incipientes cañadas de tipo superficial, o sea que sólo han excavado su canal en el débil manto de suelo residual. Las cabezeras de esas cañadas son mini-cuencas también muy llanas carentes de erosión masiva (derrumbes.).

Las condiciones anteriores reflejan la alta estabilidad de las rocas que conforman el terreno de la urbanización Carmen del Sol y que aplicando las prácticas de estabilización antes propuestas la recuperará.



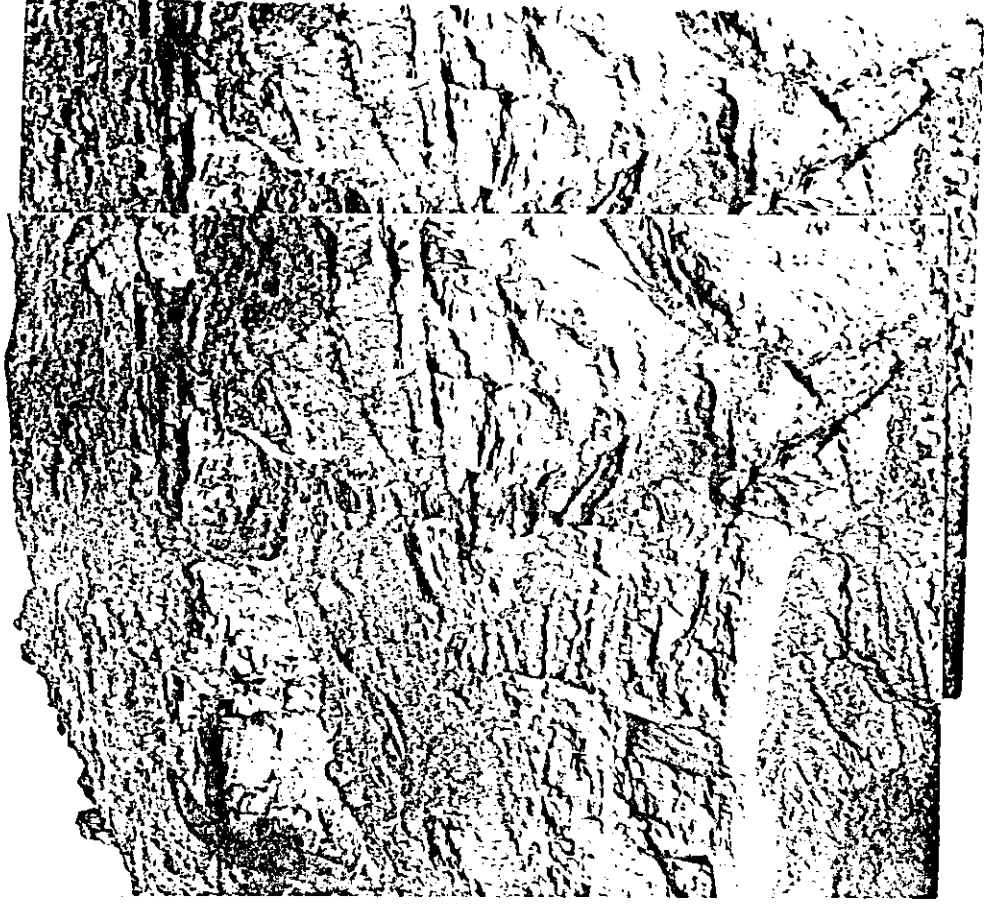
NICOLAS MIRANDA ALVAREZ

Ingeniero Geólogo - Foto-intérprete Consultor  
Matrícula Ing. 3426-Séccional Antioquia

NOTA - Todos los estereos pares  
incluidos para verlos estereoscó-  
picamente a simple vista,

sin ayuda del estereoscopio  
(para ver la foto completa, flexiónese  
seguidamente la a medio pegar).

Si usan estereoscopio (por no tener  
habilidad visual para fundir la imagen  
a simple vista) hay que desprender una  
de las fotos para dar la separación de-  
cuada.



Estereo par N°1 - La cataclasis del estereo par N°2 a mayor detalle para mostrar  
mejor detalles de su constitución -

Nota: Para ver estereos copicamente (tridimensional) a simple vista, sin ayuda de estereoscopio. Si usa estereos-  
copio hay que verificar la separación de las fotos, para ver todo el modelo (foto) ir flexionando la media  
pegada. Igual los demás que siguen -

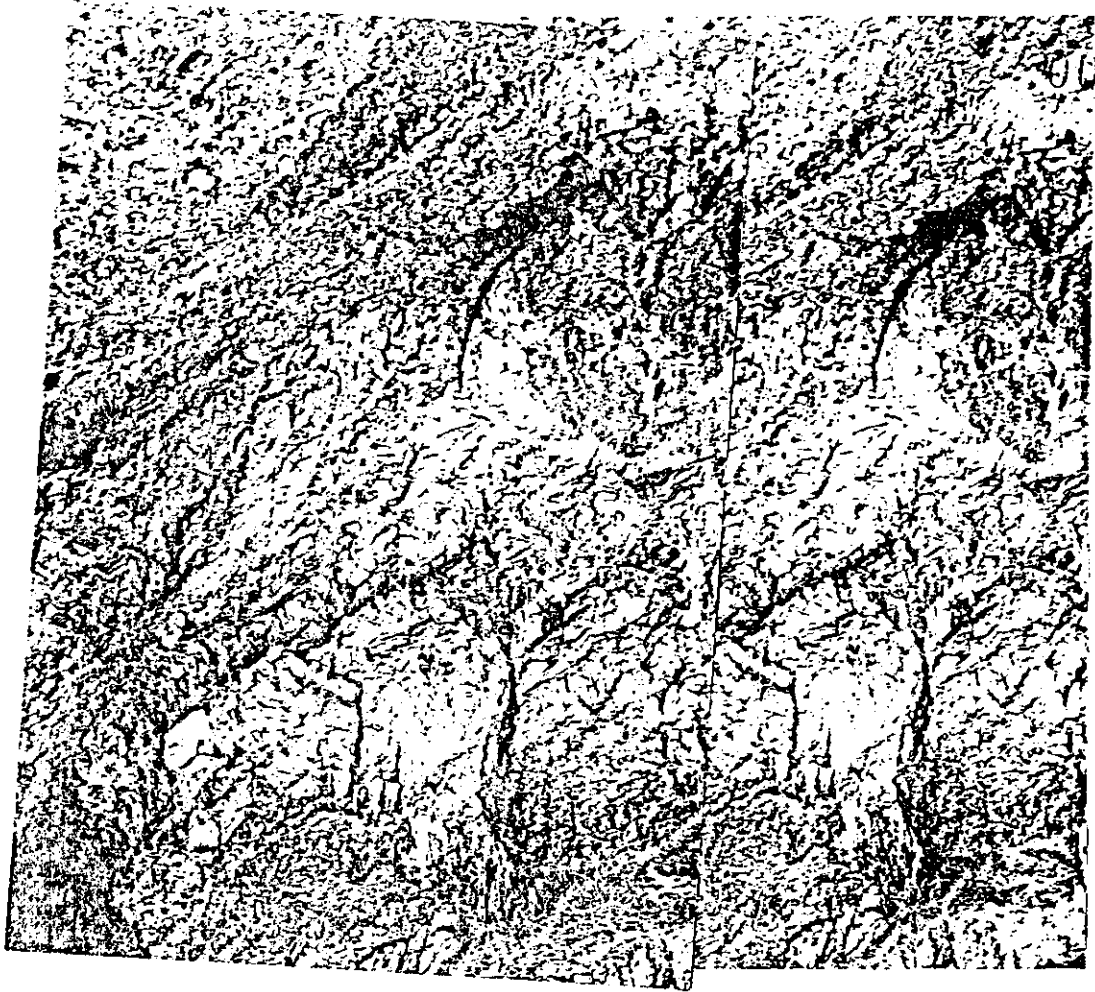
- Debería dejarse intacta como un monumento (adorno) geológico -



Esterco par No. 2 - Escarpa E13 y cataclasita sedimentaria.

