

**ESCUELA SUPERIOR  
POLITECNICA DEL LITORAL**

**Departamento de Geología,  
Minas y Petróleos**

**Estudio de la Estabilidad de Talúdes  
de la Urbanización Bellavista**



**Tesis de Grado**

**PREVIA A LA OBTENCION**

**DEL TITULO DE**

**Ingeniero Geólogo**

**Jorge W. Matamoros Morán**

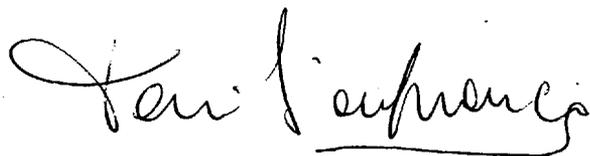
**Enero de 1977**

**Guayaquil - Ecuador**



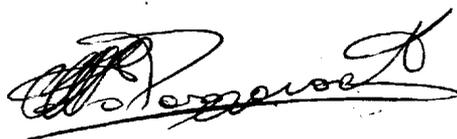
"ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA  
URBANIZACION BELLAVISTA"

Director de Tesis

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Gianfranco Perri". The signature is fluid and cursive, with a horizontal line underlining the last part of the name.

Dr. GIANFRANCO PERRI

A u t o r

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Jorge Matamoros Moran". The signature is highly stylized and cursive, with a horizontal line underlining the entire name.

JORGE MATAMOROS MORAN

## DECLARACION EXPRESA:

DECLARO QUE: Hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis son de mi exclusiva responsabilidad y que el patrimonio intelectual de la misma corresponde a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL.

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL).

## DEDICATORIA

A mis padres que a base  
de esfuerzo y sacrificio  
supieron darme una profe-  
sión.

A mis hermanos

Pedro Gustavo

Elizabeth del Rosario

Moisés Enrique

José Daniel

A mi esposa

INGRID NELLY por el  
apoyo que supo dar-  
me en los momentos  
difíciles.

## AGRADECIMIENTOS

La realización del presente trabajo contó con la colaboración del directivo de la Constructora PERRO-NE GALARZA, Ing. Ottón Wong, accionista de ella, agradezco igualmente al superintendente por las facilidades e informaciones que me proporcionó, así mismo al personal de Topografía.

Mi gratitud para la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL en la cual he recibido mi formación profesional y también para los profesores que vertieron en mí sus conocimientos, especialmente al director de esta tesis Doctor GIANFRANCO PERRI, además aquellos que revisaron la parte geológica y me hicieron valiosas sugerencias: Ing. Miguel Graetzer, Ing. Jorge Calle, igualmente mis agradecimientos para el Ing. Eugenio Nuñez del Arco e Ing. Julián Coronel.

A mis compañeros que de una u otra forma ayudaron para la realización de este trabajo.

# "ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA URBANIZACION BELLAVISTA"

## CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	1
INTRODUCCION	4
CAPITULO 1. FISIOGRAFIA	7
CAPITULO 2. GEOLOGIA GENERAL	10
2.1. ESTRATIGRAFIA	10
2.2. ESTRUCTURAS	13
CAPITULO 3. GEOMORFOLOGIA	17
CAPITULO 4. DISCONTINUIDADES	19
4.1. RUMBO	19
4.2. BUZAMIENTO	19
4.3. GRADO DE CONTINUIDAD	21
4.4. ESPACIAMIENTO (Frecuencia)	23
4.5. NATURALEZA DE LAS SUPERFICIES	26
4.6. GRADO DE ABERTURAS	27
4.7. NATURALEZA DEL MATERIAL DE RELLENO	30
CAPITULO 5. CALCULO DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES	33
5.1. CARACTERISTICAS TOPOGRAFICAS DE LOS TALUDES EXAMINADOS.	35

	Pág.
5.2. CARACTERISTICAS GEOESTRUCTURALES DE LOS TALUDES.	40
5.3. ELABORACION DE LOS MODELOS GEOMECA- NICOS.	41
5.4. EMPLEO DE LA PROYECCION ESTEREOGRA- FICA.	44
5.5. RESULTADOS	46
CAPITULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
APENDICE "A". ANALISIS PETROGRAFICOS DE ALGUNÁS MUESTRAS ENCONTRADAS EN EL AREA, CORTE A-A'.	66
APENDICE "B". NOMENCLATURA	74
MAPAS	75
BIBLIOGRAFIA	116

## RESUMEN

Basándose en un mapa topográfico (escala 1:2.000) del año 1972 de la Constructora Perrone Galarza, en un plano Urbanístico del año 1970 (escala 1:2000) de la mencionada constructora, y de fotos aéreas de la Muy I. Municipalidad de Guayaquil (escala 1:5000), se estudió la geotecnia de esta zona (942.040 m<sup>2</sup>), en particular, la estabilidad de taludes, que se han formado como producto de procesos de operación de las canteras, que darán más tarde la topografía adecuada de acuerdo al plan general de la Urbanización.

De este estudio se escogió los sitios más prominentes, tanto por su ubicación como por la seguridad y función a desempeñar más tarde, teniéndose en cuenta que se encuentran en un lugar que próximamente será habitado y que por lo tanto las seguridades deberían ser máximas.

Para la realización de este trabajo se hicieron observaciones de campo relativas a la litología de las rocas constituyentes de los actuales y futuros taludes y a las discontinuidades estructurales que pudieron con-

trolar la estabilidad de los mismos.

Las rocas aflorantes en la zona pertenecen a las formaciones Cayo y Guayaquil, las cuales fueron expuestas por los trabajos de remoción de roca, que llegaron a desarrollar taludes prácticamente verticales en los cuales fueron observadas las características morfológicas de la masa rocosa.

Como se trata de taludes constituídos por roca, se adopta el criterio de que la estabilidad de los mismos está controlada por las discontinuidades geológicas, que cortan la masa rocosa, de manera particular se enfatiza en el estudio la posibilidad de que ocurran deslizamientos de masas rocosas a lo largo de los planos de estratificación.

Todo el análisis y conclusiones se deben a la utilización de la proyección estereográfica, para los cuales después de la observación de los taludes existentes en el área, se asume un ángulo de fricción teórico máximo de 30°, el cual fué utilizado en los análisis de estabilidad.

Todo el análisis aquí expuesto es válido para roca sana o poco alterada e hipótesis simplificadora como taludes secos y ausencia de sismos.

## INTRODUCCION

Objeto del estudio: El presente trabajo trata de resaltar la importancia de los estudios geológicos-geotécnicos en el campo del diseño y construcción de pequeñas y monumentales estructuras ingenieriles, a la que solo recientemente se le ha dado la debida importancia en el país.

Los estudios geológicos iniciales tienen por finalidad la descripción exhaustiva y detallada de las discontinuidades estructurales en el macizo rocoso, su geomorfología y características planas y lineales de todas ellas.

Es muy importante establecer la petrografía y estructura propias de cada tipo de roca, así como el grado de meteorización de ellas.

Para apoyar todo esto, también se hacen estudios hidrogelógicos que abarcan el área de los taludes y sus inmediaciones que es de gran importancia para atender el mecanismo de formación y propagación de un deslizamiento. También cambios en el relieve derivados por procesos de operación y remoción de material rocoso en las canteras.

El propósito de este trabajo es pues, estudiar las distintas zonas en que se ha alterado su estabilidad natural (taludes) y tratar de dar las medidas más aconsejables para su consecuente seguridad, teniendo en cuenta siempre que dentro de poco tiempo será una zona muy habitada.

Estudios previos sobre el área: En el área de trabajo solo se han realizado perforaciones en suelos al sur de ésta, en los esteros y manglares (1970 - 1972), también se ha realizado un estudio de estabilidad de taludes del cual se desconoce su existencia, ambos trabajos hechos por la constructora Perrone Galarza.

Método general de trabajo: El trabajo comprende dos fases bien diferentes:

- a) Labor de campo: la cual contempló salidas diarias, toma de datos y observaciones de las discontinuidades estructurales de los taludes rocosos existentes en el área.
- b) Análisis e interpretación de datos: es la elaboración misma de la tesis y desde el punto de vista de un tra

bajo la más importante.

Documentos utilizados: para la realización del presente trabajo, se contó con un mapa topográfico, escala 1:2000 de la Constructora Perrone Galarza, del año 1972, Plano Urbanístico de la Urbanización, escala 1:2000 de la mencionada constructora, del año 1970 y Fotos aéreas de la M. I. Municipalidad de Guayaquil, escala 1:5000 del año 1973.

# C A P I T U L O 1

## FISIOGRAFIA

La Urbanización Bellavista se encuentra ubicada en la parte norte de Guayaquil (Provincia del Guayas), quedando limitada al Norte por la Avenida Carlos Julio Arosemena, al Sur por el Estero Salado, al Este por la futura - Urbanización Acropolis y la Universidad Católica, y al Oeste por el actual polígono de Tiro. (Fig. 1)

La posición geográfica ha sido determinada en base al mapa de Guayaquil editado en 1963 por el I.G.M. (Instituto Geográfico Militar) a escala 1:10.000 y sus coordenadas son:

Latitud Sur: 2°10'

Longitud Oeste: 79°54'

La principal vía de acceso en la parte Norte es la Avenida Carlos Julio Arosemena, de esta entrando por SI CAFE, existe un camino casi de Norte a Sur utilizado por las volquetas para el transporte de material petreo, por la parte Sur también existe otro E0 que casi bordea el

## Estero Salado.

El clima se encuentra dividido en 2 facetas bien diferenciadas que son: Invierno que comprende desde Enero hasta Mayo, caracterizada por fuertes precipitaciones, elevada temperatura, humedad relativa, escasez de vientos, mientras que en el Verano es desde Junio hasta Diciembre, caracterizada por ausencia de precipitaciones, fuertes - vientos que llevan dirección E0, menos humedad que en Invierno y temperaturas menores que la anterior estación.

