E 5

INGEOMINAS

DIVISION GEOLOGIA AMBIENTAL

ANALISIS DE ESTABILIDAD DE EL CERRO " EL VOLADOR "

POR : JESUS RAFAEL GARCIA NUÑEZ
PABLO ENRIQUE CARO PEÑA

Bogotá, Octubre, 1997

REPUBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES GEOLOGICO MINERAS

REPUBLICA DE COLOMBIA

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES GEOLOGICO MINERAS

INGEOMINAS

ANALISIS DE ESTABILIDAD DE EL CERRO EL VOLADOR

POR : JESUS RAFAEL GARCIA NUÑEZ

PABLO E. CARO PEÑA

Bogotá, Octubre , 1987

CONTENIDO

		Pág.
	RESUMEN	
1.	INTRODUCCION	1
1.1.	GENERALIDADES	1
1.2.	OBJETIVOS	1
1.3.	LOCALIZACION	2
1.4.	CLIMA	2
2.	GEOLOGIA	3
2.1.	GEOMORFOLOGIA	3
2.2.	LITOESTRATIGRAFIA	5
2.3.	TECTONICA	6
3.	GEOTECNIA	
3.1.	DESCRIPCION FISICA DEL DESLIZAMIENTO	8
3.2.	MUESTREO Y ENSAYOS	8
3.3.	ANALISIS ESTRUCTURAL	14
3.4.	ANALISIS CINEMATICO DE ESTABILIDAD	18
3.5.	ANALISIS ESTATICO DE ESTABILIDAD	18
3.6.	ANALISIS RETROSPECTIVO	27
3.7.	POSIBLES CAUSAS DEL DESLIZAMIENTO	29

Pág.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 30

BIBLIOGRAFIA 33

ILUSTRACIONES

		Pág.
Figura 1.	Mapa geológico del sector sur de Bogotá	4
Figura 2.	Esquema geológico "Cantera El Volador"	7
Figura 3.	Cantera El Volador, Sección A-A'	9
Figura 4.	Ensayo de corte directo etapa de consolidación. σ_n = 0.5 Kg/cm^2	11
Figura 5.	Ensayo de corte directo etapa de consolidación σ_n = 1.0 Kg/cm^2	12
Figura 6.	Ensayo de corte directo etapa de consolidación σ_n = 2.5 Kg/cm^2	13
Figura 7.	Ensayo de corte directo cambio de volumen vs. desplazamiento horizontal	15
Figura 8.	Ensayo de corte directo τ-δ	16
Figura 9.	Ensayo de corte directo diagrama τ-σ_n	17
Figura 10.	Diagrama de polos sector El Volador	20
Figura 11.	Diagrama de frecuencia sector El Volador	21
Figura 12.	Diagrama de círculos principales sector El Volador	22
Figura 13.	Geometría del talud analizado	24
Figura 14.	Cantera El Volador, posición de la línea superior de infiltración.	26
Figura 15.	Resistencia al corte movilizada para falla planar.	28

Figura 16. Representación gráfica de los modos de fallas 32

TABLAS DE RESULTADOS 19

INGEOMINAS

RESUMEN

El extremo sur de Bogotá se caracteriza por ser seco, con suelos, muy drenados, pendientes variables y fuerte erosión. Las rocas son sedimentarias preferencialmente arenosas afectadas principalmente por dos sistemas de fallas, uno con desplazamiento lateral importante y otro transversal al anterior con desplazamientos verticales de poca magnitud.

En el Cerro El Volador existe una cantera, dentro de la formación Arenisca Tierna, en cuyos patios abandonados se proyecta la construcción de un polideportivo y una escuela. Mediante la presente investigación se concluye que el sector de El Volador presenta características de deslizamientos retrogresivos en roca, dado su alto grado de fracturación y alteración, poniendo en peligro cualquier tipo de construcción, por lo que no se recomienda la construcción de obras civiles en dicha zona.

1. INTRODUCCION

1.1. GENERALIDADES

Por comunicación verbal de algunos miembros de la Junta de Acción Comunal, se supo de la construcción de un polideportivo y una escuela en los patios de la cantera "El Volador". En vista del elevado riesgo que implica la construcción de cualquier tipo de estructura en este sector, se realizó el presente informe.

1.2. OBJETIVOS

El INGEOMINAS realizó la presente investigación con el objeto de dar un concepto sobre :

- Estado actual de la cantera
- Mecanismo de falla imperante durante el movimiento de la masa
- Zona afectada ante un eventual deslizamiento de la masa potencialmente inestable.

INGEOMINAS

1.3. LOCALIZACION

En el suroriente de la Sabana de Bogotá, específicamente el sector comprendido por los barrios Los Alpes, Cordillera y Villa del Diamante, se encuentra ubicada la cantera "El Volador", que presenta precarias condiciones de estabilidad, como consecuencia de un sistema de explotación antitécnico e inadecuado.

El área explotada presenta una longitud de 350 m por 200 m de ancho, con una inclinación de los cortes superior a los 70°. Como se ilustrará posteriormente, el sobre-empinamiento de los cortes ha sido una de las principales causas en la desestabilización del macizo rocoso en la zona sur de la ciudad.

1.4. CLIMA

Dentro del Estudio Regional Integrado del Altiplano Cundiboyacense (IGAC, 1984), la zona se clasifica como de "Suelos de clima frío a seco", que se caracterizan en su parte orgánica, por ser muy superficiales y excesivamente drenados; su uso, para fines agrícolas está limitado por deficiencia de agua, pendientes variables, poca profundidad efectiva y fuerte erosión.

2. GEOLOGIA

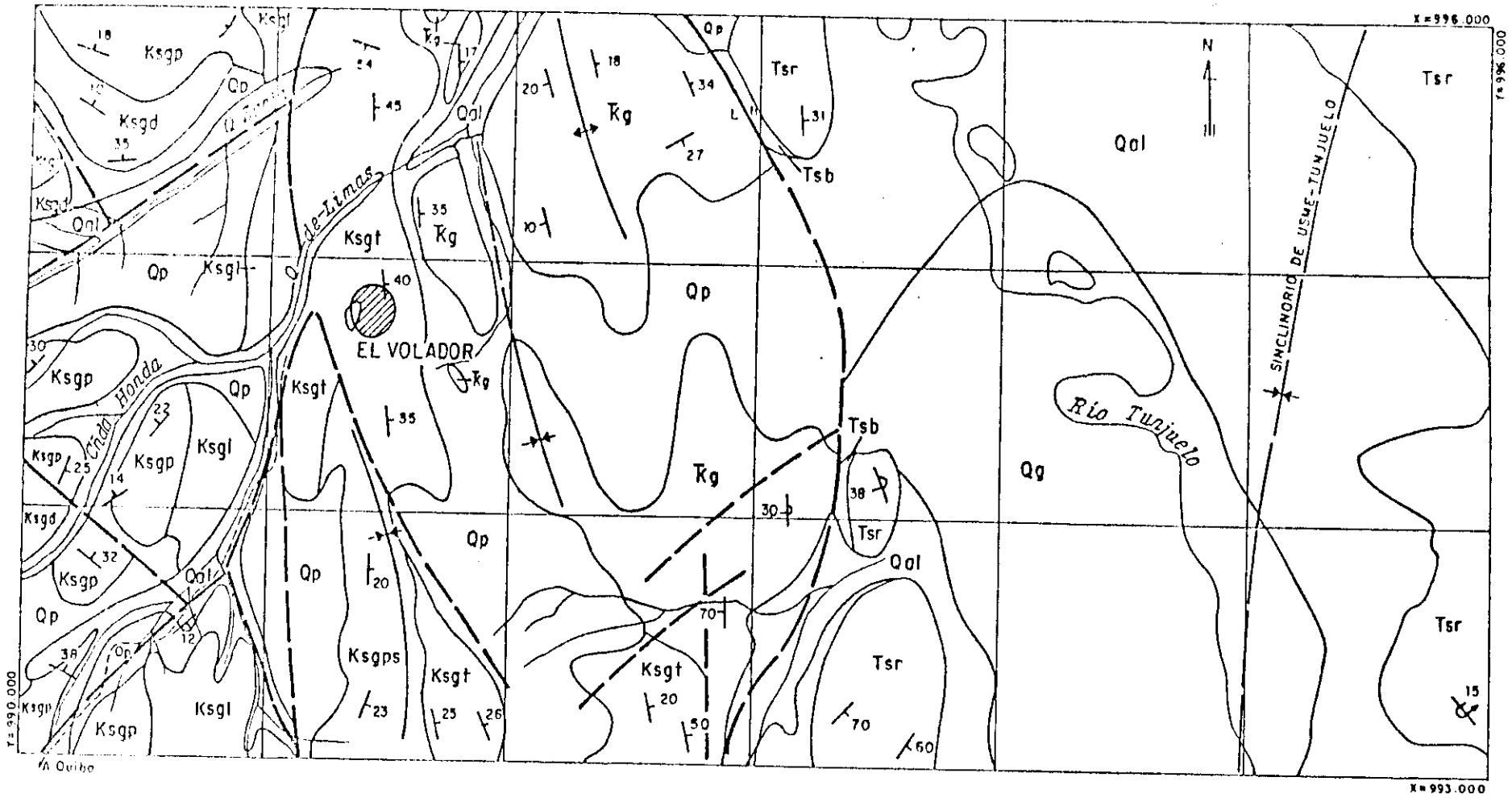
2.1. GEOMORFOLOGIA

La parte sureste de Bogotá, se caracteriza por presentar una morfología ondulada a abrupta y escarpada. Las formaciones arcillosas tales como Guaduas, Bogotá, Plaeners y Tilatá, dan una morfología ondulada y en algunos sectores se presenta un carcavamiento acentuado.

Las formaciones arenosas del Grupo Guadalupe, Formación Guaduas y Areniscas de la regadera (Figura 1), dan una morfología abrupta a escarpada. Dentro de los depósitos aluviales y que originalmente presentaban una morfología relativamente plana y por acción del hombre es frecuente observar depresiones de varias decenas de metros de profundidad por centenares de metros de ancho y largo.

La unidad de arenisca tierna en el sector El Volador ha sido explotada en parte, como material de construcción en forma antitécnica, dejando depresiones y taludes verticales de varias decenas de metros. Este sector se caracteriza por la gran actividad de fenómenos geodinámicos.

INGEOMINAS



LEYENDA

Qal	Cuaternario aluvial.	Tsb	Formación Bogotá.	Ksgl	Arenisca de Labor.
Qp	Coluvión o suelo residual.	Kg	Formación Guaduas.	Ksgp	Formación Plaeners.
Qg	Cuaternario en explotación como material de construcción.	Ksgps	Plaeners superiores	Ksgd	Arenisca Dura
Tsr	Formación Regadera	Ksgt	Arenisca Tierna		Falla geológica
					Deslizamiento de El Volador

INGEOMINAS

MAPA GEOLOGICO
DEL SECTOR SUR DE BOGOTA
Modificado de Mojica P. 1987

Autor: Pablo Caro Geología Ambiental	Dibujó: Cartografía - Ingeominas
Escala: 1 : 25 000	Fecha:
	Figura: Nº 1

2.2. LITOESTRATIGRAFIA

En el extremo sureste de Bogotá, las unidades aflorantes más antiguas - corresponden al Grupo Guadalupe de edad cretáceo Superior, dentro de este Grupo se encuentran las Formaciones : Arenisca Dura (Ksgd), Plaeners (Ksgp), Labor (Ksgl) y Tierna (Ksgt), Pérez, G., Salazar, A. 1970. Formaciones de edad Terciaria tales como Guaduas (Tkg), Bogotá (Tb) y Regadera (Tsr), también están allí presentes (Fig.1).