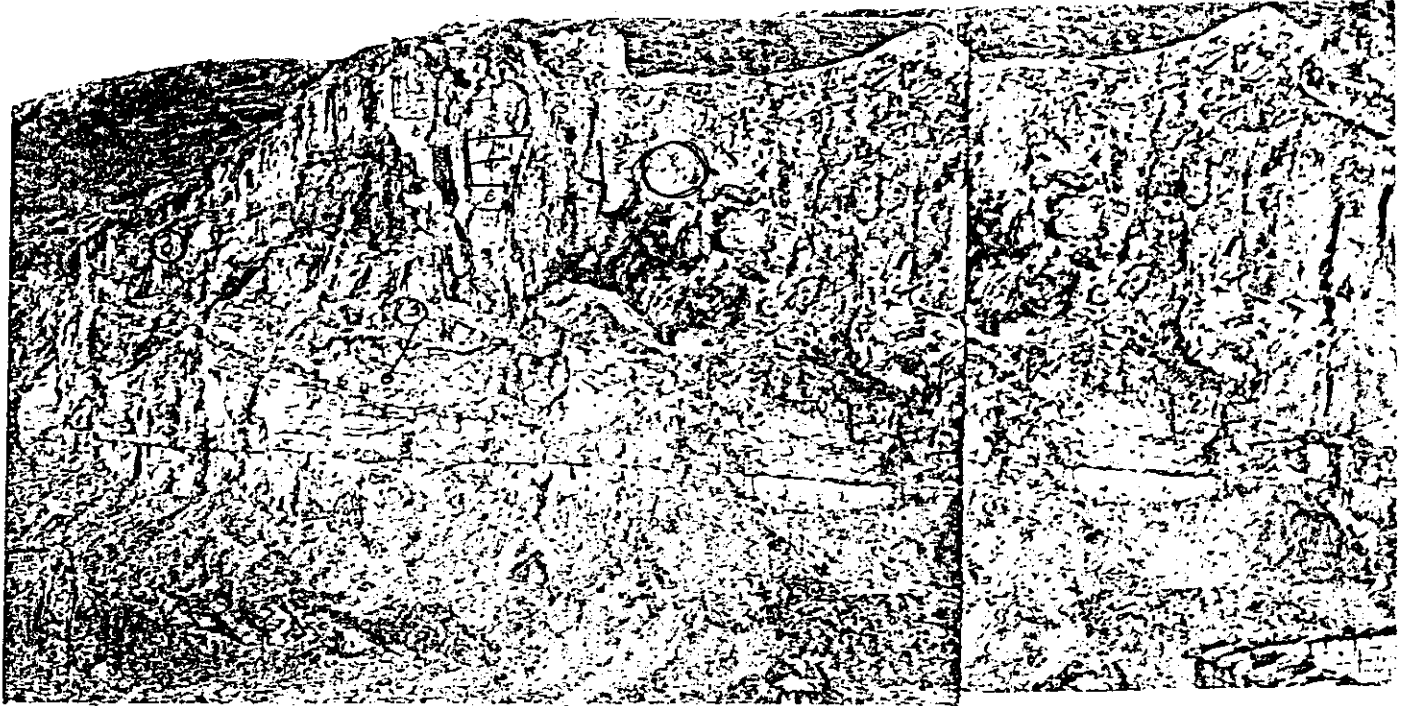
- 1) Observese la catclasita sedimentaria en su frente al centro: se ven claramente los bolos (d = 3-7 mts) de argilita gris plata o decalinita y los de arenisca encascazonados por una capa delgada (e = 1-3 cms) de "fierrita".
- 2) Al derecha, una profunda "trinchera" de explotación (asimilable o confundible con una cárcava) (N2) construida al perseguir la caolinita (K) en (3).

-NOTA: La escarpa E13 (su frente en la foto) debería dejarse intacta como un monumento geológico. -



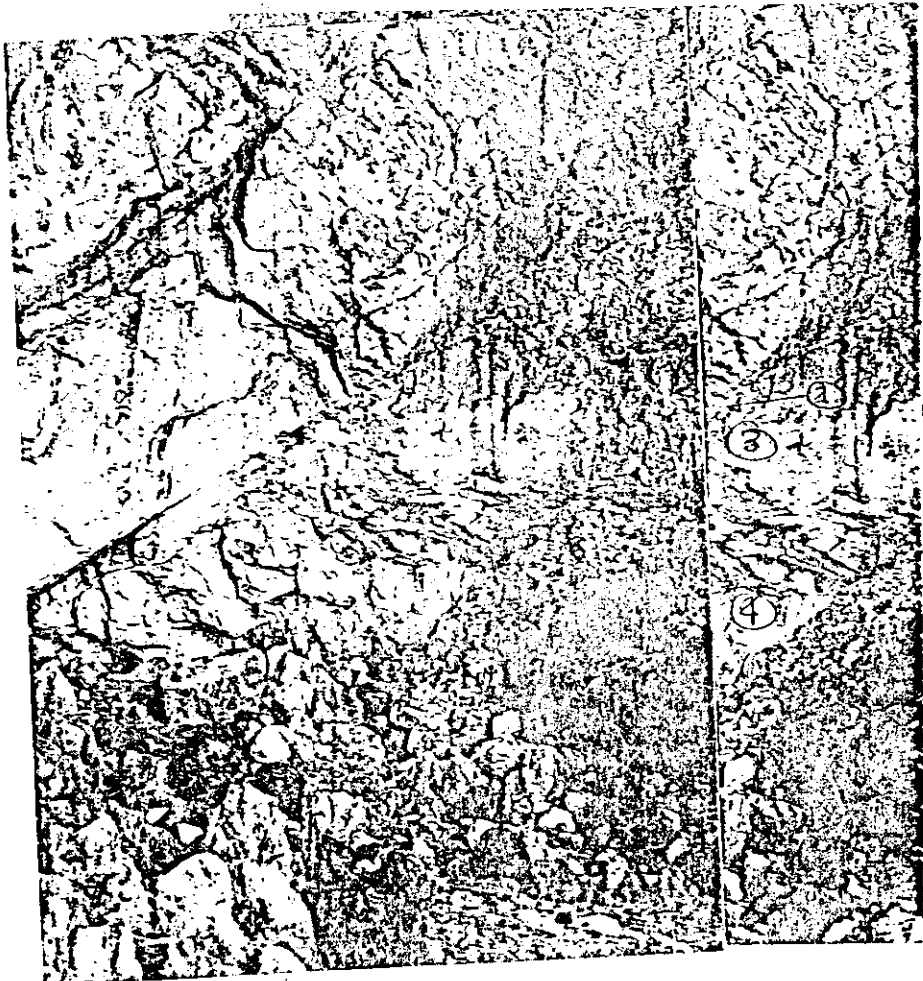
Esterco par 3 - Cataclasita Sedimentaria de la falla (f<sub>6</sub>) según su  
reconstrucción geométrica al cortar la Gran Cárcova en el sitio  
de la falla (f<sub>16</sub>) aproximadamente.