La casi totalidad del área se encuentra desforestada en virtud del incesante movimiento del material rocoso que casi ha desaparecido por completo el material aluvial.

En el área no existe habitaciones de importancia y solo existe el campamento de la Constructora Perrone Galarza. La principal actividad humana es el trabajo en las canteras.

El Sur de la zona está bañada por el Estero Salado, el cual anteriormente ha tenido pequeños esteros y man-

glares que entraban en la Urbanización y que han tenido que ser rellenados hasta unos 7 m. de espesor para fines de la mencionada Urbanización.

## CAPITULO 2

## GEOLOGIA GENERAL

2.1. Estratigrafía.- Las siguientes son las formaciones que se presentan en el área.

FORMACION CAYO; Esta formación considerada en sentido estricto, es una gruesa pila de sedimentos duros y resistentes a la erosión<sup>(3)</sup> que, en partes alcanza 2000 m. y está constituida por areniscas, arcillas, aglomerados volcánicos y tobas; sedimentos resistentes por su alto contenido de sílice. En la parte superior adquieren dominio los bancos conglomeráticos con clastos de naturaleza ignea basáltica<sup>(2)</sup>. Recibió su denominación de acuerdo con su afloramiento típico cerca del puerto Cayo, en Manabí<sup>(4)</sup>.

El miembro basal de la Cayo, cerca de Guayaquil, es llamado Calentura, la cual ha sido reconocida solamente por su situación<sup>(1)</sup> y consiste en capas oscuras tobáceas margosas y calcáreas; alternando con lutitas silíceas<sup>(5)</sup>. Contiene guembelina, glovigerina, globotruncana y pequeños radiolarios que la ubican dentro del Cenomaniano Turoniano<sup>(3)</sup> en la cual se inicia en forma documentada la

<sup>(3)</sup> Referencias al final del capítulo.

subsistencia del Litoral Pacífico Ecuatoriano<sup>(6)</sup>.

La arenisca de Cayo contiene grandes cantos rodados, variando de tamaño hasta granos muy finos; son en su mayor parte cuarzosas, pero tienen significativas cantidades de calcita, feldespatos, magnetita y anfíbol. Son normalmente café a verdosa oscuro-gris y están clasificadas como grauvacas y subgrauvacas<sup>(1)</sup>.

La arcilla es de color habano a oliva, negro y generalmente tiene un tinte verdoso. Son duras a muy duras, localmente silicosas y se quiebran en fractura concoidal<sup>(1)</sup>.

Los aglomerados volcánicos se encuentran en la parte baja de la formación; son de un color verde a verdoso, gris y negro, compuestos de basalto de tamaño de canto rodado, con matriz vidriosa a cristalina<sup>(1)</sup>.

Las tobas varían sustancialmente desde el fondo hasta el tope, cerca de la base son duras a muy duras, silicosas y en la parte alta son de suavidad mediana a mediana dureza, usualmente calcáreas y blancas. Aparecen como unas delgadas cintas separando estratos de horstenos<sup>(1)</sup>.

En el Litoral la formación Cayo acompaña siempre a Piñón<sup>(6)</sup>. Su espesor oscila entre 1400 y 3000 m, tal como se exponen en su localidad tipo, pasando por 2600 m, como se observa en las cercanías de Colonche<sup>(2)</sup>.

Aparece cerca de Guayaquil y se extiende hacia el Noroeste a lo largo de la cordillera Chongón - y Colonche<sup>(1)</sup>.

El nivel superior de la Cayo gradacionalmente está dentro de la formación Guayaquil<sup>(1)</sup> y discordantemente según OLSSON<sup>(3)</sup>.

La formación Cayo corresponde al Turoniano + Senonience y comprende talvez una parte del Cenonience superior<sup>(3)</sup>.

FORMACION GUAYAQUIL: Estrictamente está formada por tobas silicificadas, con cherts en capas delgadas; e intercalaciones de argillitas tobáceas de color gris oscuro a verdoso; localmente la roca puede ser reemplazada por sílice (chert). Se observa también vetas de sílice calcedónica azul, casi opalescente, nódulos de pirita y vetas de cuarzo<sup>(3)</sup>. Es característico el contenido de concreciones de pedernal de diámetro que van desde centímetros a un m. con

bandas concéntricas de colores bris a gris negro<sup>(2)</sup>.

Los Horstenos son generalmente bien estratificados, pero frecuentemente distorcionados. La parte superior es calcárea y contiene más lutita y arcillita que en la parte baja y puede ser debida a la infiltración del agua - subterránea desde el límite de las formaciones de la caliza de San Eduardo<sup>(1)</sup>.

La formación tiene unos 450 m. en la cordillera de Chongón y Colonche<sup>(3)</sup>. El contacto entre las formaciones Guayaquil y Cayo no tiene un límite definido, por el cambio gradual entre las dos<sup>(1)</sup>.

Según la existencia de Syphogeneinoides Clarki, Cushman y Coml la formación Guayaquil queda ubicada en el Maestrichtiense del Cretaceo Superior<sup>(5)</sup>.

2.2. Estructuras. - Estructuralmente esta secuencia sedimentaria se encuentra dispuesto aproximadamente con rumbo E0 y buzamiento al Sur inferiores a 45°.

En general las rocas se encuentran muy fracturadas,

principalmente por juegos de diaclasas cerradas en su mayoría, poco continuas pero que se presentan en la mayoría de los afloramientos, los cuales tienen orientaciones muy variables, es de anotar también la existencia de ciertos sistemas de diaclasas con superficies, generalmente ondulosas y rugosas de hasta 6 m. de longitud que se presenten en la cara libre de determinados afloramientos.

También se puede anotar que el contacto entre Cayo y Guayaquil, no tiene un límite definido (gradacional)<sup>(1)</sup> y entre Guayaquil y San Eduardo va desde una disconformidad angular a una disconformidad<sup>(1)</sup>.

En determinados afloramientos la orientación espacial de la estratificación sigue una dirección, para luego sufrir pequeñas dislocaciones que localmente alteran el rumbo y el buzamiento de la estratificación, esto se acentúa un poco más en el sitio de la cantera Bustamante (Ver mapa) en la que se notan estratos plegados y volteados en cuestión de pocos metros.

Al Sur se encuentran estratos bien plegados y contor-

sionados, lo que hace entender que son menos competentes que los de la parte norte.

En el sitio de la cantera Bustamante, se encuentra una pequeña falla de rumbo aproximadamente N 60°E en la que los estratos buzán al Sur, pero bruscamente en cuestión de pocos metros cambian su buzamiento al Norte, en la zona de falla se ve abundante material brechoso, muy fracturado y el típico espejo de fricción con sus estriaciones - que reflejan la dirección del movimiento, en esta zona abundan diaclasas rellenas con calcita.

#### REFERENCIAS

1. ASESORIA TECNICA DE PETROLEOS DEL MINISTERIO DE INDUSTRIAS Y COMERCIO, Reporte Geológico de la costa ecuatoriana, Quito, pag. 8-10 y 13-15, 1966.
2. CORPORACION ESTATAL PETROLERA ECUATORIANA, Geología del Litoral Pacífico ecuatoriano, Quito, pag. 4-5, 1974.
3. HOFFSTETTER ROBERT, Lexique stratigraphique international, Amerique Latine, pag. 28-30 y 65-67, 1956.
4. SAUER WALTHER, Geología del Ecuador, Editorial del Ministerio de Recursos Naturales, Quito, Pag. 82-87, 1965.
5. SAUER WALTHER, Mapa geológico del Ecuador, Editorial Universitaria, Quito, pag. 26-27, 1957.

6. SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA , Informe geológico preliminar sobre las posibilidades petroleras de las cuencas sedimentarias del Ecuador, Quito, pag. 25-26 y 40.

## C A P I T U L O    3

### GEOMORFOLOGIA

La Urbanización Bellavista anteriormente estuvo tapada por el extenso material aluvial que cubría toda esta zona, y que hoy casi ha desaparecido, merced a la constante remoción de material rocoso a que ha sido sometido, todo lo cual produce un cambio diario de la Topografía, en la que se han desarrollado zonas de inestabilidad (Taludes), debido a que se han alterado las condiciones de estabilidad natural de los macizos rocosos. Como resultado de ello se ha destruido su Ecología en un 95%.

El Estero Salado en la parte Sur anteriormente tenía entrantes y salientes (esteros y manglares) en esta zona y que actualmente ha experimentado una pequeña retirada a causa del fuerte relleno a que ha sido sometida.

Parece que las formas topográficas estuvieron influenciadas por el Chert de la formación Guayaquil, que aparece en la parte central del área que antes ha sido la más alta (165 m.), según el mapa de la Constructora Perrone, escala 1:2000 del año 1973 y que en la actualidad tiene 130 m. por lo cual se formaron fuertes -

pendientes debido a la mayor dureza de la roca, mientras que la grauvaca de menor dureza presenta laderas con pendientes más suave.