Los depósitos de edad Cuaternaria se agrupan en : Coluviones , Suelos Residuales (Qp) y Aluviones.

En el cerro El Volador aflora la formación Arenisca Tierna (Ksgt), cuya localidad tipo se encuentra por la carretera Bogotá- Choachí. Allí se define como una "arenisca de grano grueso a muy grueso separada por finos paquetes oscuros de lodolitas, limolitas y arcillolitas". En El Volador presenta las siguientes características : Arenisca blanca a - amarillenta clara, grano fino a conglomerático, subredondeado a subangular, con formas equidemencionales, ligeramente orientados según la estratificación; compuestos por cuarzo (95%), dentro de matriz arcillosa, con escaso cemento síliceo y óxidos de hierro, en general son muy fiables, la estratificación varía de plana masiva a laminar cruzada (Mojica, P., 1987 inédito).

El espesor de los estratos varía de 0.10 a 3.0 m y dado su aspecto textural la porosidad primaria y permeabilidad es alta, y en los sectores

INGOMINAS
IGM 331 40 III 53

2.2. LITOESTRATIGRAFIA

En el extremo sureste de Bogotá, las unidades aflorantes más antiguas - corresponden al Grupo Guadalupe de edad cretáceo Superior, dentro de este Grupo se encuentran las Formaciones : Arenisca Dura (Ksgd), Plaeners (Ksgp), Labor (Ksgl) y Tierna (Ksgt), Pérez, G., Salazar, A. 1970. Formaciones de edad Terciaria tales como Guaduas (Tkg), Bogotá (Tb) y Regadera (Tsr), también están allí presentes (Fig.1).

Los depósitos de edad Cuaternaria se agrupan en : Coluviones , Suelos Residuales (Qp) y Aluviones.

En el cerro El Volador aflora la formación Arenisca Tierna (Ksgt), cuya localidad tipo se encuentra por la carretera Bogotá- Choachí. Allí se define como una "arenisca de grano grueso a muy grueso separada por finos paquetes oscuros de lodolitas, limolitas y arcillolitas". En El Volador presenta las siguientes características : Arenisca blanca a - amarillenta clara, grano fino a conglomerático, subredondeado a subangular, con formas equidemencionales, ligeramente orientados según la estratificación; compuestos por cuarzo (95%), dentro de matriz arcillosa, con escaso cemento síliceo y óxidos de hierro, en general son muy fiables, la estratificación varía de plana masiva a laminar cruzada (Mojica, P., 1987 inédito).

El espesor de los estratos varía de 0.10 a 3.0 m y dado su aspecto textural la porosidad primaria y permeabilidad es alta, y en los sectores

INGEOMINAS

de zonas de esfuerzo, la Secundaria también es alta; en general la meteorización mecánica es avanzada y la química incipiente.

Las arcillolitas y limolitas, son de color blanco a gris amarillento y rojizo alteradas, silíceas, blandas, laminadas, las arcillolitas son plásticas. El espesor total de la unidad en El Volador, no se pudo medir ya que su contacto inferior es fallado.

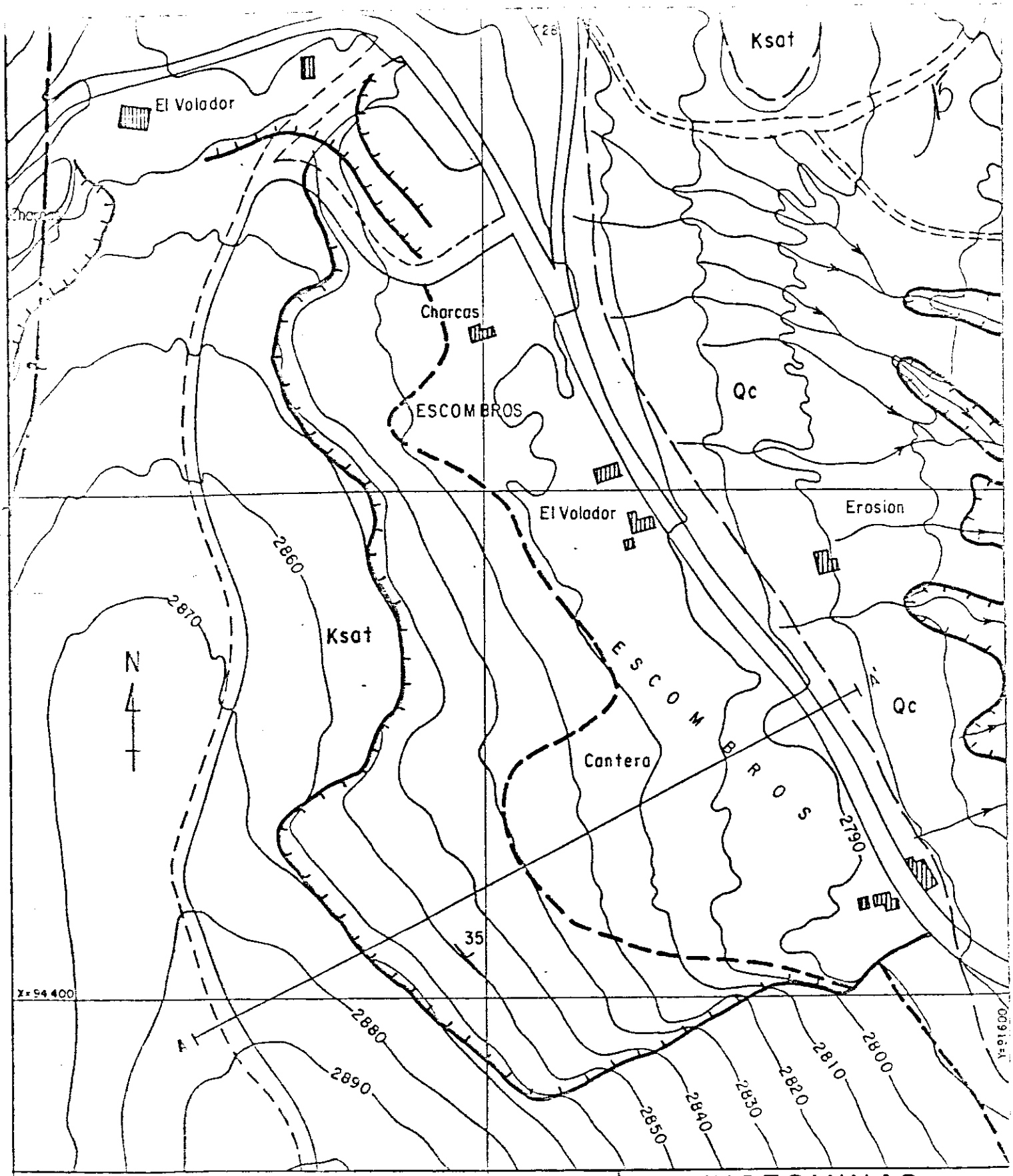
Cubriendo la Arenisca Tierna, se encuentra un coluvión (Qc) constituído por bloques y guijos angulares de arenisca y limolita dentro de un predominio de matriz limo-arcillosa, cuyo espesor puede alcanzar unos 8 m. (Fig.2)

2.3. TECTONICA

El área sureste de Bogotá está dominada por una estructura regional que es el sinclinorio de Usme-Tunjuelo, cuyo eje va a lo largo del Valle del rio Tunjuelo, con orientación N-NW, frecuentes inversiones en sus flancos y estructuras menores sinclinales y anticlinales (Fig.1).

El cerro El Volador se encuentra localizado en su flanco occidental y allí la estructura es afectada por dos sistemas de fallas: un sistema con orientación N-NW y con un desplazamiento lateral importante, el otro sistema es transversal y posterior al anterior y por lo general son fallas normales con poco desplazamiento en la vertical.

INGEOMINAS



CONVENCIONES

- Escarpes
- Zonas con Erosión Fuerte
- Contacto Geológico
- Escombros
- Falla Geológica
- Rumbo y Buzamiento de los Estratos
- Carreteras

LEYENDA

FORMACION ARENISCA TIERNA

Ksat — Arenisca de grano grueso y conglomeráticas, en capas gruesas. Intercalación de lodolitas grises laminadas.

COLUVIONES

Qc — Predominantemente limos, con fragmentos de areniscas angulares, y en sectores predominantemente orgánicos.

INGEOMINAS

ESQUEMA GEOLOGICO "CANTERA EL VOLADOR"

Tomado de Mojica P. (1.987)

Autor: Geología Ambiental	Dibujó: Cartografía - Ingeominas	
Escala: 1: 2000	Fecha:	Figura: N.º 2

3. GEOTECNIA

En la etapa de Geotecnia se pretende analizar, el mecanismo de falla imperante durante el movimiento de la masa rocosa, así como la determinación de las problables causas del deslizamiento.

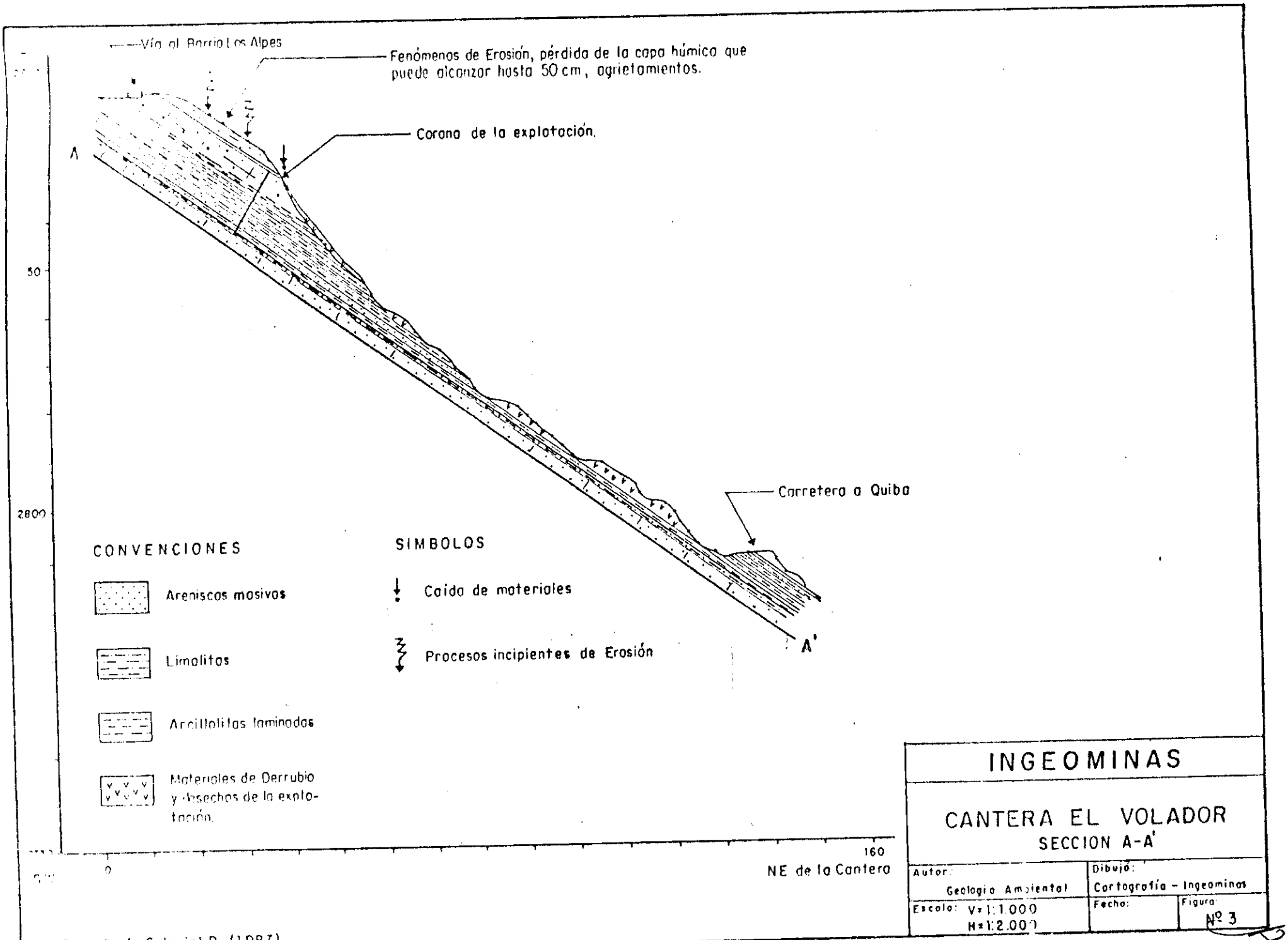
3.1. DESCRIPCION FISICA DEL DESLIZAMIENTO