000067



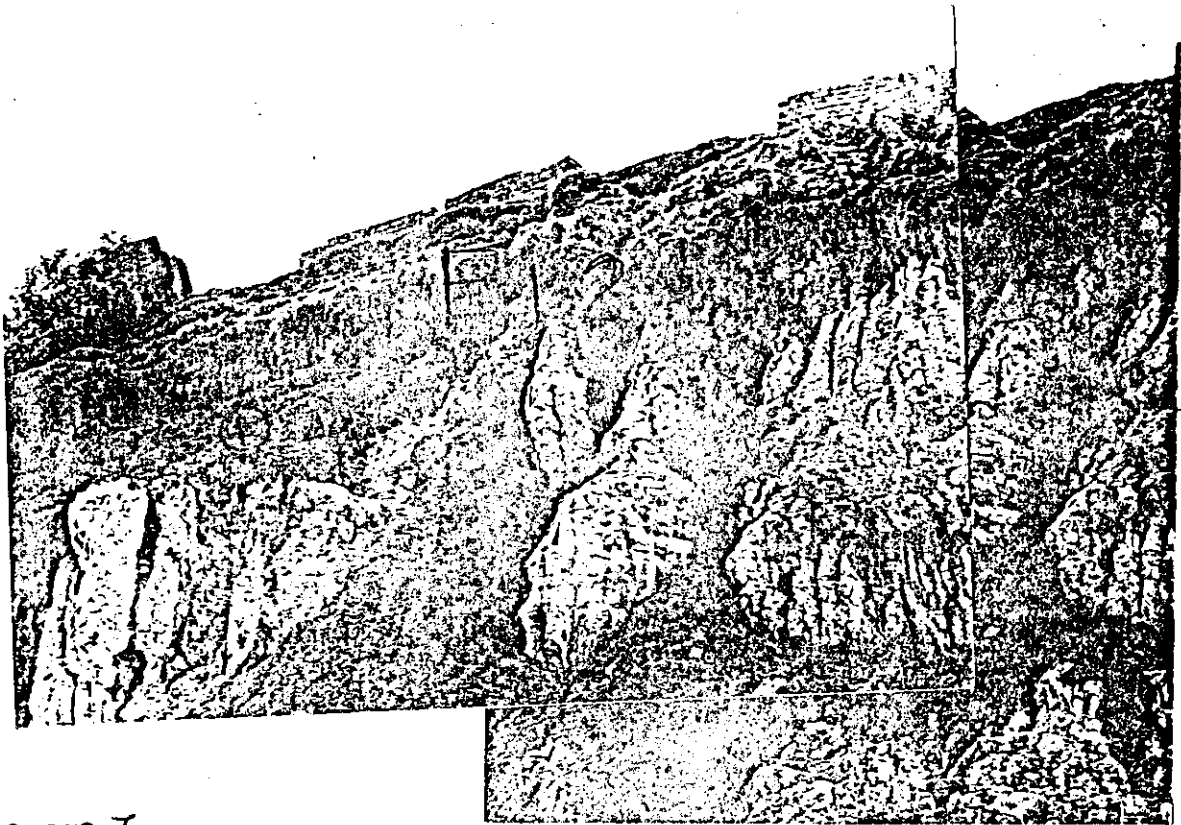
Estereopar 6 - Escarpa (E 10) y discordancia angular.

- 1) Con altura de 22 metros, su verticalidad y continuidad de la vegetación en su corona (no hay rotura de derrumbe) indica la estabilidad de esta unidad estratigráfica: en su base la caolinita que se explota, la supra yace la potente arenisca ②.
- 2) Cortando la arenisca, señala con la punta de flechas ⑤ la discordancia angular.



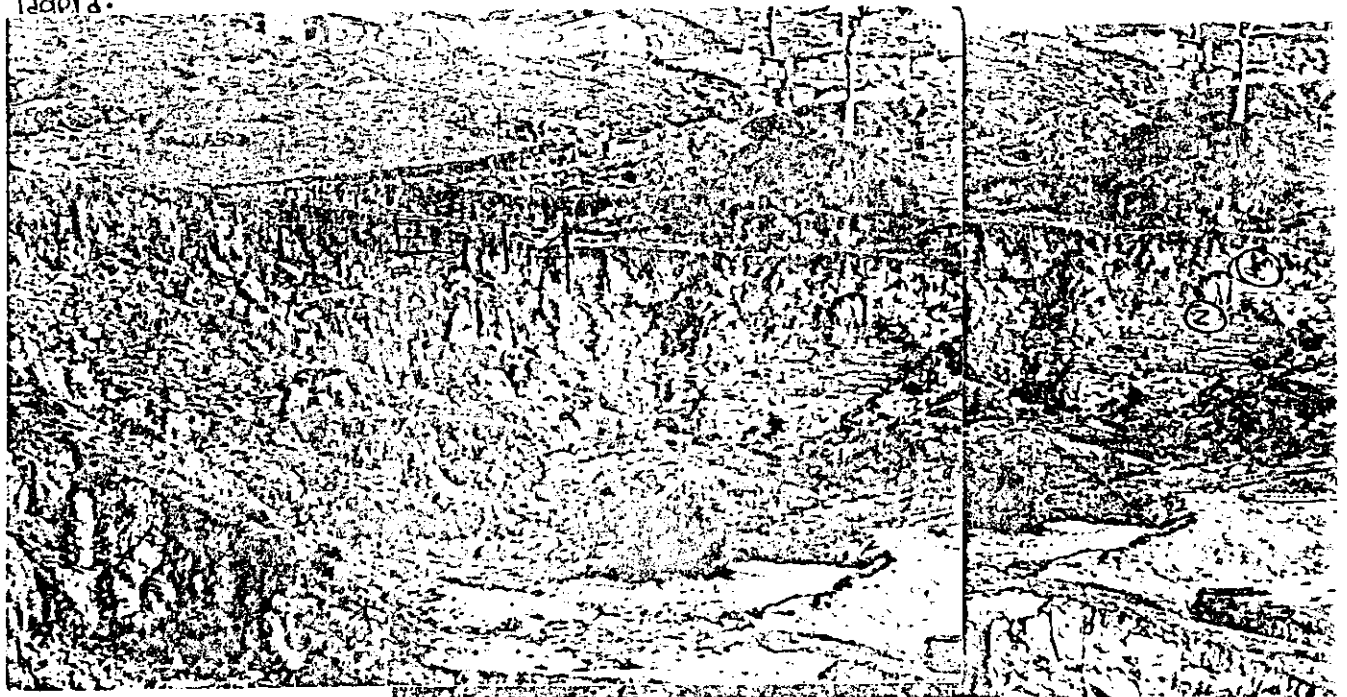
Estereopar 4 -

- 1) Falla (f6)
- 2) Observese el relleno ② del plano de falla con arcillolita ③ entre las areniscas ⑤ del techo y muro.
- 3) Infrapuesta a la arenisca ③ del muro esta la arcillolita ④ que inyecta la falla.
- 4) En ⑤ una inyección en fracturas de tensión de arcillolita, que se cortan en ángulo, como un codo.
- 5) Al pedirse la superficie lisa y plana del plano de falla en el techo, y botendida ③, se da inicialmente una falla de compresión ocizella (N-S) que al disiparse la compresión se transformo en una de arrastrar.