En la actualidad la mayor parte del área está sometida a remoción de material rocoso, por lo que las formas topográficas originales han variado mucho, existiendo solo una pequeña cantidad de material aluvial al oeste de la Cantera Navas.

Cabe anotar que los cambios son a diario, en virtud de que noche y día se trabaja en las canteras por lo que las formas topográficas están cambiando continuamente.

## CAPÍTULO 4

## DISCONTINUIDADES

En el presente estudio se ha considerado como discontinuidades geológicas a las diaclasas, fallas, planos de estratificación, contactos geológicos, a los cuales se les ha estudiado todos los parámetros que influyen notablemente en el comportamiento mecánico del talud rocoso.

4.1. Rumbo.- Han sido tomados en base a los planos de estratificación tomándolos como la estructura principal, luego las diaclasas y falla, las cuales han sido graficadas en un diagrama de igual ángulo (Fig. 2), del cual podemos notar que generalmente llevan una orientación EW con una media de N75 W (Tabla N° 1), con desviaciones muy pequeñas que normalmente corresponden a sistemas de diaclasas, los mismos que van a afectar la estabilidad de los taludes 1 y 4 (Mapa 1). También cabe anotar la orientación de la falla ubicada en la Cantera Bustamante N 60°E que afecta notablemente la estabilidad del talud 2 y que localmente altera la orientación de la estratificación.

4.2. Buzamiento.- Observando la ubicación de los palos en el diagrama (Fig. N° 2), vemos que las capas buzan al Sur

T A B L A 1

OBSERVACIONES DE RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS ESTRATIFICACIONES,  
SISTEMAS DE DIACLASAS Y TALUDES

Taludes Observaciones		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Estratificación	A	N570/365	N10E/52N	N700/31S	N720/55S	N500/44S	N750/35S	N350/25S	N750/40S	N83E/34S
	B	N560/29S	N800/96S	N700/95S	N69W/40S	N560/38S	N720/33S	N380/28S	N550/35S	N85E/36S
	C	N630/25S	N30E/61S						N700/31S	
	D		N74E/26N						N750/31S	
	E								N720/38S	
Orientación		N2E /42S	N85E/68S	N700/47S	N600/65N	N250/60N	N650/35S	N600/65S	N750/48S	N150/45N
Diaclasas		N15E/75S		N35E/84N						
		N10E/70S		N45E/65S						
		N20E/80S		N65E/69S						
				N450/70N						
				N100/70N						

con una media de  $35^\circ$  y no inferiores a  $22^\circ$ , con desviaciones solo para las diaclasas, las cuales junto a los planos de estratificación van a formar varias cuñas en un mismo talud, además de influencias en la forma y localización de la superficie crítica de deslizamiento.

- 4.3. Grado de continuidad.- También llamado extensión mano dimensional que es el mayor o menor desarrollo longitudinal de la línea intercepción de una discontinuidad en una superficie que puede ser natural o artificial. Importante porque dicta como las propiedades de la masa rocosa estarán influenciadas por el material rocoso en sí o por las diaclasas que se cortan. A continuación los taludes examinados.

TALUD 1: Presenta planos de gran desarrollo longitudinal en virtud de ser la estructura principal que lo caracteriza, también tiene sistemas de diaclasas con una longitud de 5 a 6 m. que afloran en la parte central baja de la cara libre del talud, los mismos que son cerrados en su mayoría.

TALUD 2: Ubicado en la parte Sur del anterior, su princi

pal estructura es el plano de estratificación que tiene gran desarrollo.

También tenemos una falla de pequeña dimensión.

TALUD 3: Planos de gran desarrollo y cerrados en su mayoría.

TALUD 4: Similar al anterior, pero en la cara libre se no tan gran cantidad de diaclasas de muy pequeño desarrollo que se encuentran orientados en diferentes direcciones y que están limitados por los planos de estratificación, posiblemente el origen de ellos se debe a la fracturación, originada por la liberación de tensiones debido a la remoción del material rocoso que antes existió ahí que hizo que se produjera un pequeño desconchado en la cara libre del macizo rocoso, además de este juego de diaclasas tenemos otros sistemas con discontinuidades de 3 o 4 m. de longitud y que son en su mayoría cerrados pero siguiendo siempre un mismo patrón de diaclasamiento.

TALUD 5: Planos de estratificación cerrados en su mayoría y de gran desarrollo longitudinal.

TALUD 6: Lo mismo que el anterior pero en la actualidad se encuentra recubierto por un material arcilloso de color rojizo y fragmentos de pedernal de hasta 30 cm. de diámetro.

TALUD 7: Su principal estructura son los planos de estratificación que son de una gran extensión, también se encuentran diaclasas pequeñas (10-15 cm.) y discontinuas - que se encuentran limitadas por los planos de estratificación.

TALUD 8: Lo mismo que el talud 7 pero con diaclasas de 12 a 15 cm.

TALUD 9: Lo mismo que el talud 5.

4.4. Espaciamiento (frecuencia). - Es el número de diaclasas que ocurren en una unidad de medida, medidas perpendicularmente a los planos de las discontinuidades. Importante porque influye notablemente en las propiedades mecánicas de la masa rocosa.

TALUD 1: En el presente talud rocoso tenemos una frecuencia de  $f = 18/m$  correspondiente a los planos de estratificación y de 1 a 2/m para las diaclasas de 5 a 6 m. lo que nos da una idea de que la estratificación es muy delgada, a la inversa de las diaclasas las cuales su frecuencia nos dice que son muy espaciadas en comparación con la estratificación.

TALUD 2: Aquí la frecuencia se demuestra como un parámetro muy variable, ya que en la base de la cara libre del talud dió  $f = 12/m$ , mientras que más arriba en el coronamiento llega a 7/m lo que nos indica que la frecuencia aumenta con la profundidad.

TALUD 3: Presenta una frecuencia de 8 a 10/m correspondiente a los planos de estratificación.

TALUD 4: Este indica que se encuentra muy variable ya que en la base del talud llega a  $f = 10/m$ , mientras que en la parte alta del mismo dió  $f = 6/m$ , por lo tanto aumentan con la profundidad, esto se debe a que hay zonas en que los estratos se vuelven laminaciones muy delgadas que se alternan con estratos gruesos de are-

nisca tobacea, mientras que para los sistemas de diaclasas de 3 a 4 m. disminuye considerablemente a  $f=2$  a 3/m.

TALUD 5: Presenta una frecuencia de 8 a 10 /m y varía debido a que el material de relleno parece más grueso en unos casos, mientras que en otros aparece como laminaciones muy finas.

TALUD 6: Presenta un  $f = 7$  a 8/m debido exclusivamente a la estratificación.

TALUD 7: En este talud rocoso presenta un  $f = 8 - 10/m$ , de manera casi general, pero a veces llega hasta 5/m en su parte superior, todos ellos se deben a la estratificación.

TALUD 8: Se presenta muy variable con un  $f = 4$  a 8/m, varía tanto debido a que el material de relleno y el espesor de las capas varían de un lugar a otro.

TALUD 9: Tiene un  $f = 8 - 10/m$  y varía por las mismas causas que el talud 5.

4.5. Naturaleza de las Superficies.- Es la forma de las superficies. Importante porque controla en mayor o menor grado las propiedades mecánicas e hidráulicas del macizo rocoso, ya que afecta principalmente a la resistencia al corte a lo largo de la discontinuidad como también en la distribución de los esfuerzos en la masa rocosa.

TALUD 1: Tiene como estructura principal a los planos de estratificación que tiene superficies onduladas en su mayoría y en muchas partes muy localizadas se presentan lisas. En las diaclasas se encontró superficies onduladas y rugosas.

TALUD 2: Presenta superficies con partes planas bastante extensas, pero en algunos lugares se presenta como superficies muy rugosas, en la zona de falla se encontraron superficies pulidas y estriadas que no es otra cosa sino el espejo de fricción.

TALUD 3: Se presentan superficies rugosas y onduladas las mismas que aumentan considerablemente en el coronamiento.

TALUD 4: En los planos de estratificación tenemos super

ficies muy lisas hallándose solo en la base del talud pe queñas rugosidades, mientras que para las diaclasas de 3 a 4 m tienen superficies onduladas existiendo superficies rugosas solo en lugares muy localizados y pequeños.

TALUD 5: Predominan las superficies rugosas y onduladas, aunque en algunos casos hay superficies lisas.

TALUD 6: Presenta superficies muy rugosas a onduladas. Dificultándose la medida y la observación visual en virtud de que la cara libre del talud está tapada en parte con material arcilloso de color rojizo y fragmentos de pedernal de hasta 15 cm. de diámetro.

TALUD 7: Presenta superficies muy rugosas y onduladas.

TALUD 8: tiene superficies lisas en las partes bajas del talud aumentando las rugosidades cuando nos acercamos al coronamiento.

TALUD 9: Lo mismo que el talud 5.

4.6. Grado de aberturas. - Es el mayor o menor acercamiento -

que debe ocurrir para que dos bloques adyacentes se encuentren en perfecto contacto. Importante porque condiciona al grado de penetración de agentes meteoricos, el movimiento de las aguas subterráneas, y el grado de rigidez que puede presentar un macizo rocoso cuanto está sometido a determinados esfuerzos.