La zona afectada por el deslizamiento alcanza la cota 2860 en su parte superior y la cota 2790 en su nivel más bajo; el ancho promedio de la zona movida es de 350 m alcanzando 400 m en su parte más amplia. Su extensión longitudinal es de 200 m desde la corona hasta la pata de la masa deslizada. Se estima que en total se desplazaron 60.000 m^3 .

Durante el presente estudio se encontró que las zonas más afectadas por el movimiento están constituídas básicamente por interestratificaciones de areniscas y arcillolitas. (Fig.3)

3.2. MUESTREO Y ENSAYOS

Con el propósito de determinar las características geomecánicas del macizo rocoso, se tomaron muestras inalteradas de este material, para



INGEOMINAS

CANTERA EL VOLADOR
SECCION A-A'

Autor: Geología Ambiental	Dibujó: Cartografía – Ingeominas	
Escala: V=1:1.000 H=1:2.000	Fecha:	Figura Nº 3

Tomado de Colegial D. (1987)

evaluar sus propiedades índices y de resistencia.

Los resultados de las propiedades índices y del análisis granulométrico (método del hidrómetro), se muestran en la Tabla 1. Para la obtención de los parámetros de la resistencia de la superficie de deslizamiento, se realizaron ensayos de corte directo sobre muestras relativamente inalteradas; para esto, se seleccionó una muestra de arcillolita, por ser este material el más débil de la secuencia estratigráfica presente en el perfil de la masa deslizada.

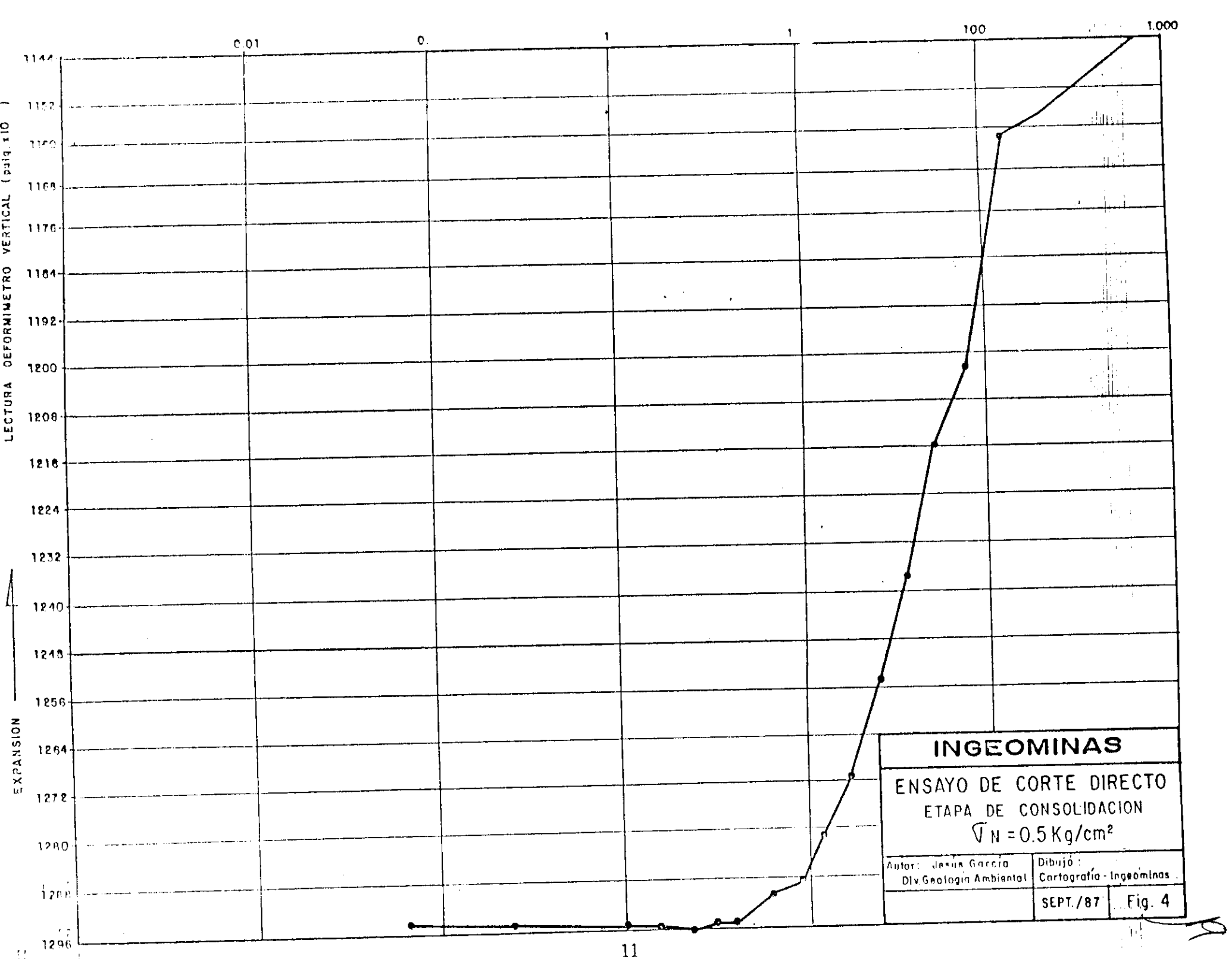
A esta muestra se le hicieron ensayos de corte directo consolidado - drenado, bajo condición inundada. Los resultados del ensayo, se presentan en la Tabla 2, mientras que el comportamiento de dicho material durante la etapa de ensayo se observa en las Figuras 4 a 9.

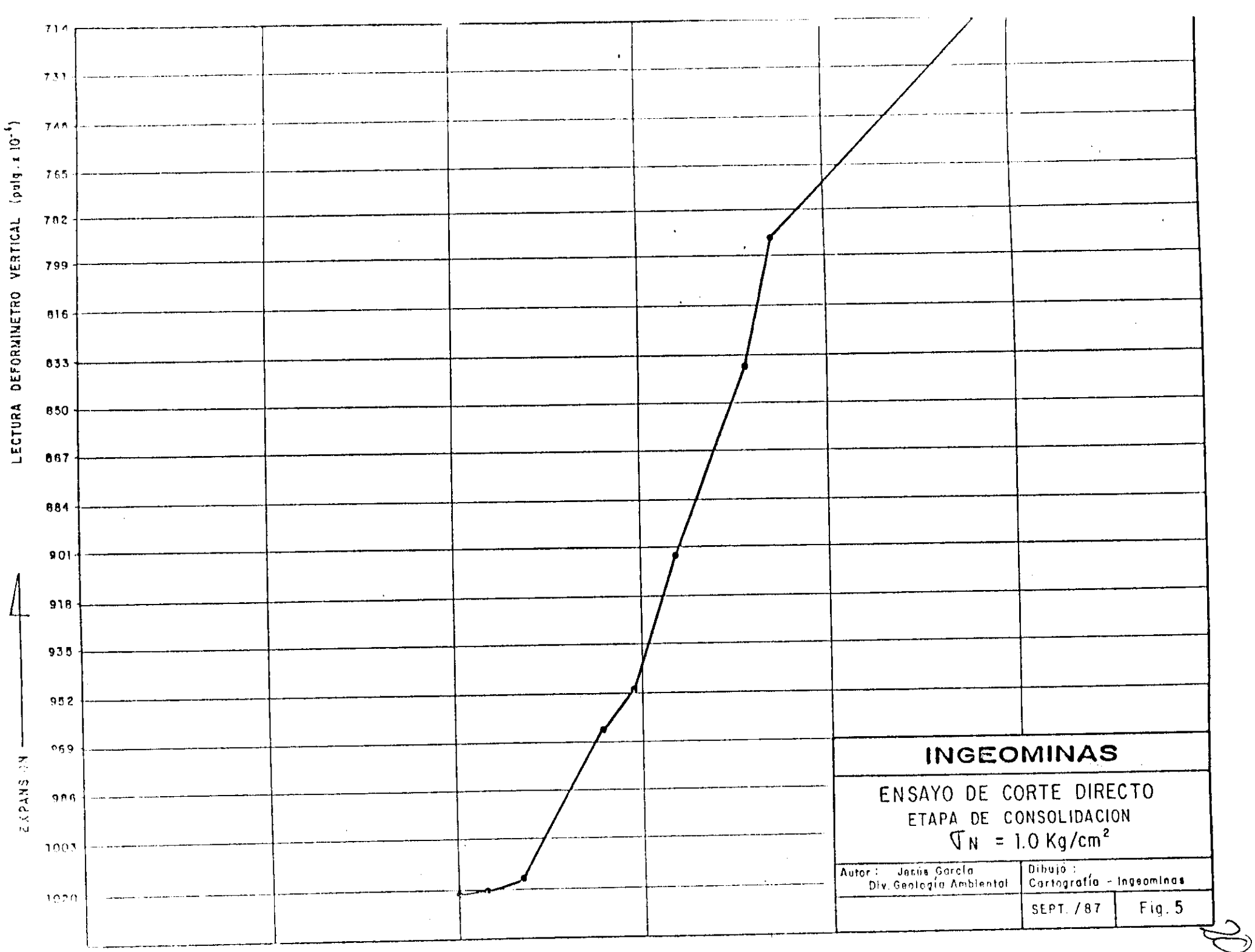
Adicional a la anterior información, se realizaron ensayos del desleimiento-durabilidad, a fin de observar el comportamiento del material ante los agentes meteóricos. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 3.