Estercopar 7.

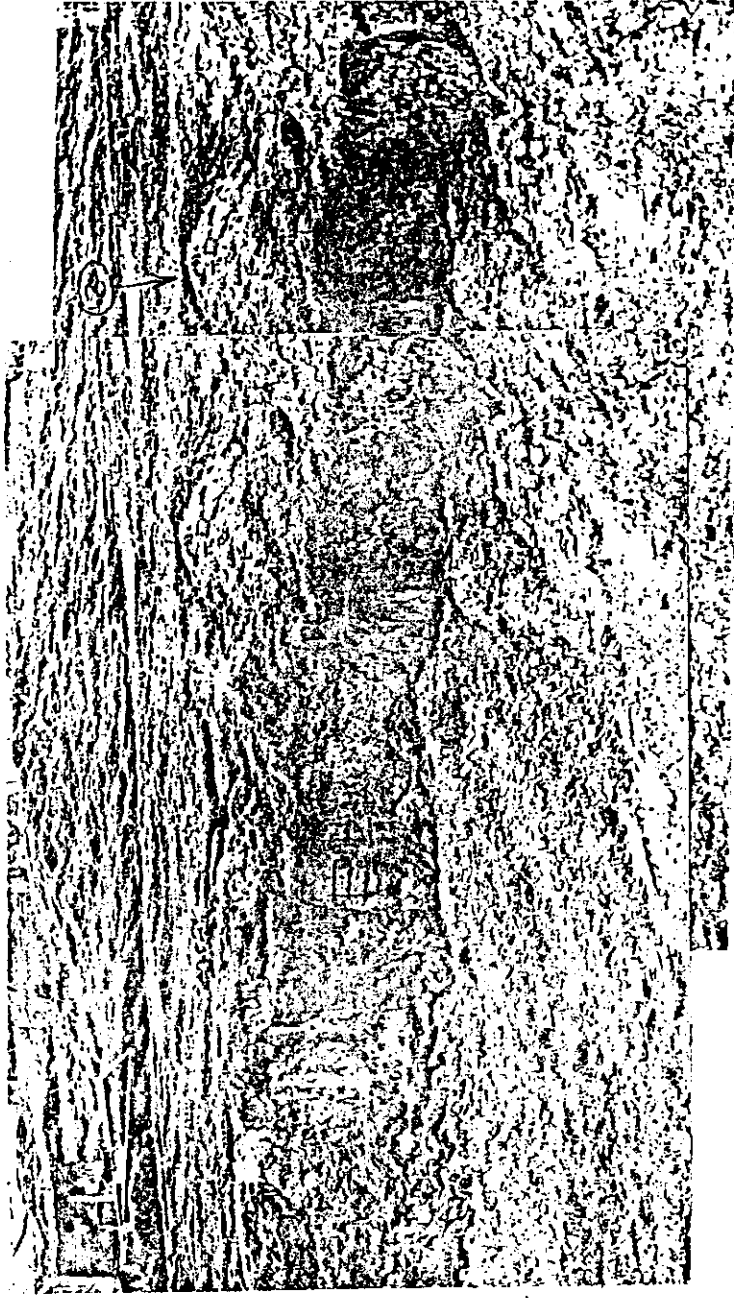
Escarpa (E<sub>12</sub>): obsérvese el extenso destape para comprobar que el escalón (1) no es un desplome o falla del talud ya que se aprecia la continuidad de la arenisca blanca en el piso de la trinchera, sin rotura alguna. Es un corte (que la estabiliza) a media ladera.



Estercopar 5 - Cabecera de la Gran Carcava: Escarpa (E<sub>14</sub>).

- 1) A la izquierda su desplome en "pisada de gato" (cat step) de la zona afectada por la falla (f<sub>2</sub>).
- 2) La parte derecha relativamente más estable: en su tercio superior (1) se aprecia la arenisca (ya se derrumbó), y el resto, o base de arenisca (2) que se comportó como un muro de contención.