TALUD 1: En el presente talud este parámetro se presenta como un índice muy variable ya que en la parte inferior de la base del talud se presentan aberturas de hasta 0,5 cm. que corresponden a los planos de estratificación, mientras que conforme subimos de altura por la cara libre del talud este parámetro aumenta hasta llegar a 10 cm. en el coronamiento, lo que nos indica que las aberturas disminuyen en profundidad.

TALUD 2: Para los planos de estratificación se encuentran aberturas desde  $\pm 0.4$  hasta llegar a 1.5 cm. en la parte alta del talud, y para la falla la zona de roca fracturada tiene un espesor de  $\pm 1$  m. en la que se encuentra material brechoso.

TALUD 3: Tiene aberturas que fluctúan entre 0.2 y 0,8 cm.

que corresponden a los planos de estratificación.

TALUD 4: Para los planos de estratificación hay aberturas que van desde 0,5 cm. en la parte baja del talud hasta llegar a 10 cm. en la parte alta, mientras que para las diaclasas, limitada por los planos de estratificación existen aberturas de  $\pm 0,3$  cm. luego existen aberturas desde 0,2 a 10 cm. para las diaclasas de 3 a 4 cm. que contiene el talud rocoso.

TALUD 5: Para el presente talud existen aberturas desde 0,5 hasta 6 cm.

TALUD 6: Presenta aberturas desde 0,8 a 9 cm.

TALUD 7: Tiene aberturas que fluctúan entre 0,9 y 1,5 cm. hay que anotar que la medida es un tanto incierta por la gran cantidad de material meteorizado que cubre la cara libre del talud.

TALUD 8: Se encuentran aberturas desde 0,2 cm. en la parte baja del talud hasta llegar a 1,5 cm. en el coronamiento.

TALUD 9: Aberturas que varían entre 0,5 y 3 cm.

- 4.7. Naturaleza del Material de relleno.- Es el material que se encuentra ocupando el espacio libre entre las caras de la discontinuidad misma, y que pueden ser llevados desde la superficie por el agua que penetra en la masa rocosa; como también pueden ser productos de alteración del macizo a ambos lados de la discontinuidad. Importante porque influye en el comportamiento mecánico global de la masa, sea por lo que se refiere a la cohesión y a la fricción a lo largo de una superficie de deslizamiento.

TALUD 1: Presenta un material de relleno areno arcilloso, de color café oscuro verdusco que se encuentra estratificado formando pequeñas capitas, de muy baja compactación, un poco resquebrajosa y muy seca y para las diaclasas de 5 a 6 m. vemos que tienen una matriz arcillo arenosa con abundantes fragmentos de pedernal de 0,5 a 2 cm. de diámetro, posiblemente originados por percalación.

TALUD 2: En el presente talud se encuentra material areno arcilloso entre los planos de estratificación, así como también pequeñas diaclasas sin ningún material de relleno,

TALUD 5: Los planos de estratificación están separados - por capas de lutita muy plástica y con significante contenido de humedad, aunque en otros lugares se presenta un tanto arenoso.

TALUD 6: Similar al talud 5 pero con mayor contenido de humedad.

TALUD 7: Se presenta como relleno un material arcillo arenoso limoso entre los planos de estratificación y entre las diaclasas tenemos un material muy meteorizado producto de la alteración del material rocoso a ambos lados de la discontinuidad.

TALUD 8: Similar al talud 3.

TALUD 9: Similar al talud 5.

## C A P I T U L O 5

### CALCULO DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES

El análisis de la estabilidad de taludes rocosos, está en dependencia del tipo de roca que forma el talud y como consecuencia de sus parámetros de resistencia al corte como la cohesión y ángulo de fricción interna, a lo largo de las discontinuidades que cortan la masa rocosa, así como del caracter y orientación espacial de tales discontinuidades.

En el presente estudio, la investigación geológica - presentó ciertas particularidades que fueron de primordial importancia para el desarrollo del mismo, para lo cual estuvo basada en una serie de proposiciones básicas:

- a) Que las diferentes discontinuidades geológicas existentes en el área, son características que pueden ser detectadas y estudiadas, que sus cualidades geomorfológicas y geoestructurales pueden ser medidas cualitativa y cuantitativamente, y que los datos resultantes pueden ser utilizados en los cálculos de estabilidad de taludes.

- b) Que en la masa rocosa existen dominios estructurales, o sea, que en ella es posible delimitar zonas, en las cuales el patrón estructural es más o menos constante y difiere considerablemente de un dominio estructural adyacente.
- c) Que la superficie potencial de deslizamiento sea esencialmente una discontinuidad o combinación de dos o más, o sea la estabilidad de los taludes en roca es determinada principalmente por las discontinuidades estructurales existentes en el macizo rocoso y no por la resistencia del material rocoso en sí mismo.

Para la realización del presente trabajo se hicieron observaciones de campo relativas a la litología de las rocas, constituyentes de los actuales y futuros taludes, a las discontinuidades estructurales que pudieran controlar la estabilidad de los mismos, así como del comportamiento y características de los taludes rocosos existentes en la zona de trabajo.

Como se tratan de taludes en roca, se adaptó el criterio de que la estabilidad de los mismos está controlada

por la orientación espacial de las discontinuidades geológicas que cortan la masa rocosa y por las características mecánicas principalmente a lo largo de los planos de estratificación y diaclasas. De manera particular, se enfatiza en el estudio la posibilidad de que ocurran deslizamientos del tipo traslacional, o sea desplazamientos de masas rocosas a lo largo de los planos de estratificación, así como de posibles deslizamientos en "cuña de roca" a lo largo de la intercepción entre dos discontinuidades geológicas importantes.

Todo el análisis y conclusiones se debe al de la proyección estereográfica.

Por último se hace notar que todos los análisis son válidas para una masa rocosa sana o muy poco alterada.

#### 5.1. Características Topográficas de los Taludes examinados.

Es un factor importante, porque sus características incidirán notablemente en la localización de la superficie de deslizamiento potencial, la altura del talud determinará las presiones a las que se encuentran sometidos a un punto dentro de la masa rocosa, la pendiente de este

y la forma del coronamiento determinará en mayor o menor grado la cantidad de agua que se infiltrará dentro del cuerpo del talud, por efectos de escorrentía superficial, así como también la distribución de las tensiones dentro del talud rocoso.

TALUD 1: El talud en mención se encuentra en la parte central del área de estudio, y está dispuesto de N a S, con un rumbo de N 2°E, tiene una altura de 86,6 m. y tiene una inclinación de 92° al S. En la parte Norte se encuentra depositado en la superficie libre, material rocoso proveniente del coronamiento, que han caído por procesos de operación de la cantera (Foto 2) y en la parte Sur sucede lo mismo en menor proporción, su superficie libre presenta irregularidades muy pronunciadas en ciertos lugares, y en ella aparecen ciertas estratificaciones en las cuales el material ha sido más suave, por lo que la erosión lo ha afectado más.

TALUD 2: Se encuentra al sur del anterior talud (ver Mapa) y tiene un rumbo aproximado de N 85°E con una altura de 26 m. y un ángulo de inclinación de 68° al S. Su cara libre es completamente irregular y tiene fuertes entrantes

y salientes, no tiene un coronamiento definido, en el actual talud se nota que ya se ha producido del deslizamiento de un gran bloque (Foto 5), el cual amenaza con caer sobre un grupo de trabajadores. Se demuestra con esta foto que su explotación no es técnicamente controlada, y aduce de elementales normas de seguridad.

TALUD 3: Se encuentra al Oeste del talud anterior (Ver mapa), tiene una orientación de N 70°E con una altura aproximada de 21 m. y una inclinación de 47° al S. Normalmente su cara libre es lisa y ondulosa, salvo ciertas excepciones en las que ya se ha producido el fenómeno llamado "deslizamiento de losas". En algunas zonas de su cara libre existe material rocoso, y al Oeste del talud existe una pequeña zona en la que todavía hay material coluvial (foto 6).

TALUD 4: Se encuentra al E de la zona (Ver mapa) y tiene una orientación N 60°O, tiene una altura aproximada de 53 m. con un ángulo de inclinación de 65° al N. mirando al frente el talud en su parte derecha se nota que ya se ha producido el deslizamiento (Foto 7) rocoso, tipo combinado deslizamiento - desprendimiento; (Foto 8) cuya causa

real parece que ha sido la gravedad, que ha causado un debilitamiento de las fuerzas de tracción y la pérdida de equilibrio de los bloques rocosos superficiales.

Su cara libre es un tanto irregular, en la base del talud, hay gran cantidad de material rocoso de distintos tamaños diseminados a lo largo de él, como producto del desprendimiento de bloques.

TALUD 5: Se encuentra ubicado al Oeste de la zona de estudio y tiene una orientación de N 25°0, con una altura aproximada de 30 m. y una inclinación de 60° al S. Su superficie libre tiene forma triangular (Foto 10) con entrantes y salientes, no muy pronunciadas. En la base del talud se encuentra abundante material rocoso de distintos tamaños producto de procesos de operación de la cantera.