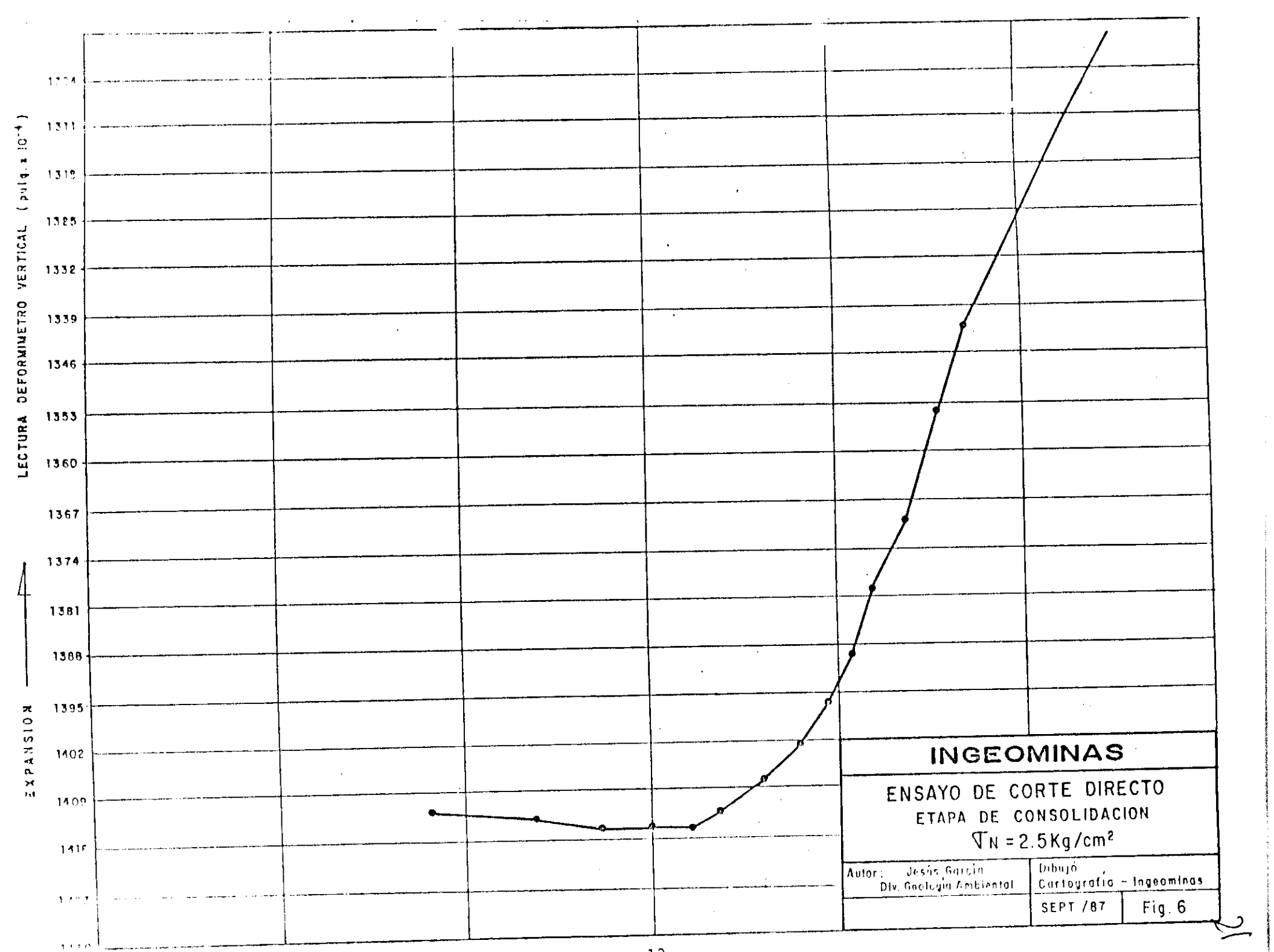
Las características geomecánicas indican que :

a. El comportamiento de la arcillolita corresponde a un material frágil (IF=0.36%); obsérvese como el material inicialmente gana resistencia para luego sufrir una pérdida brusca de la misma (Figura 8)

INGEOMINAS


0.01
0.
1
1
100
1.000
LECTURA DEFORMIMETRO VERTICAL (pulg. x10)
1144
1152
1160
1168
1176
1184
1192
1200
1208
1216
1224
1232
1240
1248
1256
1264
1272
1280
1288
1296
EXPANSION
INGEOMINAS
ENSAYO DE CORTE DIRECTO
ETAPA DE CONSOLIDACION
$\sigma_N = 0.5\ Kg/cm^2$
Autor: Jesus Garcia
Div. Geologia Ambiental
Dibujó: Cartografía - Ingeominas
SEPT./87
Fig. 4


LECTURA DEFORMIMETRO VERTICAL (pulg. x 10^{-4})
714
731
748
765
782
799
816
833
850
867
884
901
918
935
952
969
986
1003
1020
EXPANSION
INGEOMINAS
ENSAYO DE CORTE DIRECTO
ETAPA DE CONSOLIDACION
σ_N = 1.0 Kg/cm^2
Autor : Jesús García
Div. Geología Ambiental
Dibujó :
Cartografía - Ingeominas
SEPT. / 87
Fig. 5


LECTURA DEFORMIMETRO VERTICAL (pulg. x 10⁻⁴)
EXPANSION
1304
1311
1318
1325
1332
1339
1346
1353
1360
1367
1374
1381
1388
1395
1402
1409
1416
INGEOMINAS
ENSAYO DE CORTE DIRECTO
ETAPA DE CONSOLIDACION
σN = 2.5Kg/cm²
Autor: Jesús García
Div. Geología Ambiental
Dibujó
Cartografía - Ingeominas
SEPT /87
Fig. 6

b.. En las curvas de deformación contra tiempo (Figuras 4,5 y 6), se observa que en todos los casos se trata de un material expansivo.

c. En la Figura 8, se ilustran las curvas de esfuerzo cortante contra desplazamiento horizontal, notándose que todas las muestras exhibieron expansión al inicio de la etapa de falla (Figura 7).

Las compresiones exageradas que se ven se deben en buena parte a - la expulsión de material por la superficie de falla.

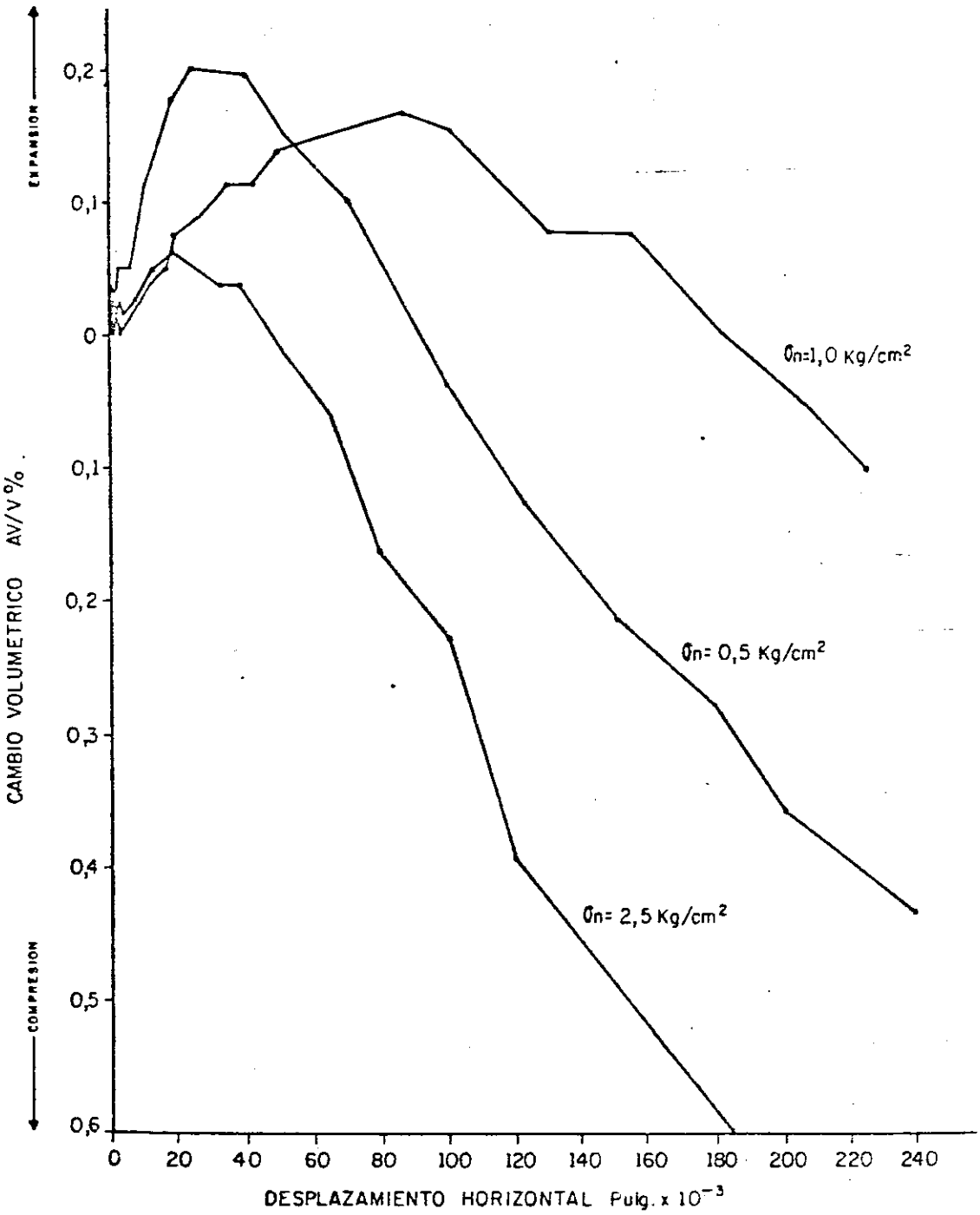
d. La Figura 9 ilustra las "trayectorias" τ-σ, en la superficie de falla durante el corte y las posibles interpretaciones de la envolvente de resistencia.

e. La resistencia de la arcillolita para soportar procesos naturales - de alteración es muy baja, según la clasificación propuesta por Gamble (Indice de durabilidad inferior a 60%).