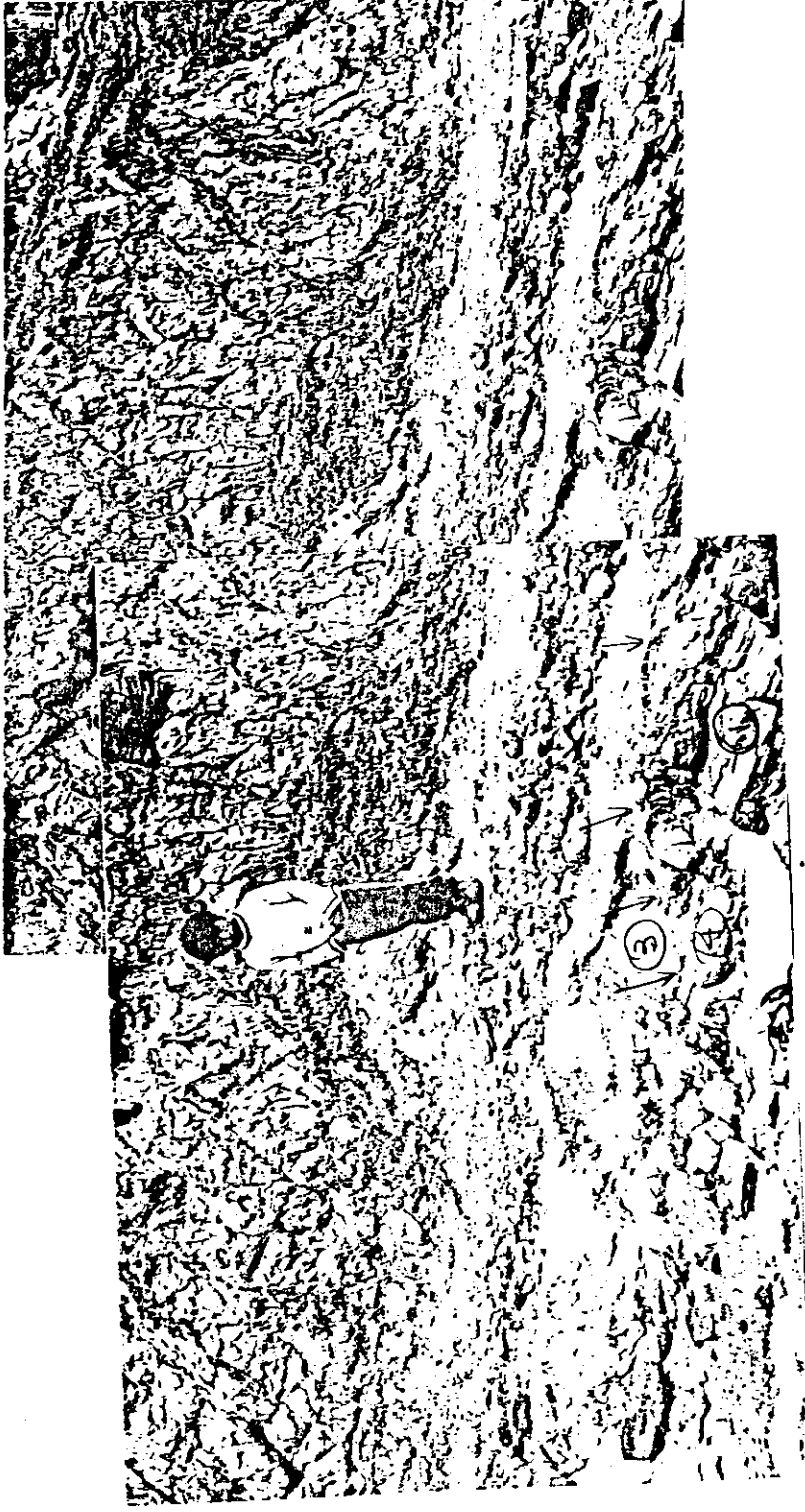




Esterco par No. 8 --

- 1) Observese el patente relleno de su base que dificulta su estudio: la forma anti-técnica como se hizo se aprecia perfectamente.
- 2) A la izquierda, señalada con flecha, la rotura de la escarpa (1) y a su fondo la trinchera para explorarla.
- 3) En (3) la segunda trinchera para estudiar la raíz del derrumbamiento de la escarpa. Se comprobó que es un simple hundimiento por la socavación de su pié en el canchero.

000069



Estereopar 10 - Desplazamiento de falla.

- 1) La arenisca ① (ángulo inferior derecho) muestra perfectamente por el corte que sufre que el bloque donde está la escarpa se desplazó hacia la derecha con respecto al que contiene la arenisca, pero no se aprecia bien en el estereopar por este hecho.
- 2) Señalada con flechas se aprecia la cortada (falla) con la arcillolita blanca (en el bloque de la escarpa) ③ haciendo contacto con un estrato de arenisca ④ igual a la ①
- 3) La reconstrucción geométrica de la falla (F) corta este sitio con igual dirección que la señalada por la flecha, pudiendo ser esta o una secundaria de la zona de fallamiento.
- 4) Obsérvese la estratificación: muy inclinada con respecto al resto de la Urbanización Carmen del Sol.

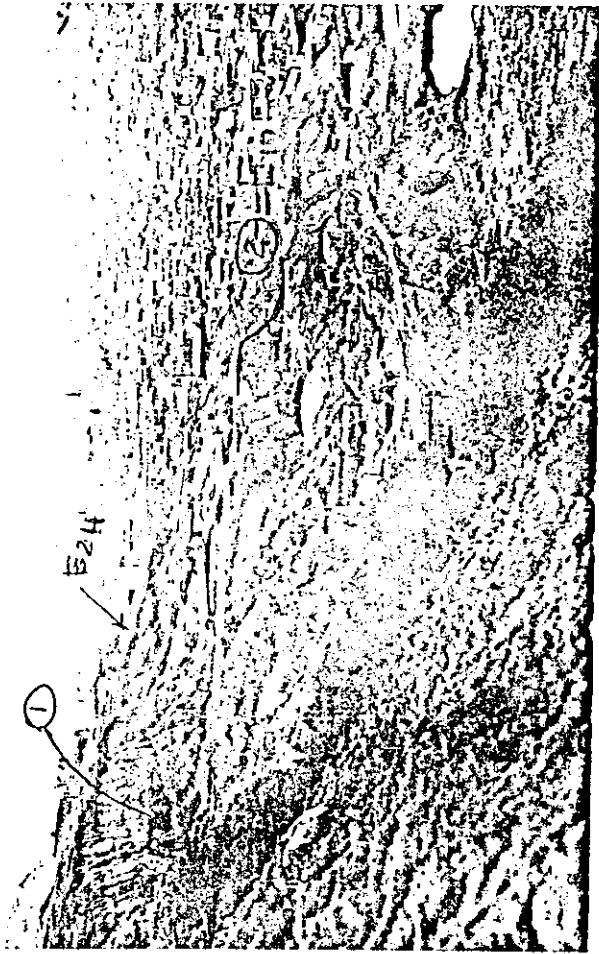
000070

000071



Panorámica - Muestra Unidades Geológicas.  
En ① vease lo superficial del suelo residual.

N. Miranda A.  
Ingeniero Geólogo - Fotointérprete  
Dic. de 1986-



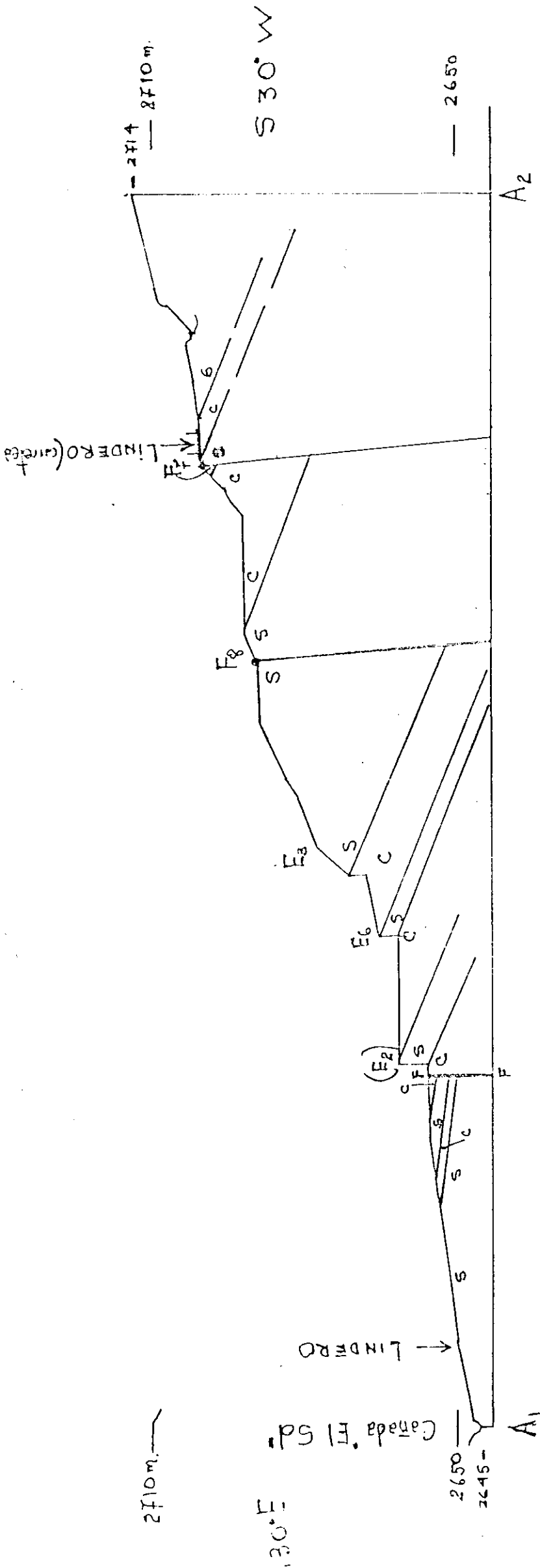
Panorámica - En ① observese la socavación de la base del tabud.  
 En ② vertiente izquierda de la Gran Cárcava (Escarpa E19 en Plancha 9):  
 puede tenderse en un solo plano inclinado.