TALUD 6: Ubicada al Sur del anterior, tiene un rumbo aproximado de N 45°0 con una altura de 36 m. y una inclinación de 35° al S. Superficialmente el talud se encuentra recubierto fundamentalmente de elementos rocosos de distintos tamaños y grado de alteración, con material coluvial y están siendo removidos por procesos de operación de la can-

tera (Foto 11), que se encuentra ubicada a unos metros más arriba, al nivel del coronamiento. Es una de las pocas zonas donde queda huella de vegetación.

TALUD 7: Se encuentra ubicado al Este de la zona en estudio, justamente frente al talud 4, (Ver mapa) tiene una orientación de N 60°0, con una altura de 11 m. y una inclinación de 65°al S, en su superficie libre, se encuentra roca muy alterada, existiendo en una parte de él un pequeño deslizamiento denominado desprendimiento de bloques (Foto 12). Presenta una fuerte pendiente y su superficie no está muy definida.

TALUD 8: Se encuentra localizada al NO del talud 3, (Ver mapa) presenta un rumbo de N75°0, con una altura de unos 35 m. aproximadamente, y una inclinación de 48° al S. Presenta una superficie muy irregular, con entrantes y salientes muy bruscos, lo que hace que su cara libre no esté muy definida (Foto 13), al Oeste del talud se encuentra recubierto por material perteneciente a la cobertura vegetal mezclada con material rocoso de diferentes tamaños y que en algunos casos llega a ser de hasta 4 y 5 metros de espesor.

existentes en los taludes rocosos y las características de cada uno de ellos, asociados con su frecuencia correspondiente, que influirán más tarde en el comportamiento mecánico de cada uno de ellos, y en la forma y localización de la superficie de deslizamiento.

SISTEMA DE DISCONTINUIDAD	DESIGNACION
Estratificación	KK <sub>1</sub>
Diaclasas	KK <sub>2</sub>
Diaclasas limitadas por los planos de estratificación.	KK <sub>3</sub>

Que se encuentran graficados desde la Figura 3 hasta la Fig. 11.

### 5.3. Elaboración de los Modelos geomecánicos

En la práctica, estos se encuentran encaminados a reproducir una estructura, tratando en ella de representar sus cualidades tanto físicas como mecánicas que puede tener el talud rocoso real.

De acuerdo a la UNITED STATES BUREAU OF MINES (USBM) la roca presente en esta zona se encuentra dentro de las rocas competentes, estratificadas - elásticas y de acuerdo a la clasificación de COATES se ubica; 1) por su resistencia a la compresión simple, como fuerte que va desde los 350 - 1750 Kg/cm<sup>2</sup> (Investigación bibliográfica); 2) Por la deformación del material rocoso antes de la rotura, en elástica; 3) Por las características de rotura del material rocoso, en frágil; 4) Por su homogeneidad, en estratificada; 5) Por la continuidad del material rocoso en la masa rocosa, en fracturada.

Por lo que se refiere a las características de resistencia mecánica y en particular a los parámetros de resistencia al corte, osea cohesión y ángulo de fricción entre las superficies de discontinuidad; y

Luego de la observación de taludes existentes en la zona, del análisis teórico respectivo y de la respectiva investigación bibliográfica para este tipo de roca, se puede asumir un ángulo de fricción interna de  $\phi = 30^\circ$  a lo largo de los planos de estratificación (como valor máximo). Este valor fué utilizado en todos los análisis de

estabilidad de taludes objeto del estudio y se asumía para tales efectos algunas hipótesis simplificadoras como: cohesión nula a lo largo de los planos de estratificación, taludes secos y ausencia de sismos y finalmente se considera al conjunto como una masa rocosa sana o muy poco alterada.

5.4. Empleo de la proyección Estereográfica.- La proyección estereográfica es un instrumento muy eficaz y simple para el estudio de las relaciones angulares entre planos y rectos en el espacio, principalmente en el estudio de la estabilidad de taludes en roca, en el cual las discontinuidades geológicas que cortan las masas rocosas y los taludes respectivos pueden ser considerados como planos en el espacio, mientras que las intercepciones entre las discontinuidades o entre estas y los taludes son rectas en el espacio. En nuestro caso la proyección estereográfica nos facilita enormemente el análisis. El criterio utilizado para tales fines puede ser resumido así:

Para que el deslizamiento sea posible es necesario que el ángulo de buzamiento de la discontinuidad sea superior al ángulo de fricción interna a lo largo de la misma, con

siderandose como existentes las siguientes condiciones geométricas:

- 1) Que la superficie potencial de deslizamiento esté buzando hacia la cara libre del talud, o sea, en otras palabras aflore en la cara libre del talud rocoso.
- 2) Que el ángulo de buzamiento aparente a verdadero de la superficie potencial de deslizamiento, sea inferior al ángulo de inclinación del talud.

Para el caso de cuñas, es necesario que el ángulo que la intercepción entre dos discontinuidades forma con la horizontal, debe ser menor que el ángulo del talud.

Todas estas condiciones son fácilmente visualizadas a través de un diagrama de igual ángulo en el cual se hace la proyección de las discontinuidades y del talud en términos de rumbo, buzamiento, dirección e inclinación respectivamente.

Hay que tener en cuenta que los buzamientos e inclinaciones se los mide a partir de la periferia hacia el cen

tro del diagrama en el eje E0.

5.5. Resultados.- Para efectos de hallar el plano que contiene la componente normal de la fuerza peso y la posible dirección del movimiento, será aquel que pasa por el polo de la estratificación y por la intercepción I entre el talud y el plano referido, pero como son planos de estratificación, se escoje el punto medio de los palos, unido al punto medio de la intercepción I y por ahí pasará el plano antes mencionado, obteniéndose con este procedimiento un error de  $\pm 1\%$  que luego al ser comparado con  $\phi$  nos dará un error de  $\pm 0.033$  para el coeficiente de seguridad.

Después del análisis en la red de GULFF, los siguientes son los resultados obtenidos:

TALUD 1: Observando el diagrama (Fig. 12) en que solo se ha graficado las estratificaciones, en la cara libre del talud, se forman 2 cuñas, la  $I_2$  y la  $I_3$  con una orientación  $S25^\circ E$  y  $S45^\circ E$  con una inclinación de  $16^\circ$  y  $8^\circ$  al Sur respectivamente, siendo ambas inferiores al buzamiento del

talud, y una tercera cuña  $I_1$  que se encuentra dentro del talud mismo, hay que anotar que desde I con S  $19^\circ$ E e inclinación de  $18^\circ$  (punto I), afloran discontinuidades en la cara libre con un ángulo menor que cualquier componente del buzamiento del talud hasta S  $63^\circ$ E (punto J).

Para el siguiente diagrama (Fig. 13) en que se han graficado solo los sistemas de diaclasas, vemos que se forma una cuña formada por 3 sistemas de diaclasas (punto triple), pero que se encuentra buzando dentro del cuerpo del talud, las diaclasas en mención afloran en la cara libre, con un ángulo menor que el ángulo del talud desde N  $22^\circ$  E con una inclinación  $12^\circ$  al N (punto S) hasta N  $10^\circ$ E (punto P).

El siguiente diagrama (Fig. 14) fué realizado para observar las cuñas formadas entre la estratificación y las diaclasas. Del examen final se puede anotar que todas las intercepciones desde la  $I_3$  hasta la  $I_{13}$  no afloran en la cara libre, y solamente las cuñas  $I_1$  e  $I_2$  salen a la superficie del talud, con lo cual se mantienen los resultados de los dos gráficos anteriores.

TALUD 2: En el presente caso (Fig. 15) se forman 6 cuñas, de las cuales las  $I_4$ ,  $I_5$  y la  $I_6$  tienen una inclinación - que da el cuerpo del talud mismo, mientras que las  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$  afloran en la cara libre del talud con un ángulo menor que este, con las siguientes orientaciones.

CUÑAS	DIRECCION	INCLINACION
$I_1$	S 9°E	46°
$I_2$	S 21°0	14°
$I_3$	S 98°0	39°

Las estratificaciones afloran favorablemente en la cara libre del talud desde una dirección de S 73°0 y una inclinación de 25°(punto I).

En la Fig. 16 tenemos el mismo diagrama con los puntos  $X_1$ ,  $X_2$  y  $X_3$  que nos dan valores de 48°, 31°y 61°respectivamente, que son absurdos para este tipo de material y que comparados con el ángulo de fricción teórico, no da valores satisfactorios para estimar la estabilidad de las respectivas cuñas, esto puede deberse a la presencia de la falla que se encuentra localizada en este talud.

TALUD 3: Para el presente caso (Fig. 17), se presenta en el diagrama de igual ángulo, un caso muy particular, en que tanto el rumbo de la estratificación y el talud son iguales, aflorando a lo largo de toda la cara libre del talud, las estratificaciones que van desde N 70°0 hasta S 70°E (punto J y M), que en todos los casos es menor que el buzamiento del talud, teniendo una inclinación máxima de 45° y una dirección de 520°0 (punto I).

TALUD 4: Para el siguiente caso (Fig. 18), en que solo se han graficado las estratificaciones, tenemos solamente una cuña que se encuentra dentro del cuerpo del talud, y que el buzamiento de las capas es contrario a este, se puede notar que las componentes del buzamiento de la superficie potencial de deslizamiento, son inferiores al ángulo del talud, en un rango muy pequeño, desde S 63°E con una inclinación de 6°al S hasta S 73°E (punto I y J) respectivamente.