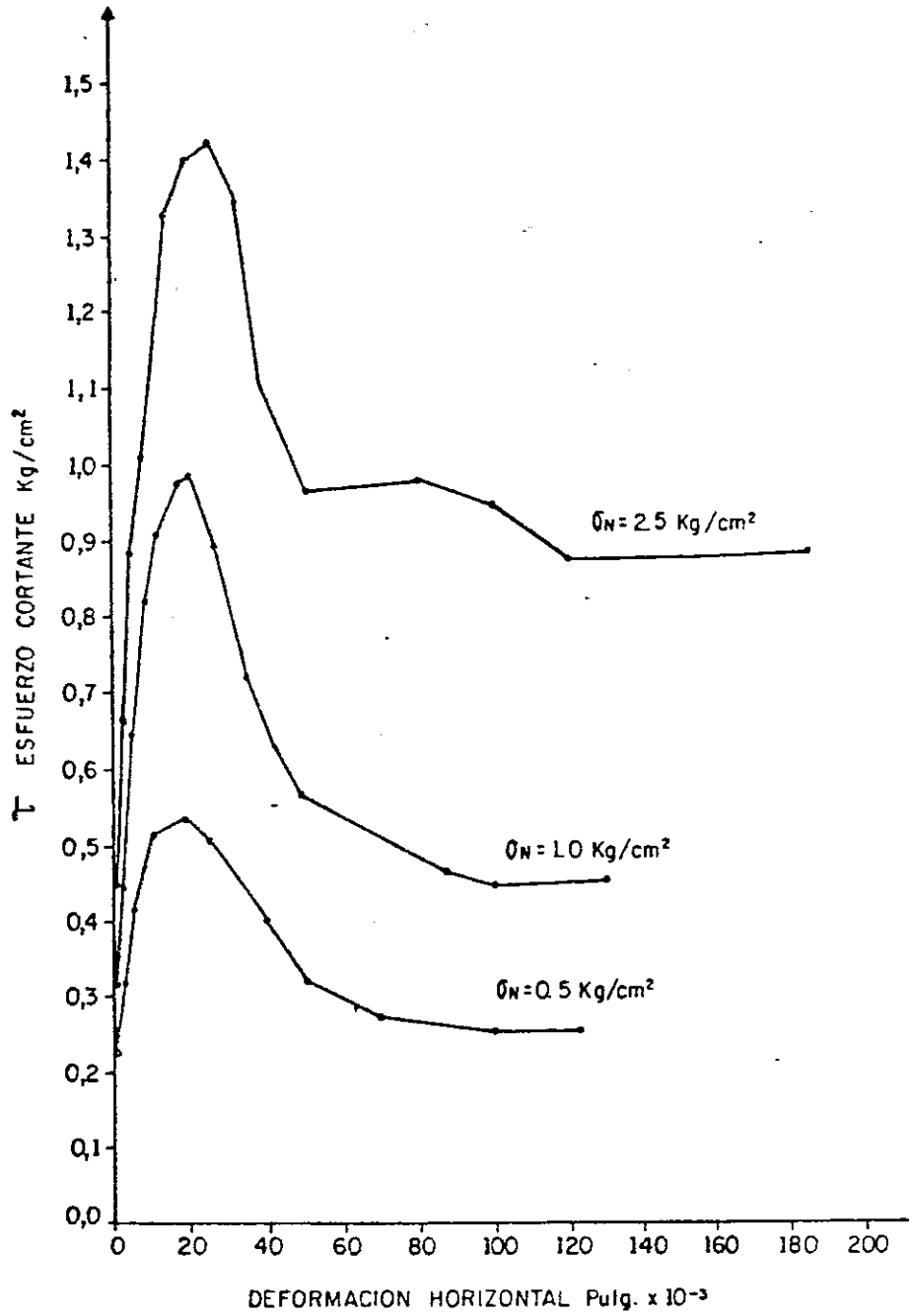
3.3. ANALISIS ESTRUCTURAL

Bajo esta denominación se considera la influencia de los planos de estratificación y diaclasas en la estabilidad del macizo rocoso. Para - ello, se realizó un levantamiento detallado de discontinuidades y estratificación a fin de identificar las diferentes familias que afloran en el sitio en estudio. Una vez realizado el levantamiento de discontinuidades, se procedió a la representación polar (Figura 10), y al conteo

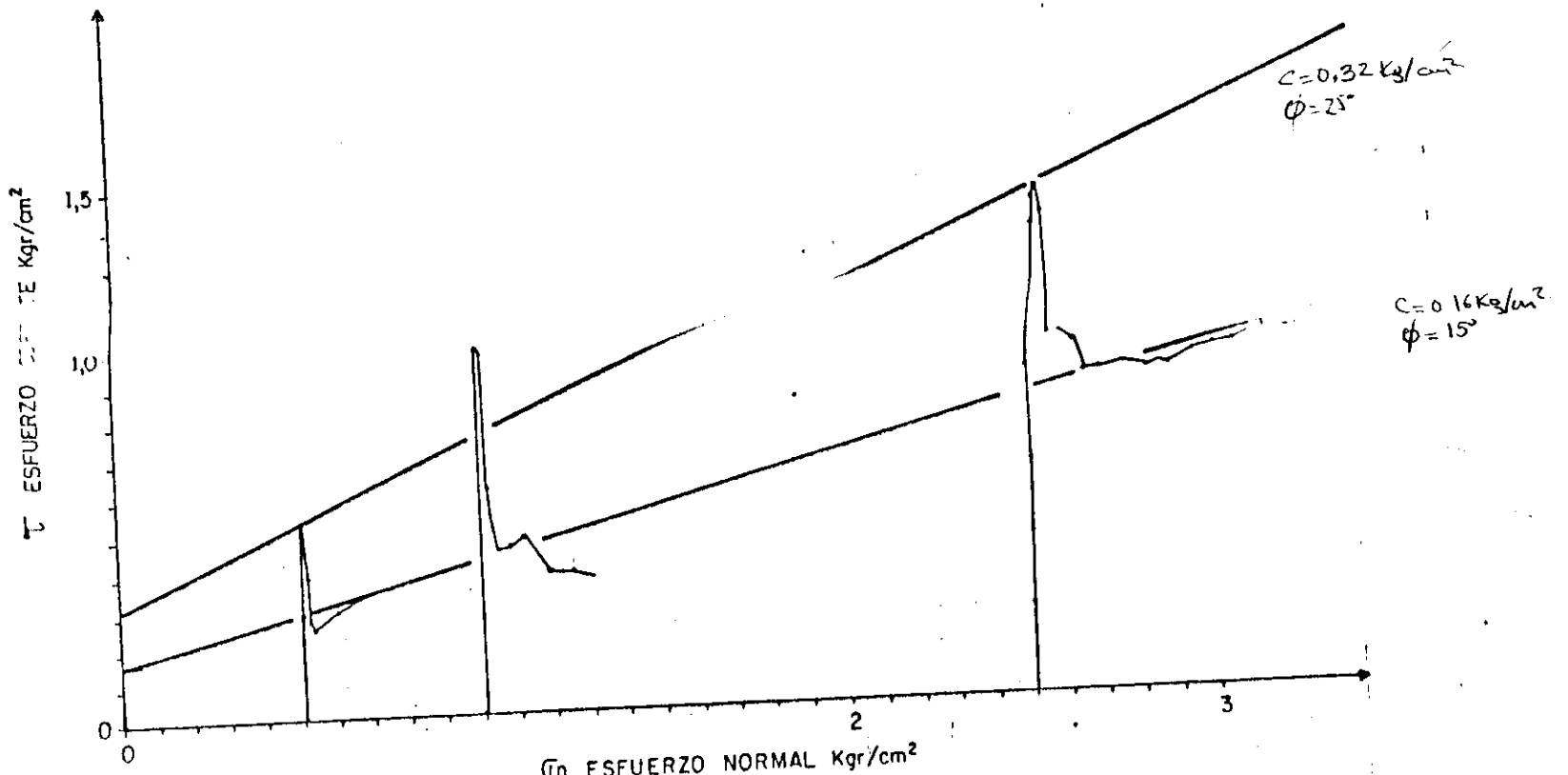
23



INGEOMINAS	
ENSAYO DE CORTE DIRECTO CAMBIO DE VOLUMEN VS. DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL	
Autor: Jesús García Geologic Ambiental	Dibujo Cartografía Ingeominas
Escala:	Fecha:
	Figura: 7



INGEOMINAS	
ENSAYO DE CORTE DIRECTO	
Autor: Jesús García Geología Ambiental	Dibujo Cartografía - Ingeominas
Escala:	Fecha



INGEOMINAS		
ENSAYO DE CORTE DIRECTO DIAGRAMAS τ-σ		
Autor: Jesús García Geología Ambiental	Dibujo: Cartografía - Ingeominas	
Escala:	Fecha:	Figura: 9

estadístico de las diaclasas; En la Figura 11, se indican las familias de discontinuidades más representativas del macizo rocoso, mientras que los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 4.

3.4. ANALISIS CINEMATICO DE ESTABILIDAD

A partir de los diagramas de frecuencia, se construyó el estereograma de círculos principales, observándose que el deslizamiento corresponde a una falla de tipo planar; adicional a el anterior fenómeno, existe la posibilidad de dos fallas de cuña, dadas por la intersección de la estratificación con las familías 1 y 3. El anterior mecanismo de falla - (cuña), tenderá a agudizarse con la orientación de los cortes, de manera que se puede pasar de fallas planares a cuñas siendo el resultado - igual o peor al actual. (Fig.12)

3.5. ANALISIS ESTATICO DE ESTABILIDAD

Con los resultados de los ensayos de laboratorio, se procedió a realizar un análisis preliminar de estabilidad, teniendo en cuenta la orientación e inclinación de la excavación.

En vista de corresponder el deslizamiento a una falla de tipo planar, se requieren los siguientes datos de entrada para los respectivos análisis:

a. Geometría del terreno

TABLA Nº 1

Muestra	Yt (t/m³)	Wn	Wl	Wp	Ip	%<2μ	Ac	Gs	Clasificación USC
Arcillolita	2.07	16.98	73.3	27.4	46.3	62.1	0.746	2.702	CH
Ceniza Volcánica	1.94	20.24	44.2	21.5	22.7	41.78	0.543	2.509	CL
Arenisca	2.392	–	–	–	–	–	–	–	–

TABLA Nº 2

Muestra	C'p t/m²	φ'p	C'r t/m²	φ'r
Arcillolita	3.20	26°	1.80	14°

TABLA Nº 3

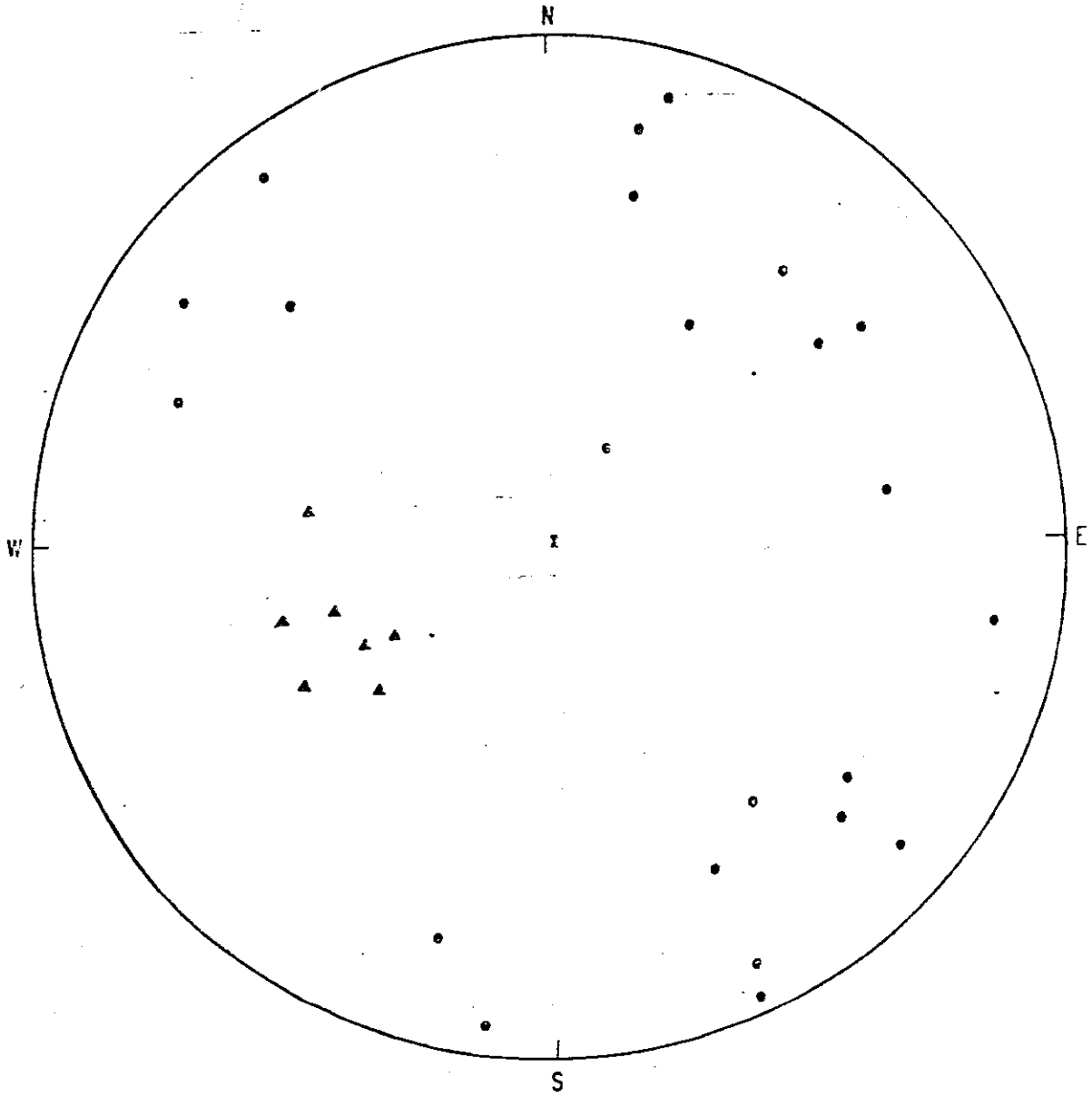
Muestra	Indice de Durabilidad
Arcillolita	19%