### Stereopar No 9 -

- 1) Al frente la escarpa (E1). La escala le da el señor próximo a su corona. Con 10 metros de alto y su amplia luz indica la buena estabilidad de la unidad (Uc). El suelo residual (arcilla) las pilas de arcilla y la argilita es visible. Su corona descabellada o fápada es por trabajo de excavación.
- 2) Al fondo, en la cima a la derecha: escarpa (E2). Observa el gran volumen de relleno (sin vegetación) botado en su talud por la continua reconstrucción de la curvada careteable lo que indica el frecuente desplome de su banco.
- 3) Lacaraya (N1) en la base del talud se aprecia su dimensión anómala porque no hay cuenca o escorrentía que la genere: es por infiltración proveniente de la (E2); también se aprecia como dotivamente su cabeza remonta hacia (E2). Se aprecia su gran bifurcación con el separador próximo a derrumbarse como si que su poder destructivo sobre la E2 aumentaría. E2 aumenta.
- 4) Al fondo en el centro la (E) en arenisca, cuyo estabilidad resalta por su verticalidad y la vegetación a lo largo de la corona es continua, sin exhibir hechos asociables con ~~los~~ derrumbes.

000073



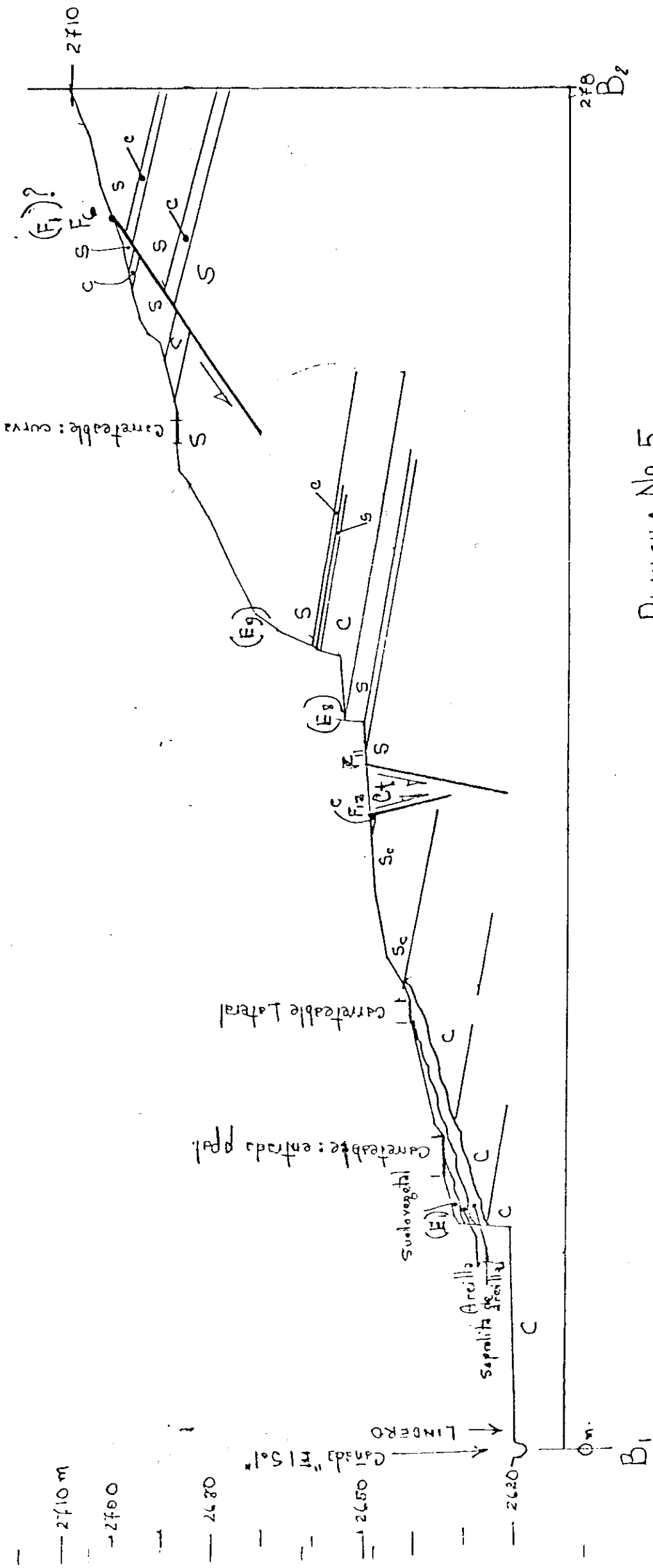
PLANCHA No 4.-

- S = arenisca
- C = arcillolita
- F = falla.
- E = escarpa.

Escala 1:1000 (H y Vertical)  
 Urbanización "Carmen del Sol".

Ingeniero Geólogo: Nicolás Miranda Alvarez.  
 Matrícula Ingeniero No 3426 Soc. Antioquia.

Diciembre 2 de 1986.



BLANCHA No 5

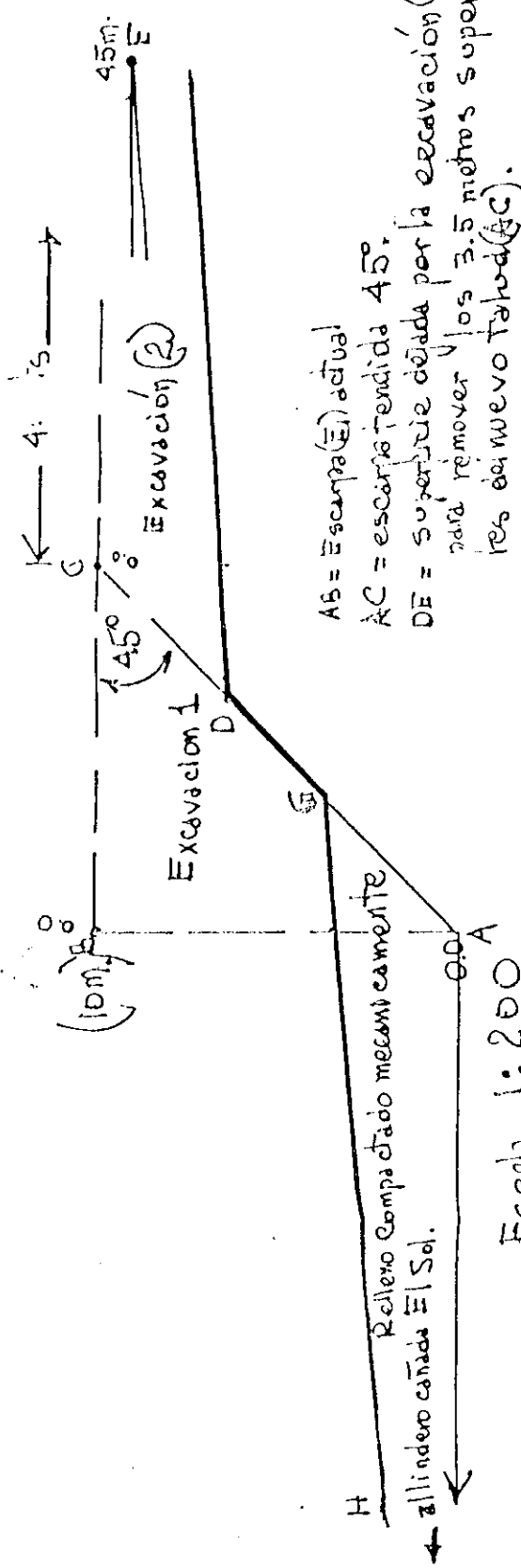
- S = Arenisca
- C = Arcillolita
- Ct = Cataclasita
- F = falla
- E = Escarpa
- Escala 1:1000