Para el siguiente diagrama (Fig. 19), en que solo se han graficado los sistemas de diaclasas, existe solo una cuña  $I_1$  que aflora en la cara libre del talud con un án-

gulo menor que este, en una dirección N 25°0 y una inclinación de 58° al N, las demás cuñas desde la I<sub>2</sub> hasta la I<sub>1</sub> no afloran, sino que se encuentran dentro del cuerpo del talud, hay que anotar que desde S 88°E e inclinación 44°al S hasta N 45°0 (punto J y M) afloran superficies potenciales de deslizamiento, las cuales además de la cuña I<sub>1</sub> manifiestan una dirección privilegiada de N 3°0 con una inclinación de 61°al N (punto I).

En otro diagrama (Fig. 20), se ha graficado las estratificaciones y los sistemas de diaclasas, con el objeto de observar las cuñas que se forman entre estas discontinuidades, en el cual se demuestra que solamente la cuña I<sub>1</sub> aflora en la cara libre del talud, las demás cuñas I<sub>2</sub> hasta la I<sub>19</sub> no afloran a la superficie, con lo cual persisten los resultados de los dos diagramas anteriores.

TALUD 5: En este diagrama (Fig. 21), observamos que las capas tienen un buzamiento contrario al talud, y solamente a partir de S 34°E e inclinación 15° al S (punto I) - hasta S 56°E (punto H), existen componentes del buzamiento de la superficie potencial de deslizamiento, inferior-

res al ángulo de inclinación del talud, y solo tenemos una cuña  $I_1$  que da al cuerpo del mismo.

TALUD 6: De la observación visual (Fig. 22), notamos que existen 2 partes bien diferenciadas, desde el S  $24^{\circ}0$  e inclinación  $33^{\circ}$  al S hasta S  $76^{\circ}E$  (punto I y H), todas las componentes del buzamiento de los planos de estratificación, son superiores a cualquier componente del buzamiento del talud, mientras que desde I hasta N  $72^{\circ}0$  (punto J), todos los componentes del buzamiento de la superficie potencial de deslizamiento son inferiores al ángulo del talud, entre estas direcciones comprendidas, lo que hace ver que afloran en la cara libre del talud con un ángulo favorable a su buzamiento, además de esto tenemos también una cuña  $I_1$  de orientación S  $74^{\circ}0$  y  $20^{\circ}$  al S de inclinación que aflora en la cara libre.

TALUD 7: Del análisis del diagrama (Fig. 23), se puede notar que existe un pequeño rango que va desde N  $67^{\circ}0$  con inclinación de  $13^{\circ}$  al N hasta N  $35^{\circ}0$  (punto I y J), en que la componente del buzamiento de la superficie potencial de deslizamiento, es mayor que el ángulo del talud, para cualquier otra dirección los componentes del deslizamien-

to son inferiores al ángulo de inclinación de este, o sea desde I hasta S 38°E (punto H), también existe una cuña  $I_1$  en el cuerpo del talud, que no alcanzó a aflorar en la superficie.

TALUD 8: En este diagrama (Fig. 24), es una clara demostración de que en el presente macizo rocoso, las capas experimenten pequeños cambios en su orientación espacial, la mayoría de ellas formando componentes del buzamiento de la superficie potencial de deslizamiento, inferiores al ángulo del talud con un rango de S 75°E hasta N 75°0 (puntos J y M), de todas estas, la mayor componente del buzamiento - tiene una dirección de S 15°0 con una inclinación de 40 ° al S (punto I), hay que anotar que a todo lo largo de la cara libre del talud se producen las siguientes cuñas:

CUÑAS	DIRECCION	INCLINACION
$I_1$	S 49°0	34°
$I_2$	S 62°0	30°
$I_3$	N 88°0	8°
$I_4$	N 80°0	6°
$I_5$	S 15°0	31°

CUÑAS	DIRECCION	INCLINACION
-------	-----------	-------------

I <sub>6</sub>	S 2°E	29°
I <sub>7</sub>	S 62°E	8°

todos ellos formando cuñas muy delgadas y agudas entre sus respectivas estratificaciones.

TALUD 9: En el presente talud (Fig. 25), desde el S 47° E con inclinación de 28° al S hasta N 83°E (punto I y J), los componentes de la superficie potencial de deslizamiento - son inferiores al ángulo del talud, no ocurriendo lo mismo desde el punto I hasta S 85°0 (punto M) en que ocurre lo contrario, además de que el buzamiento de las capas es contrario al buzamiento del talud, a esto hay que sumar que en la superficie libre del talud, aflora la cuña I<sub>1</sub> con una orientación de S 71°E e inclinación 17°S.

## CAPITULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Analizando los resultados obtenidos de la proyección de las discontinuidades y los taludes, así como de las condiciones topográficas, geoestructurales, y geomecánicas que influyen notoriamente en el comportamiento mecánico de los taludes rocosos; y tomando en cuenta su función, economía y principalmente seguridad, en virtud de que el lugar en donde se encuentran ubicadas es una Urbanización, se concluye que:

1. La mayoría de ellos pueden ser considerados como de talud estable mecánicamente, no sucediendo lo mismo con algunos que son inestables geométricamente frente a deslizamientos traslacionales a lo largo de los planos de estratificación. Sin embargo, en algunos se notan fenómenos de inestabilidad locales, de pequeña magnitud y derivados, principalmente por el encuentro de discontinuidades aproximadamente paralelas al talud y aquellas paralelas a la estratificación, determinando intercepciones suavemente inclinadas inferiores al ángulo del talud.

2. La mayoría de los taludes rocosos proyectados son estables frente a deslizamientos traslacionales, asumiéndose un valor teórico y máximo de  $30^\circ$  para el ángulo de fricción interna a lo largo de los planos de estratificación de la masa rocosa e hipótesis simplificadora como taludes secos y ausencia de sismos.
3. Todo el análisis de estabilidad de taludes rocosos aquí expuestos es válido para una roca sana o poco alterada.

TALUD 1: Según los diagramas (Fig. 12, 13, 14) y los resultados, se nota que el talud en mención es estable, frente a deslizamientos traslacionales a través de los planos de estratificación desde I hasta M (figura 14), mientras que geoméricamente existe inestabilidad desde I hasta J, para lo cual con un ángulo de fricción de  $21^\circ$  (Fig. 12) se encuentra en equilibrio límite, o sea inestable, con la dirección más probable del deslizamiento en  $S19^\circ E$ , por lo tanto con un  $\phi > 21^\circ$  se encontrará en estabilidad; asumiéndose un ángulo de fricción  $\phi = 30^\circ$  teórico (antes mencionado pag. 43) a un  $FS = \frac{30}{21} = 1,43$  que sale estable frente a un deslizamiento traslacional. Desde S hasta P,

existe inestabilidad potencial producido por sistemas de diaclasas, pero que por su magnitud son despreciables y al máximo daría lugar a fenómenos de inestabilidad potencial.

Se recomendaría que en el talud actual, en la parte Norte (Foto 2) se debería quitar el material rocoso que tapa partes de la cara libre del talud provenientes del coronamiento, ya que se están formando nuevos taludes con un ángulo igual al ángulo de repaso de la roca suelta ( $40^\circ$  a  $45^\circ$ ), la cual en una fuerte avenida de agua la inestabilidad de los mismos podría ocurrir incluso que ha ya estos valores.

TALUD 2: Para el diagrama (Fig. 15), con seguridad se puede decir que las cuñas  $I_4$ ,  $I_5$ ,  $I_6$  son estables, porque el buzamiento de ellos está dirigido dentro del cuerpo del talud, y que geométricamente existe inestabilidad desde I hasta J, en las cuales sobresalen 3 cuñas  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$  todas ellas inestables, de las cuales la  $I_1$  de dirección S  $4^\circ$ E y buzamiento  $46^\circ$  al S es la más propicia para el deslizamiento, porque la componente del movimiento es mayor en esa dirección.

Mecánicamente comparando con  $\phi = 30^\circ$  teórico, las 3 cuñas son inestables, a pesar de que los valores deducidos en el gráfico 16 no son confiables.

Se recomendaría que se modifique el ángulo del talud (Fig. 15), sea reduciendo la altura del mismo (descargando consecuentemente el talud), o disminuyendo el ángulo del talud, en la cual durante la operación de descarga, debe tenerse en cuenta no disturbar el equilibrio de la parte estable, lo que contribuiría al agrandamiento del deslizamiento, trabajos que deberían ser acompañados con medidas tendientes a mejorar el drenaje del coronamiento y la superficie libre del talud.

TALUD 3: De la Fig. 17 y de los resultados se deduce que desde J hasta M el talud en mención es inestable geométricamente como mecánicamente (según el tema 5.4) con la dirección más probable del deslizamiento en  $S20^\circ 0$  e inclinación  $45^\circ$  al S, por manifestarse ahí el buzamiento verdadero de los planos de estratificación y por lo tanto la componente del buzamiento es mayor.

Cuantificando su inestabilidad tenemos  $FS = \frac{30}{45} = 0,66$

que confirma lo anteriormente dicho. Aquí la inestabilidad puede materializarse en forma de deslizamiento de las "panchoneos", que pueden ocurrir a lo largo de las estratificaciones paralelas al talud, debido a la destrucción gradual del material de cimentación, o por una tormenta de agua que puede hacer que se produzca el deslizamiento.