TABLA Nº 4

Familia	∝*	ρ*
1	194°	86°
2	229°	56°
3	314°	60°
Estratificación	62°	36°

* ∝ = Dirección de Buzamiento
ρ = Buzamiento

28



▲ Estratificación

● Diaclasas

INGEOMINAS

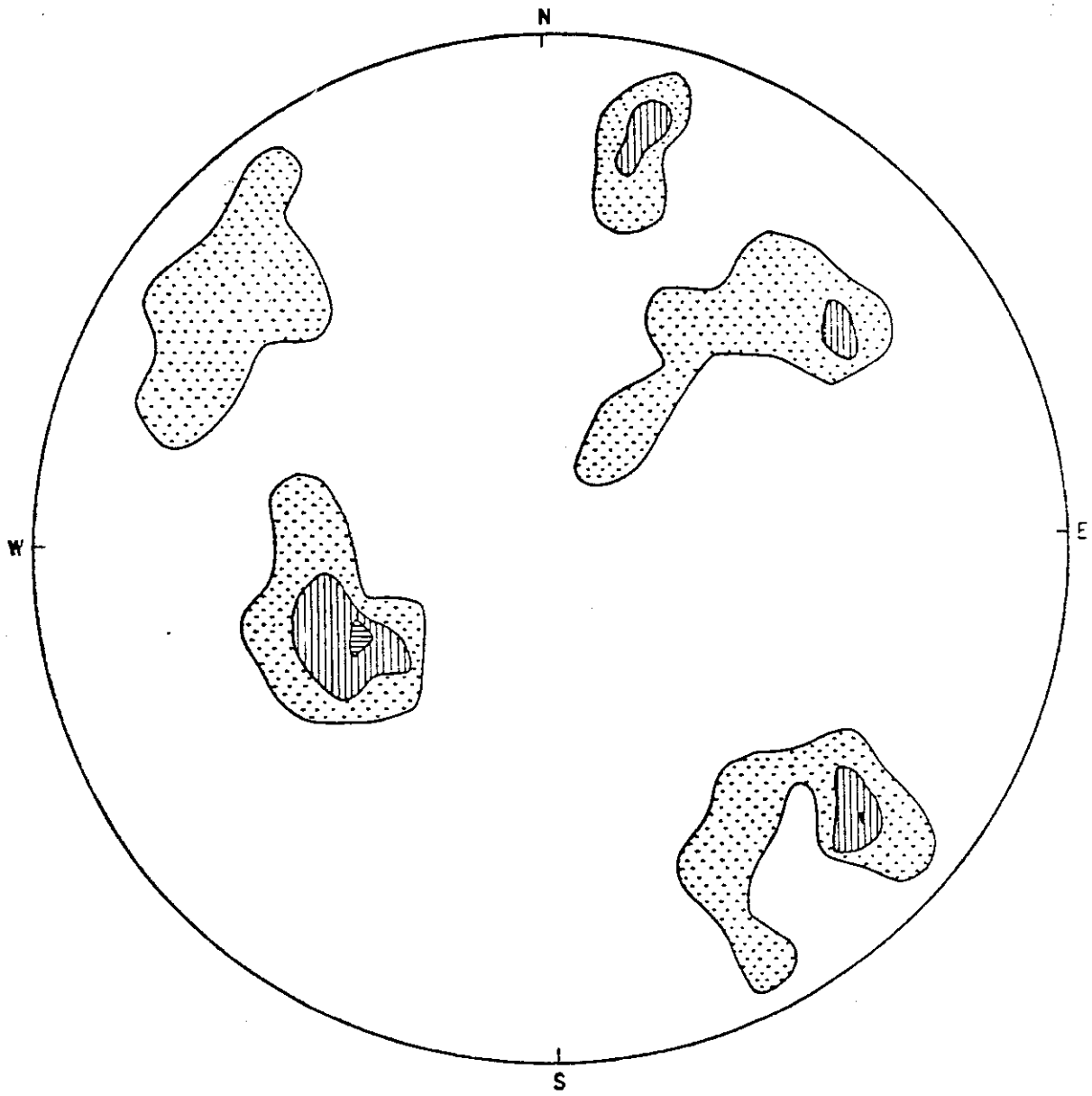
DIAGRAMA DE POLOS

SECTOR EL VOLADOR

Autor: Jesus Garcia
Geologia Ambiental

Escala:

Fecha:

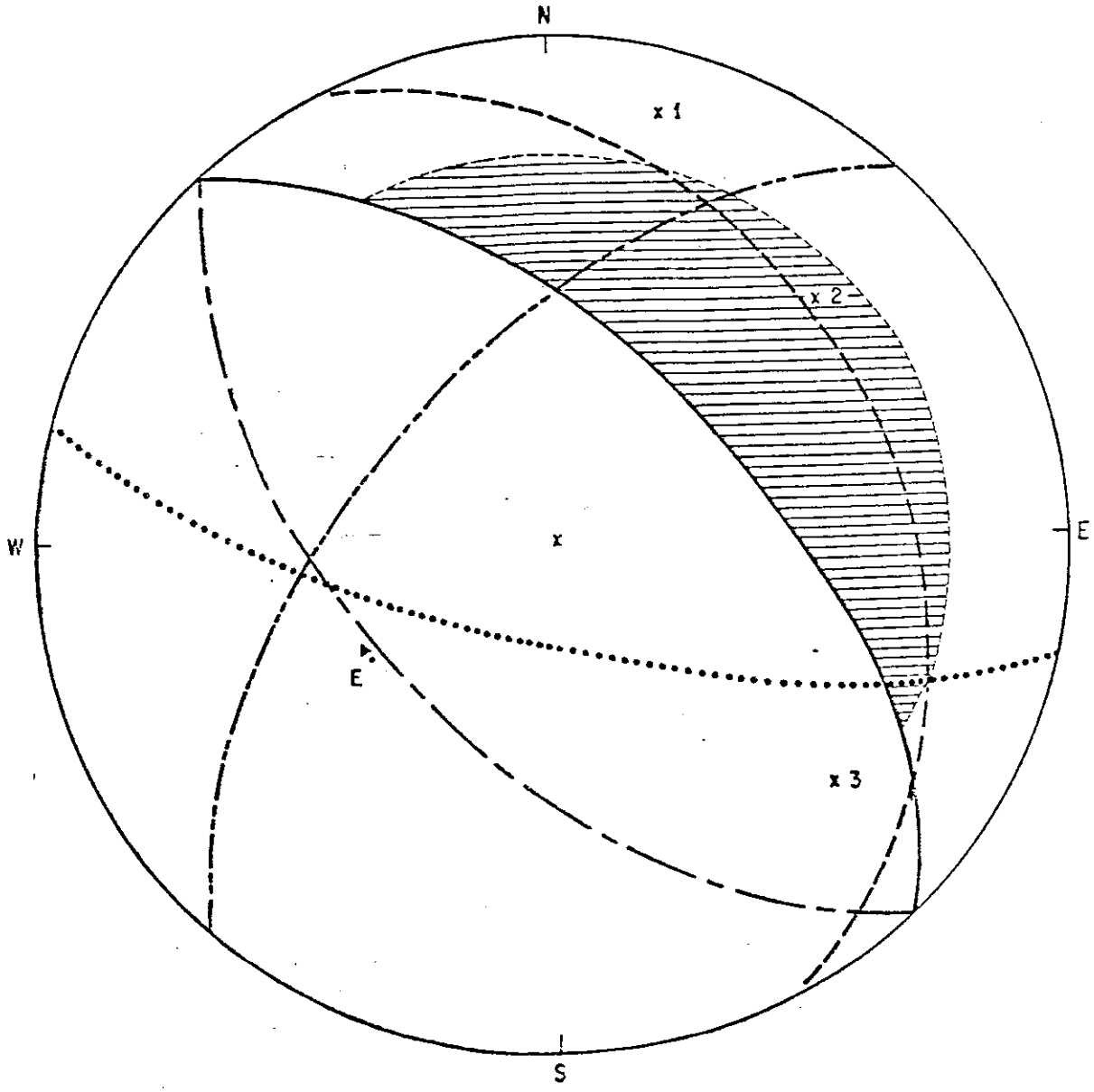


3-6% 6-10% > 10%

INGEOMINAS

DIAGRAMA DE FRECUENCIA
SECTOR EL VOLADOR

Autor: Jesus Garcia Geologia Ambiental	Dibujó: Cartografía – Ingeominas
	Figura 13