Diciembre 2 de 1986

Urbanización "Carmen del Sol"

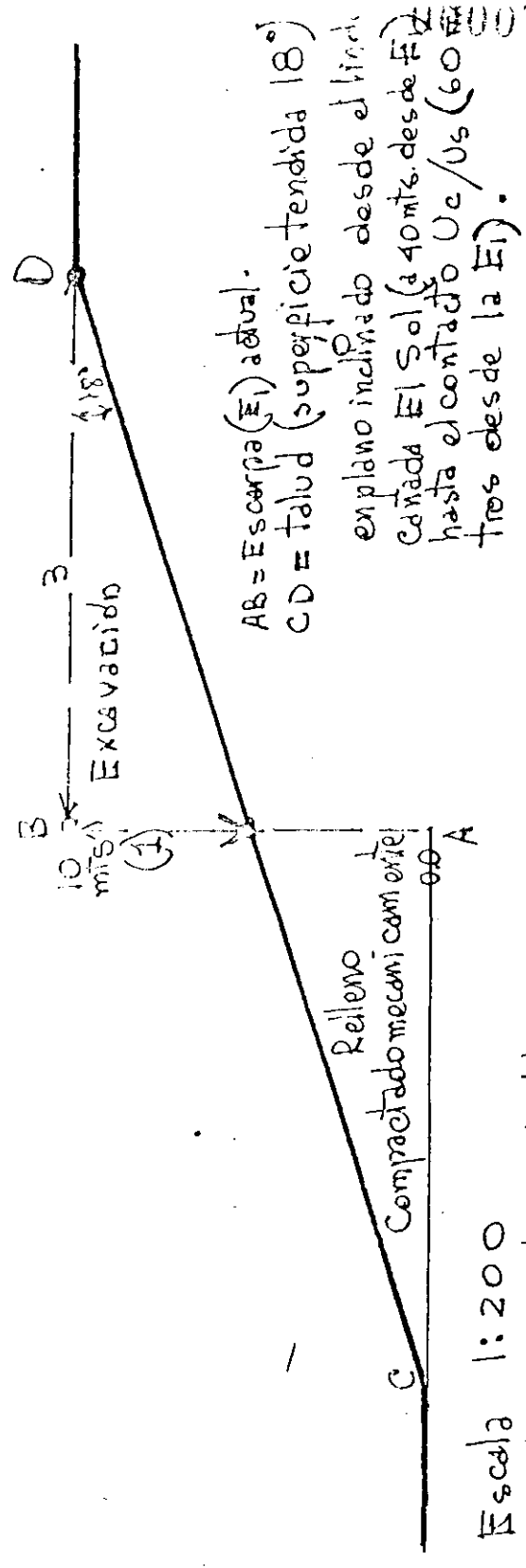
Ingeniero Geólogo: Nicolás Miranda Alvarez.

Matrícula Ingeniero No 3426 - Sección Antioquia.



AB = Escarpa (E) actual.  
 AC = escarpa tendida 45°.  
 DE = superficie caída por la excavación (2) para remover los 3.5 metros superiores del nuevo talud (AC).  
 GH = superficie del relleno hasta el lindero cañada El Sol.

Escala 1:200  
 Figura 2: Estabilización Escarpa (E)



AB = Escarpa (E) actual.  
 CD = talud (superficie tendida 18°) en plano inclinado desde el lindero cañada El Sol (a 40 mts. desde E) hasta el contacto U<sub>c</sub>/U<sub>s</sub> (60 mts desde la E<sub>1</sub>).

Escala 1:200

Figura 3: Alternativa al método de la Figura 2 para estabilizar la escarpa (E).



000081

PLANCET

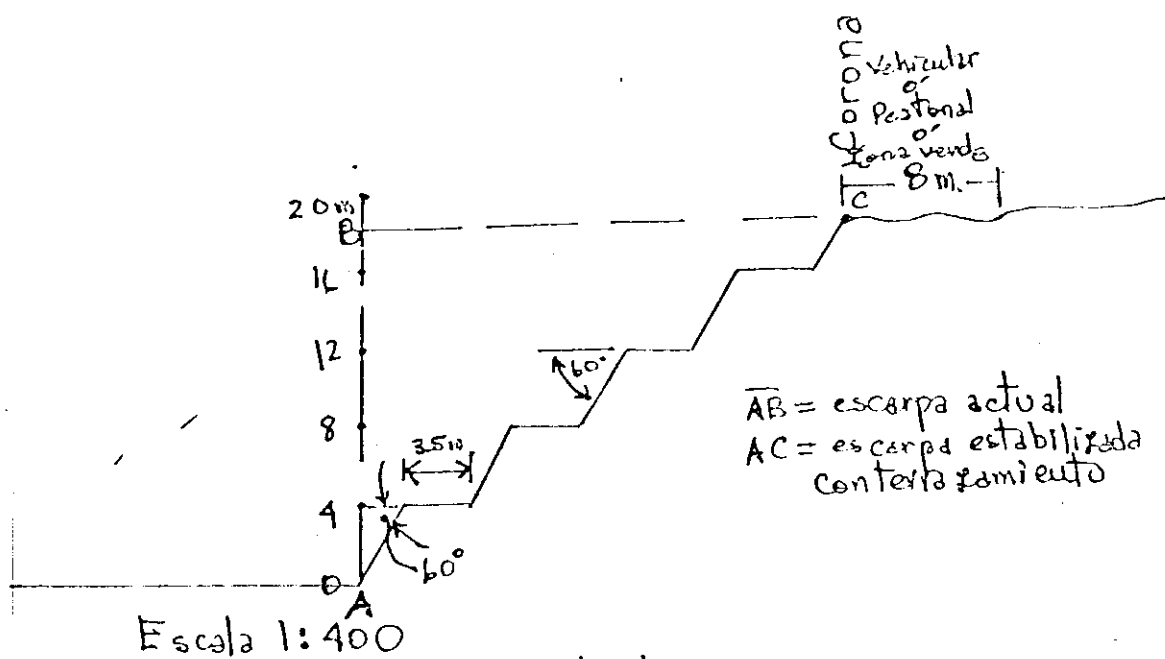
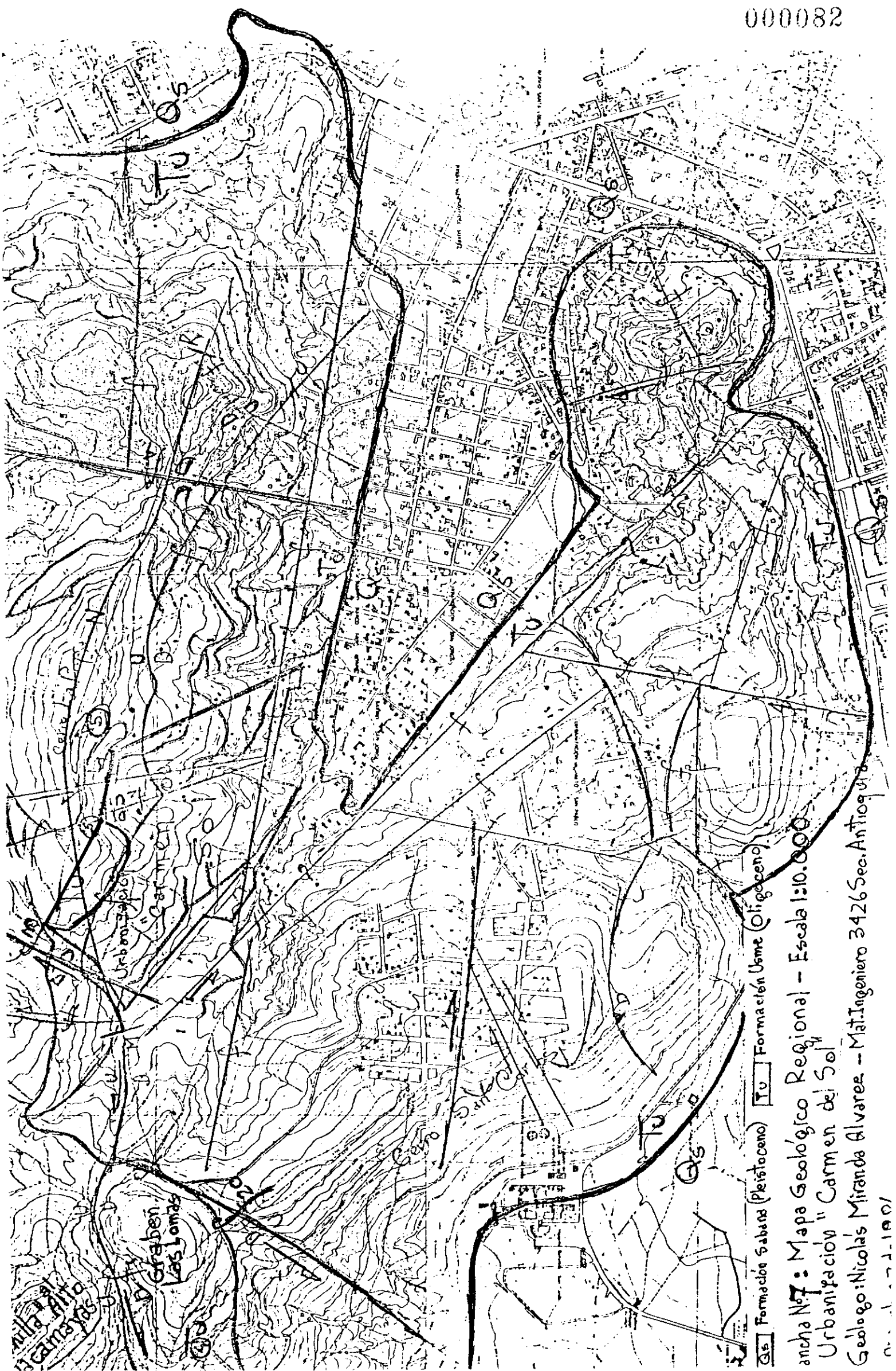