Se recomienda que la explotación del material petreo no se lo haga en la base del talud (Foto 6) ya que con esto se estaría aumentando el ángulo del mismo, y quedarían aflorando estratos potencialmente inestables, y para aumentar la estabilidad, se deberían utilizar cables de anclajes los cuales deberían ir desde la superficie - hasta alcanzar la parte estable del talud, mas allá de la real o potencial superficie de deslizamiento.

TALUD 4: De los resultados y de los diagramas (Fig. 18, 19 y 20) se puede decir que se forman 19 cuñas de las cuales desde la  $I_2$  hasta la  $I_{19}$  son completamente estables geométricamente, porque su dirección va hacia adentro del cuerpo del talud, y solo desde I hasta M es inestable potencialmente, con la dirección más probable

del deslizamiento en  $N 3^{\circ}0$  en el punto L, sumándose a ello la cuña  $I_1$  inestable, también, de manera que su inestabilidad se debe a las diaclasas de 3 a 4 m. que son los que se han graficado en el diagrama 19. Debido a la enorme cantidad de diaclasas pequeñas que se encuentran limitadas por los planos de estratificación (Artículo 4.3 talud 4), se notarán que se encuentran sometidos a fenómenos de inestabilidad superficial llamado "desprendimiento de rocas" originado por el cruce de estas diaclasas y los planos de estratificación, que determinan pequeños bloques de material rocoso que pueden inestabilizarse, por una falla a la tracción en la masa rocosa debido a la meteorización, como también por el paso de vehículos pesados, por sismos o por la acción de la presión de poros, estos bloques se moverán según direcciones dictadas por la intercepción entre planos de estratificación y diaclasas, - las mismas que tendrán un diámetro entre 20 y 30 cm, las cuales se encuentran diseminados por toda la base del talud (Foto 7). Una medida recomendable sería la construcción de bermas de 10 m. de altura por 2 m. de ancho (Fig. 26), esta medida evitará que los pequeños bloques de roca derivados del fenómeno desprendimiento de bloques, tengan acceso directo a la base del talud en la cual de a

cuerdo al plan de Urbanización se han proyectado construir villas.

Para atenuar la influencia negativa del agua sobre la estabilidad del talud, se sugiere que en cada berma se construyan colectores revertidos con cemento, inclinados a derecha e izquierda del talud, desde donde bajen perpendicularmente y se conecten con el sistema general de captación de aguas pluviales de las terrazas. Estos colectores deben tener unos 20 cm. de profundidad por 30 cm. de ancho y merecen atención en cuanto a la limpieza periódica a fin de posibilitar la libre circulación del agua.

Una segunda manera sería utilizar "inyecciones", de tal manera que, haciendo penetrar un fluido en la masa rocosa de forma que frague en las diaclasas desplazando el aire o el agua en ellas existentes. Este producto inyectado, al mismo tiempo que impide la circulación del agua, aumenta su resistencia y cualidades mecánicas, la que podría ser de cemento portland y agua. Se podría añadir también arena, arcilla, polvo de roca y otros ma-

teriales inertes con el objeto de reducir el costo del tratamiento.

TALUD 5: El siguiente talud es estable geométricamente - (Fig. 21) desde I hasta M. con la cuña I<sub>1</sub> que da el cuerpo del talud mismo, mientras que desde I hasta M el talud es potencialmente inestable, con la dirección más privilegiada para el deslizamiento en S34°E e inclinación - 15°S, el cual tiene un FS =  $\frac{30}{19} = 1,58$  lo que nos dice que el talud en mención es estable geométrica y mecánicamente para cualquier orientación de él.

Sería recomendable revisiones periódicas debido a que durante el invierno y la consecuente infiltración de agua, através de la roca, o durante un movimiento sísmico, este factor de seguridad puede asumir valores menores que 1, inestabilizándose el talud.

TALUD 6: En este talud, geométricamente desde I hasta M (fig. 22) es estable, mientras que desde I hasta J es potencialmente inestable, con la dirección más favorable para el deslizamiento en S24°0 e inclinación 20° al S, para los cuales tiene un FS =  $\frac{30}{34} = 0,88$  que confirma su

inestabilidad mecánicamente en estas direcciones. La parte de la cara libre del talud, en que aflora la estratificación (Foto 11) se encuentra recubierta por un material coluvial, mezclados con elementos rocosos de distintos tamaños y grado de alteración, es un talud transitorio y está siendo removido constantemente por procesos de operación de la cantera.

Teóricamente este talud debiera ser estable con un ángulo de  $40^\circ$  a  $45^\circ$ . Sin embargo, dado su alto contenido de humedad que adquiriría en épocas de lluvia, la inestabilidad de los mismos ocurriría incluso bajo estos valores.

Para la etapa final, este talud debería ser protegido, por un sistema de drenaje convenientemente dispuesto, para evitar las infiltraciones excesivas de agua y evitar en lo posible, la colocación de material sobre la cara libre, para no aumentar las sobrecargas que vayan a causar inestabilidad.

TALUD 7: En el diagrama (Fig. 23) vemos que geométricamente es estable desde I hasta J, además de que se forma una cuña  $I_1$  dentro del cuerpo del talud mismo por lo que también es estable, pero desde I hasta M es potencialmente

te inestable, para lo cual tiene un  $FS = \frac{30}{15} = 2$  que nos dice que mecánicamente es estable pero no geométricamente para el rango I y M.

Se recomendaría que se realicen visitas periódicas - para ver la acción del agua y los efectos que la meteorización puede influir sobre la resistencia al corte a lo largo de la estratificación, con lo cual el factor de seguridad bajaría ostensiblemente.

TALUD 8: Para el presente talud (Figura 24), es inestable desde M hasta J en virtud de que el buzamiento de las estratificaciones, es un poco menos que el correspondiente del talud, con un rumbo aproximadamente igual, con la dirección más probable del deslizamiento en I, además se forman 7 cuñas de las cuales la  $I_7$  es la única que da al cuerpo del talud mismo, las demás son inestables. Observando el diagrama vemos que las estratificaciones son casi paralelas al talud, las cuñas formadas son muy agudas. Hay que tener un cuidado especial por cuanto puede ocurrir un deslizamiento de losas "planchoneos" que pueden ocurrir a lo largo de las discontinuidades paralelas al talud.

En el presente caso se recomendaría cables de anclajes, para el cual debe ser efectuado un sondeo en la masa rocosa, desde la superficie libre del terreno para alcanzar la parte estable del talud, mas allá de la real superficie potencial de deslizamiento.

TALUD 9: Para el presente caso (Fig. 25) geométricamente es estable desde I hasta M, pero desde I hasta J afloran superficies potencialmente inestables, con una dirección privilegiada para que ocurra el deslizamiento en S 47°E e inclinación 28° al S, para los cuales tienen un  $FS = \frac{30}{30} = 1$  que da equilibrio inestable.

Se recomienda revisiones periódicas, debido a que durante el invierno y la consecuente filtración de aguas, atravésde la roca, o durante un movimiento sísmico, este factor de seguridad puede asumir valores menores que 1, inestabilizándose el talud.

Después de hacer el estudio de toda esta zona se puede decir que:

1. Los trabajos de explotación de la cantera podrían ser

acompañados de estudios geotécnicos más detallados, tanto en el terreno como en el laboratorio, que pudieran aclarar mejor las características de mecánica de suelos y rocas en el área.

2. La obligada presencia de un geólogo en las canteras.



MUESTRA # 2

NOMBRE: Litarenita (Según la clasificación de Folk de 1966).

LOCALIZACION: Bellavista

CARACTERISTICAS MACROSCOPICAS: Roca de color gris oscuro verdusco, masiva y muy compacta, presentando manchas de oxidación, hay abundante glauconita, fragmentos de rocas y grietas rellenas de calcita.

CARACTERISTICAS MICROSCOPICAS: Regular abundancia de cuarzo, feldespato, fragmentos de rocas volcánicas, hay glauconita, clorita y numerosas fracturas rellenas de calcita.

MUESTRA # 3

NOMBRE: Lutita silicificada

LOCALIZACION: Bellavista

CARACTERISTICAS MACROSCOPICAS: Roca de color variable de café claro a verde oliva, presenta pequeñas fisuras perpendiculares a la estratificación y al fracturarse forma aristas muy agudas. Es muy masiva y compacta, presentando pequeñas manchas de oxidación.

CARACTERISTICAS MICROSCOPIAS: Existe principalmente cuarzo, feldespato y en pequeña cantidad glauconita.

MUESTRA # 5

NOMBRE: Lutita calcárea

LOCALIZACION: Bellavista

CARACTERISTICAS MACROSCOPICAS: Roca de color habano claro, de grano muy fino, estratificación incipiente, masiva, compacta, y vetillas rellenas de calcita de hasta 1 mm. de ancho, presentando además manchas de oxidación.

CARACTERISTICAS MICROSCOPICAS: Lutita con presencia de esporádica de granos de cuarzo, hay también fracturas rellenas de calcita.

MUESTRA # 6

NOMBRE: Lutita silicificada

LOCALIZACION: Bellavista

CARACTERISTICAS MACROSCOPICAS: Roca de color habano claro, compacta, de grano muy fino, presenta manchas de oxidación, y fracturas rellenas de sílice.