Talud
Estratificación
Familia 1
Familia 2
Familia 3
Círculo de fricción

INGEOMINAS

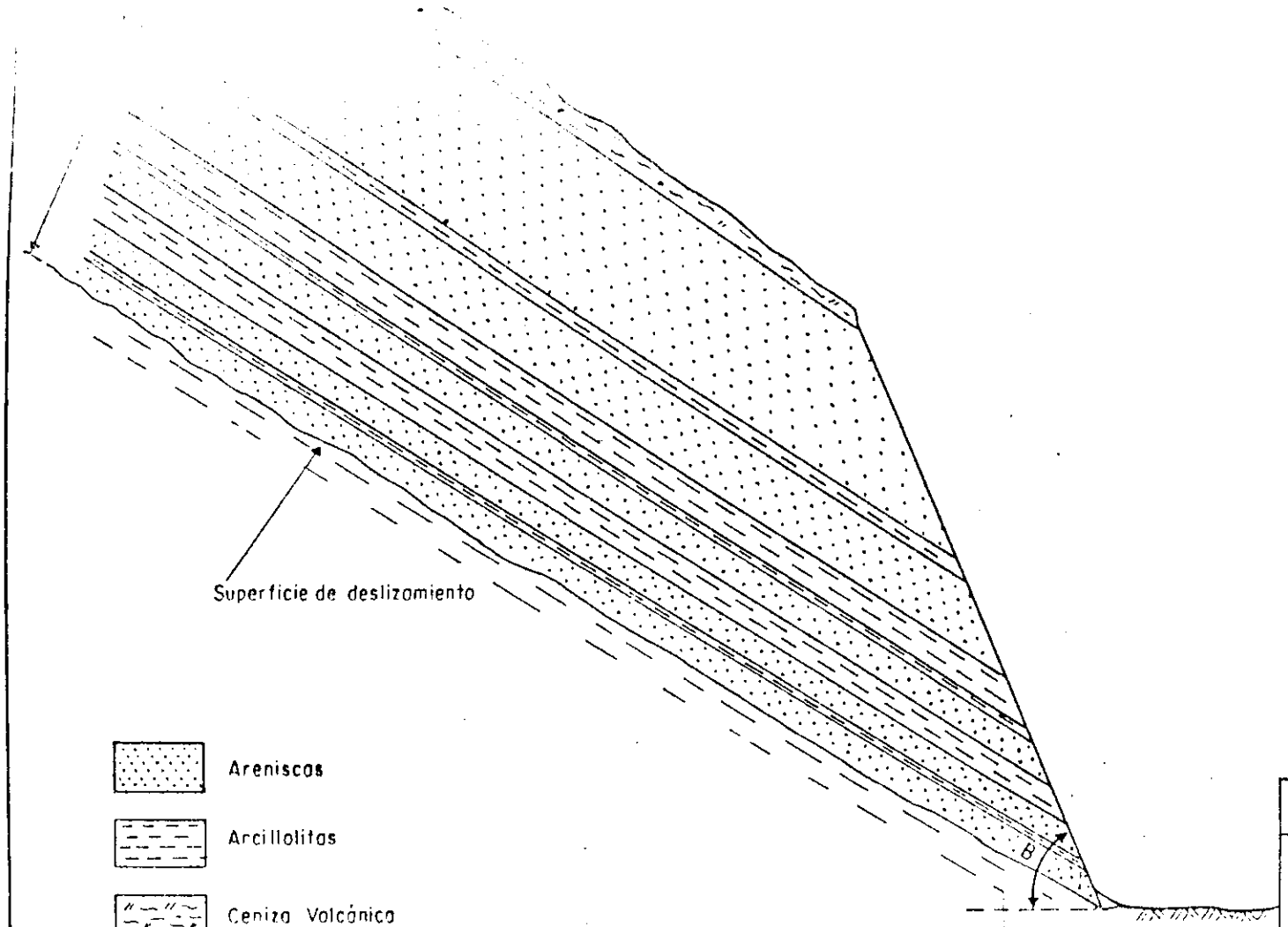
DIAGRAMA DE CIRCULOS PRINCIPALES
SECTOR EL VOLADOR

Autor: Jesús García
Geología Ambiental

Dibujo
Cartografía

Escala:

Fecha



Areniscas

Arcillolitas

Ceniza Volcánica

B Inclinación del talud

INGEOMINAS

GEOMETRIA DEL TALUD ANALIZADO

Autor	Dibujo	
Geología Ambiental	Cartografía - Ingeominas	
Escala	Fecha	Figura 13

31

- El estrato de arcillolita actúa como barrera impermeable a el flujo.

- Se conoce la línea piezométrica, en al menos dos puntos en la dirección del flujo.

- El flujo del agua está direccionado por las diaclasas y otras discontinuidades estructurales.

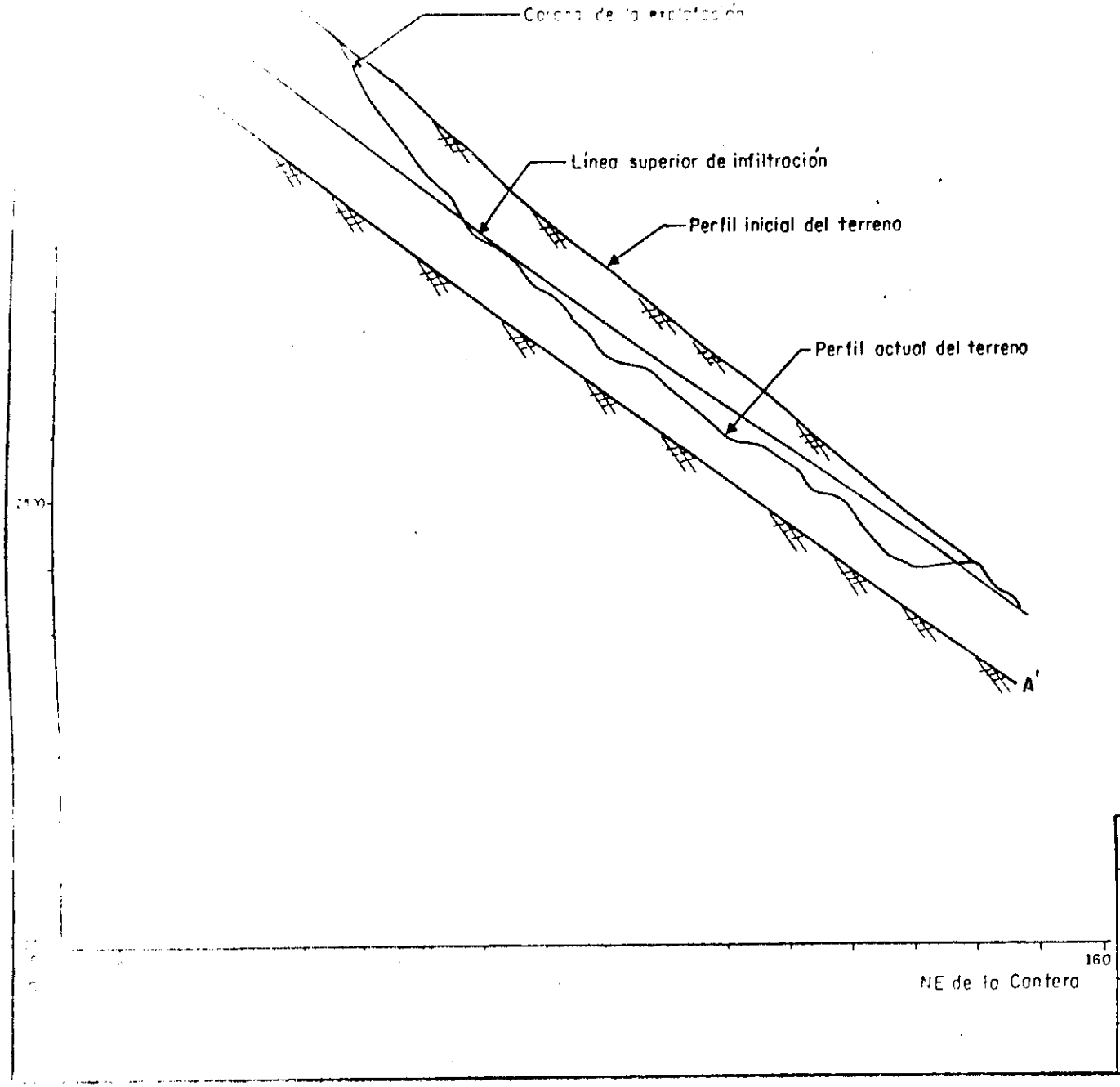
Finalmente la línea piezométrica obtenida mediante la técnica de las diferencias finitas se indica en la Figura 14.

d. Parámetros geomecánicos

La investigación de campo permite concluir que la falla se presentó sobre un estrato de roca blanda (arcillolita), y no por el contacto arenisca-arcillolita, debido a la rugosidad existente en la interface de los materiales.

En el caso de interface arenisca-arcillolita, el problema se puede asemejar a una superficie de discontinuidad inclinada un ángulo en la dirección de corte. Para este caso, la resistencia del material esta gobernada por la siguiente expresión :

$$\tau = \sigma_n \tan(\phi + i)$$



INGEOMINAS

CANTERA EL VOLADOR
POSICION DE LA LINEA SUPERIOR
DE INFILTRACION

Autor: Jesús García Geología Ambiental		Dibujó: Cartografía – Ingeominas	
Escala	V = 1 : 2000 H = 1 : 2000	Fecha:	Figura 14

τ : Resistencia al corte

σ : esfuerzo normal

ϕ : Angulo de fricción interna

i : Angulo que representa la rugosidad promedio, de la interfase arcillolita-roca.

La anterior ecuación fué confirmada por una serie de ensayos sobre modelos con superficie rugosa, realizados por Patton. Nótese que para esta condición la resistencia del material es alta, mientras que al realizar el ensayo de corte sobre la muestra de arcillolita con superficie lisa se esta trabajando con parámetros más reales, y al mismo tiempo en la condición mas desfavorable.

3.6 ANALISIS RETROSPECTIVO

Este apartado tiene por objeto determinar los factores que llevaron a la falla del macizo rocoso, así como evaluar los parámetros de resistencia en el momento del deslizamiento; para esto, se hizo un retroanalisis utilizando como perfil típico el mostrado en la Figura 13.

Dadas las características del deslizamiento, se analizó como falla plana en talud infinito, realizándose los respectivos cálculos tanto para la condición de talud seco como saturado. Los resultados de los anteriores análisis se muestran en la Figura 15, haciéndose conveniente resaltar los siguientes aspectos :

No fue necesaria la saturación del talud para que se produjera la

falla del mismo; esta aseveración es válida aun para la resistencia pico.

- Debido a la excavación, pequeños desplazamientos llevaron a una disminución de la resistencia, que aún en condición del talud seco podría llevar a la falla, y finalmente

- La pérdida de soporte del talud, llevó a la generación de grandes fuerzas desestabilizadoras, que superaron la resistencia al corte de la roca blanda (arcillolita).

2.7. POSIBLES CAUSAS DEL DESLIZAMIENTO

Con base en las inspecciones de campo y en el análisis retrospectivo, se puede mencionar como causa real del deslizamiento las características geológicas de la zona, como son la disposición estructural desfavorable de la estratificación y la infiltración del agua por las grietas en épocas invernales.