Figura 1: Terraplenamientos para estabilizar escarpas (recomendación global)

Urbanización Carmendel Sol.

Ingeniero Geólogo: Nicolás Miranda A.  
Matrícula Ingeniero 3426 Seccional Antioquia.

Diciembre 4 de 1986.



[A] Formación Sabana (Pleistoceno) [U] Formación Usme (Oligoceno)  
 ancha N.º 7: Mapa Geológico Regional - Escala 1:10.000  
 Urbanización "Carmen del Sol"  
 Geólogo: Nicolás Miranda Alvares. - Mat. Ingeniero 3426 Sec. Antioquia  
 1957

Ingeniero Geólogo: Nicolás Miranda A.  
 Dic. 4 de 1986

Plancha No. 8 — Cálculo de la Cohesión "c" de la arcilla caolinitica (saprolita de arillo-caolin) —

Suposiciones: 1) que no interviene descomposición de la roca uniformemente con la profundidad.  
 2) esta admite suponer planos de rotura paralelos a la superficie (como  $X_1X_2$ ) generando derrumbes tabulares en lo.  
 3) El cálculo propuesto es válido porque el talud subvertical excavado ( $X_1X_2$ ) con 10 mts. de altura está estable. Al utilizar esta altura como la crítica se obtiene la mínima cohesión posible para la arcilla residual, ya que al aumentar esta profundidad aumenta la cohesión "c" por ser mayor la masa a equilibrar.

Cálculos

Escala 1/1000

Considera la parte AB de la Faldón Volcanario.

Toma una sección superficial promedio. Luego una sección basada en un corte con rellenos (abi) para simplificar el cálculo.

$h = 8$  metros. (altura promedio de la sección excavada)

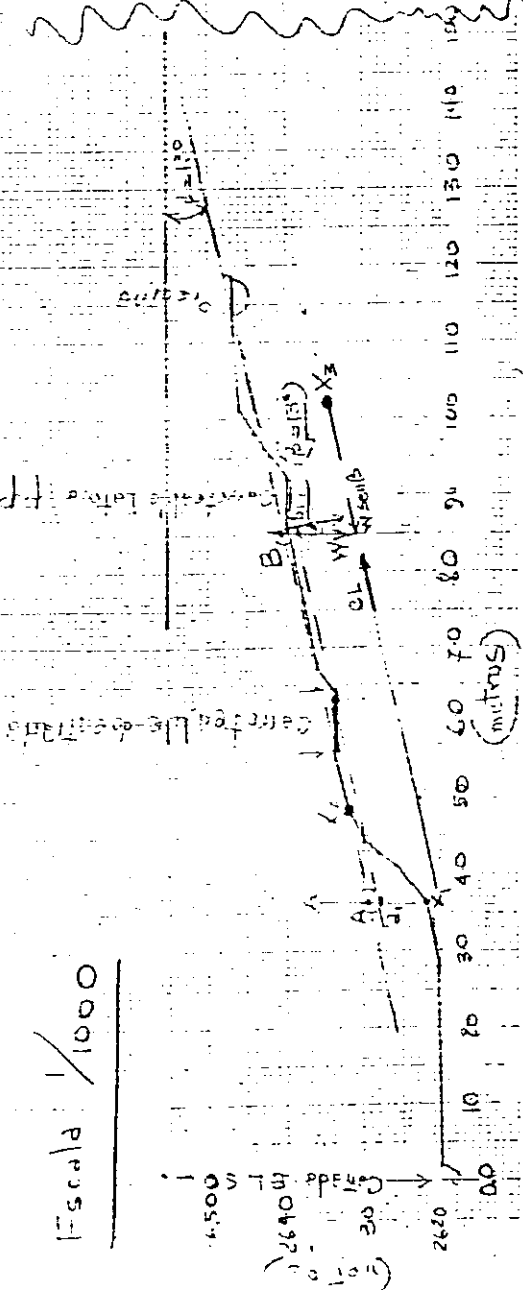
$$1) \ c(\beta) = \frac{W \sin(\beta)}{ab} = L = \text{Longitud plana de la zona hipotética.}$$

$$2) \ W = \gamma h L \cos(\beta)$$

$$CL = \gamma h L \sin(\beta) \cos(\beta)$$

$$3) \ \sin(\beta + \beta) = \frac{CL \cos(\beta)}{h}$$

$$c = \frac{\gamma h \sin(2\beta)}{2} = \frac{1.8 \times 8 \sin 26^\circ}{2} = 1.180 \text{ y } \tan \frac{\beta}{2}$$







000085





980000



000087



880000





680000