La causa inmediata o detonante fue la pérdida de soporte en la base, consecuencia de la excavación antitécnica del talud; adicionalmente es importante resaltar que en todo momento se dejaron taludes empinados (80°), lo que beneficiaron la inestabilidad del macizo rocoso.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

incipales resultados del presente estudio son los siguientes :

investigación realizada para el sector "EL Volador", permitieron
cir que el principal agente detonante del deslizamiento corres-
a un ineficiente sistema de explotación: este fenómeno se de-
principalmente a la pérdida de soporte en la base del macizo ro-
, así como a una disposición desfavorable de la estratificación.

análisis muestran que el sector de "El Volador", no es apto pa
l asentamiento de ningún tipo de estructura en vista de :

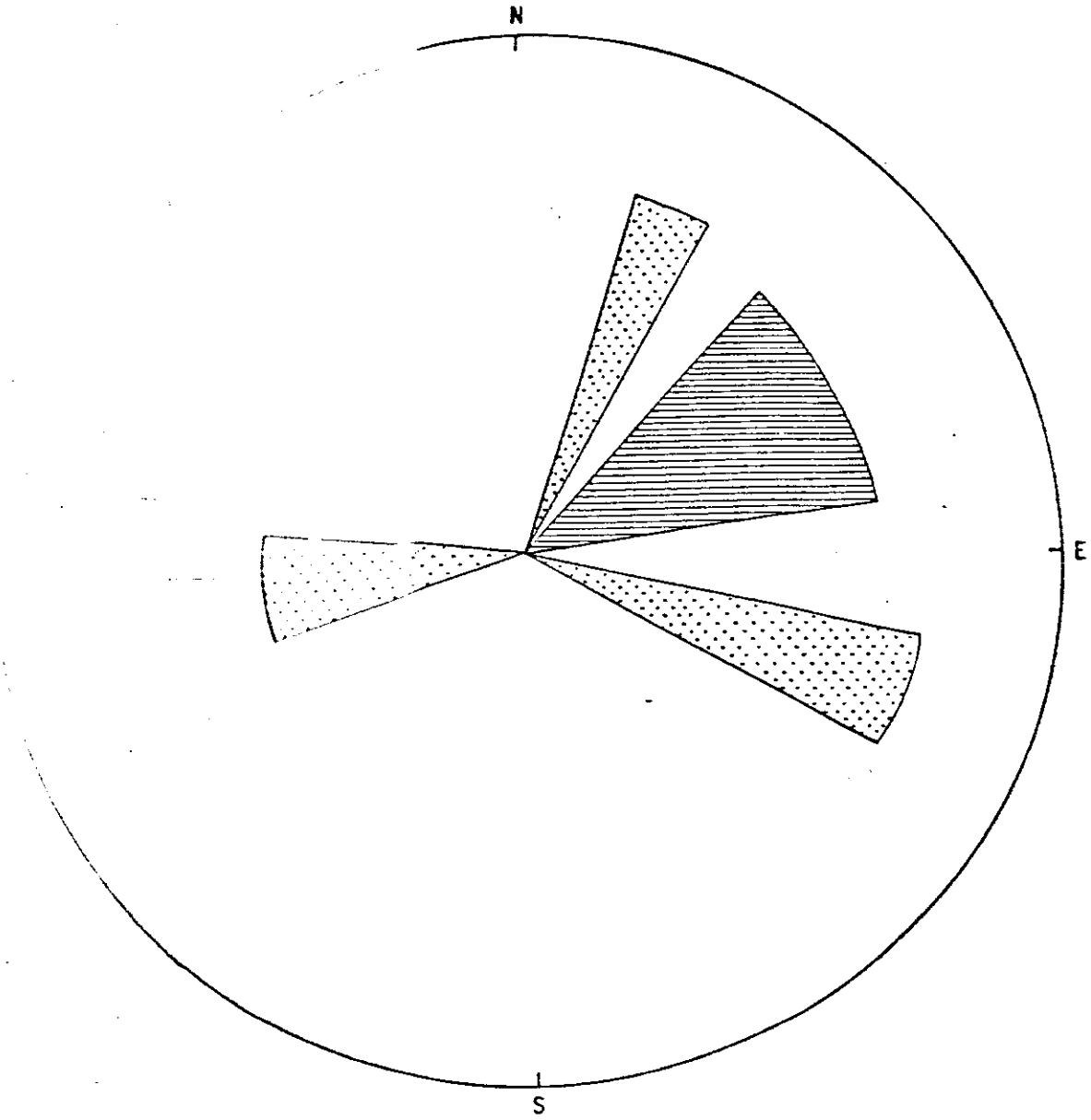
fallas planares en roca
fallas por flexo-comprensión (pandeo) de los estratos de arci-
llolita y arenisca.
desprendimiento y caída de bloques.

la parte superior de la cresta del deslizamiento se notan una
de grietas, que hacen suponer que el deslizamiento sea retro-
; este fenómeno es muy delicado, en vista de las serias in-
ones que tendría sobre la estabilidad de las construcciones
les.

... general, todo el sector se caracteriza por ser inestable como consecuencia de un inadecuado sistema de explotación; la Figura 16 ... las rangos de orientaciones e inclinaciones para los que ... peran problemas geotécnicos (es decir, fallas planares y en -

... general, para cualquier tipo de construcciones que se realizan ... sector, se le debe dar mucha más importancia a la estabi- ... las laderas adyacentes que en general corresponden a los ... de canteras abandonadas con taludes cuasi-verticales. Este ... es definitivamente indispensable para preservar la vida y ... de los habitantes del sector.

INGEOMINAS



Taludes cinematicamente inestables por falla planar.

Taludes cinematicamente inestables por falla en cuña.

INGEOMINAS	
REPRESENTACION GRAFICA DE LOS MODOS DE FALLA	
Autor: Jesús García Geología Ambiental	Dibujó: Cartografía – INGEOMINAS
	Figura 15

BIBLIOGRAFIA

.. BROWN. Excavaciones Subterráneas en Roca.- Mc Graw Hill.

.. Rock Slope Engineering.

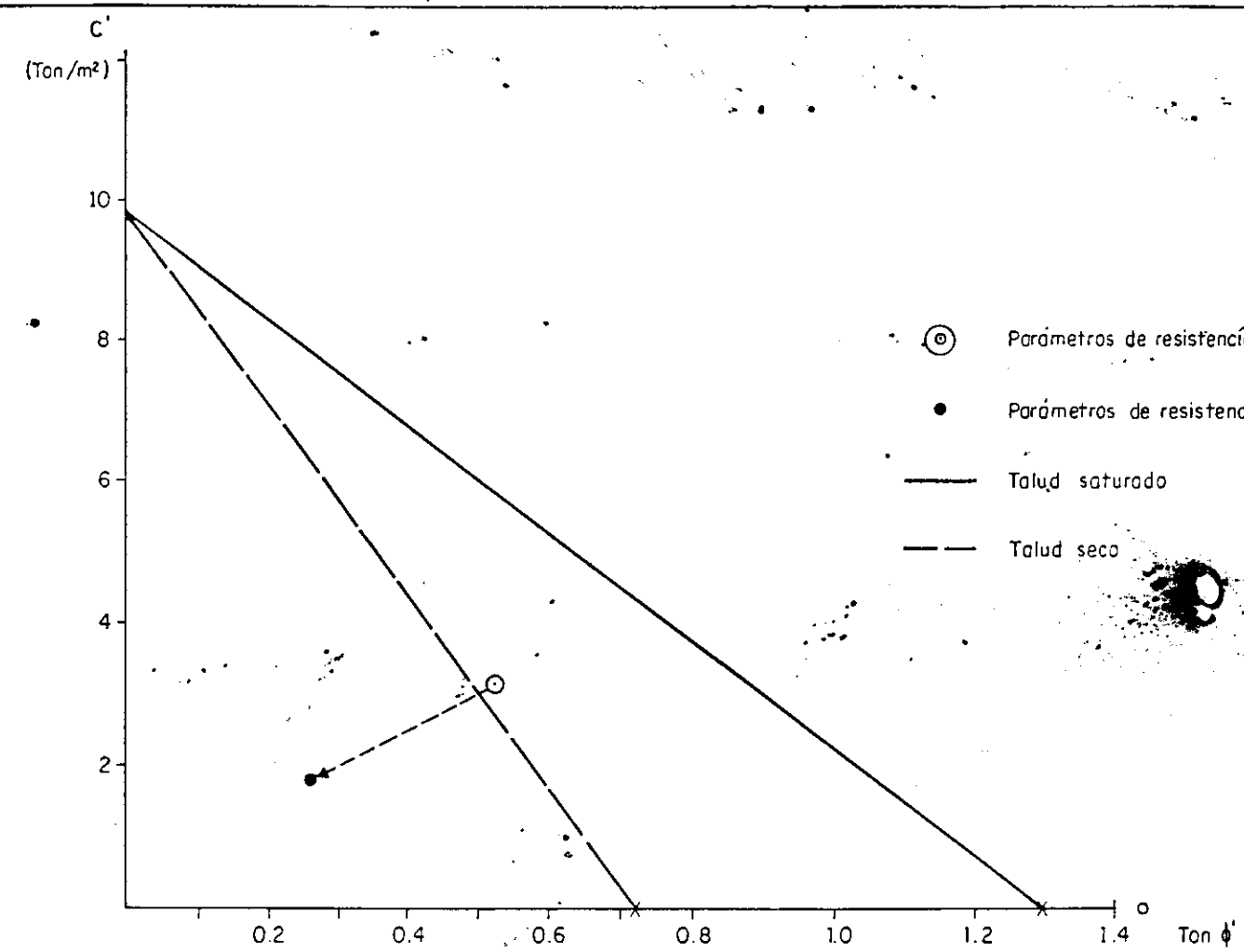
.. PERALOZA. Estabilidad de Taludes de Altura Creciente en .. Proyecto de Grado. Universidad Nacional. Febrero de 1986.

.. and N W COOK. Fundamentals of Rock Mechanics.- Sciene Paper ..

.. and David Prior Slope Instability. John Wiley & Sons Ltd. ..

.. (1987), Geología Zona 2 Proyecto "Zonificación Geotecnia del .. de Bogotá" Inédito.

.., COLEGIAL, P. (1987), Geología y Aspectos Geotécnicos de .. Central del Sector Denominado Ciudad Bolivar en el Distri .. de Bogotá. Tesis de Grado.



INGEOMINAS		
RESISTENCIA AL CORTE MOVILIZADA PARA FALLA PLANAR		
Autor: Jesús García Geología Ambiental	Dibujo: Cartografía - Ingeominas	
Escala:	Fecha:	Figura: 15

τ = resistencia al corte

σ_n = esfuerzo normal

ϕ = ángulo de fricción interna

i = ángulo que representa la rugosidad promedio, de la interface arcillolita-arenisca.

La anterior ecuación fue confirmada por una serie de ensayos sobre modelos con superficie rugosa, realizados por Patton. Nótese que para esta expresión, la resistencia del material es alta, mientras que al realizar el ensayo de corte sobre la muestra de arcillolita con superficie lisa, se está trabajando con parámetros más reales, y al mismo tiempo en la condición más desfavorable.

3.6. ANALISIS RETROSPECTIVO

Este apartado tiene por objeto determinar los factores que llevaron a la falla del macizo rocoso, así como evaluar los parámetros de resistencia en el momento del deslizamiento; para esto, se hizo un retroanálisis utilizando como perfil típico el mostrado en la Figura 13.

Dadas las características del deslizamiento, se analizó como falla plana en talud infinito, realizándose los respectivos cálculos tanto para la condición de talud seco como saturado. Los resultados de los anteriores análisis se indican en la Figura 15, haciéndose conveniente resaltar los siguientes aspectos :

- No fue necesaria la saturación del talud para que se produjera la

b. Espesores de las componentes del perfil

c. Niveles del agua subterránea

d. Parámetros de densidad y resistencia para cada uno de los componentes del perfil.

A continuación se hará una breve descripción de los anteriores tópicos:

a. Geometría del terreno.

La geometría del talud analizado se indica en la Figura 13, donde se observa que el macizo rocoso está constituído por intercalaciones de areniscas y arcillolitas. Por análisis fotogeológico se pudó deducir que el empinamiento de los cortes fue superior a los - 70°, tomándose este último valor como inclinación del talud.

b. Espesores de las componentes.

En la Figura 13, se indica la secuencia estratigráfica del flanco sur del deslizamiento, las mediciones se realizaron con cinta, obteniéndose un espesor promedio de la masa deslizada de 9.18 m.

c. Niveles del agua subterránea.

Para la posición de la línea superior de infiltración, se utilizó el método de las diferencias finitas, teniendo en cuenta las siguientes restricciones:

INGEOMINAS