CARACTERISTICAS MICROSCOPICAS: Presencia de pequeños frag<sup>men</sup>tos de cuarzo, del tamaño del limo, vetas de calcita y en ciertas fracturas se puede observar alteración por la presencia de minerales oxidados, también se encuentran numerosos radiolarios.

MUESTRA # 7

NOMBRE: Biomicrudita

LOCALIZACION: Guayaquil

CARACTERISTICAS MACROSCOPICAS: Matriz calcárea, roca de color gris claro, masiva de grano medio a fino, presenta pequeñas manchitas de oxidación, y algunas incipientes - vetillas de calcita.

CARACTERISTICAS MICROSCOPICAS: 80% de la roca es carbonato de calcio en forma de pequeños granos de calcita, siguiendo en menor proporción plagioclasa, parece que hay glovocaetes Alpina? que va desde el Jurásico Superior hasta el Cretácico Superior (Portlandiano al Maestrichtiense y restos de fauna no determinada, evidencia de deposición marina.

## A P E N D I C E "B"

## NOMENCLATURA

$\beta$  = Angulo del talud

$\alpha$  = Angulo de la estratificación

$\phi$  = Angulo de fricción

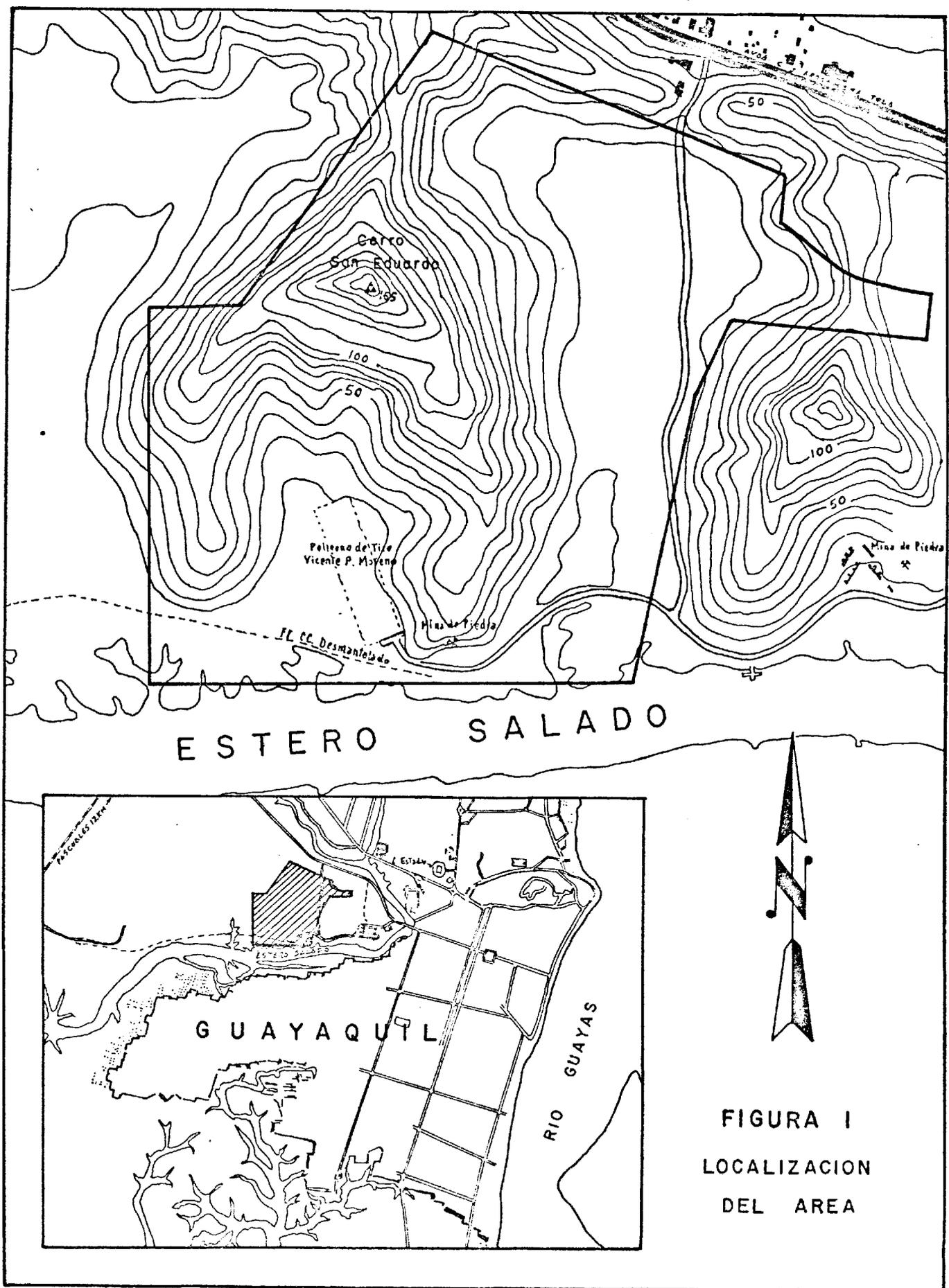
d = Espaciadura

f = Frecuencia

N30°0/74S= Orientación espacial de la estratificación,  
sistema de diaclasas y talud.

v = Volumen rocoso

c = Cohesión



ESTERO SALADO

GUAYAQUIL

RIO GUAYAS

FIGURA I  
LOCALIZACION  
DEL AREA

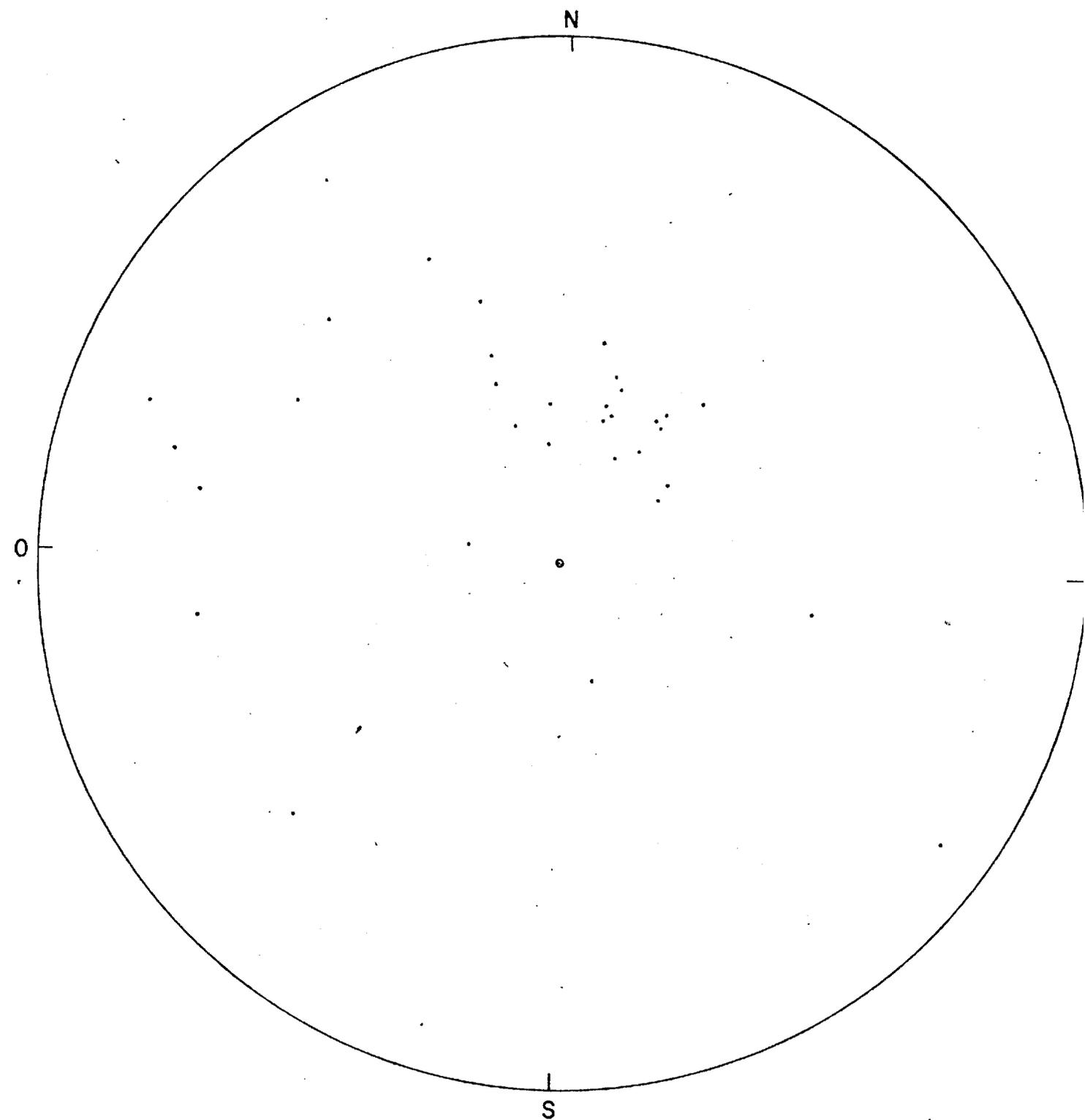
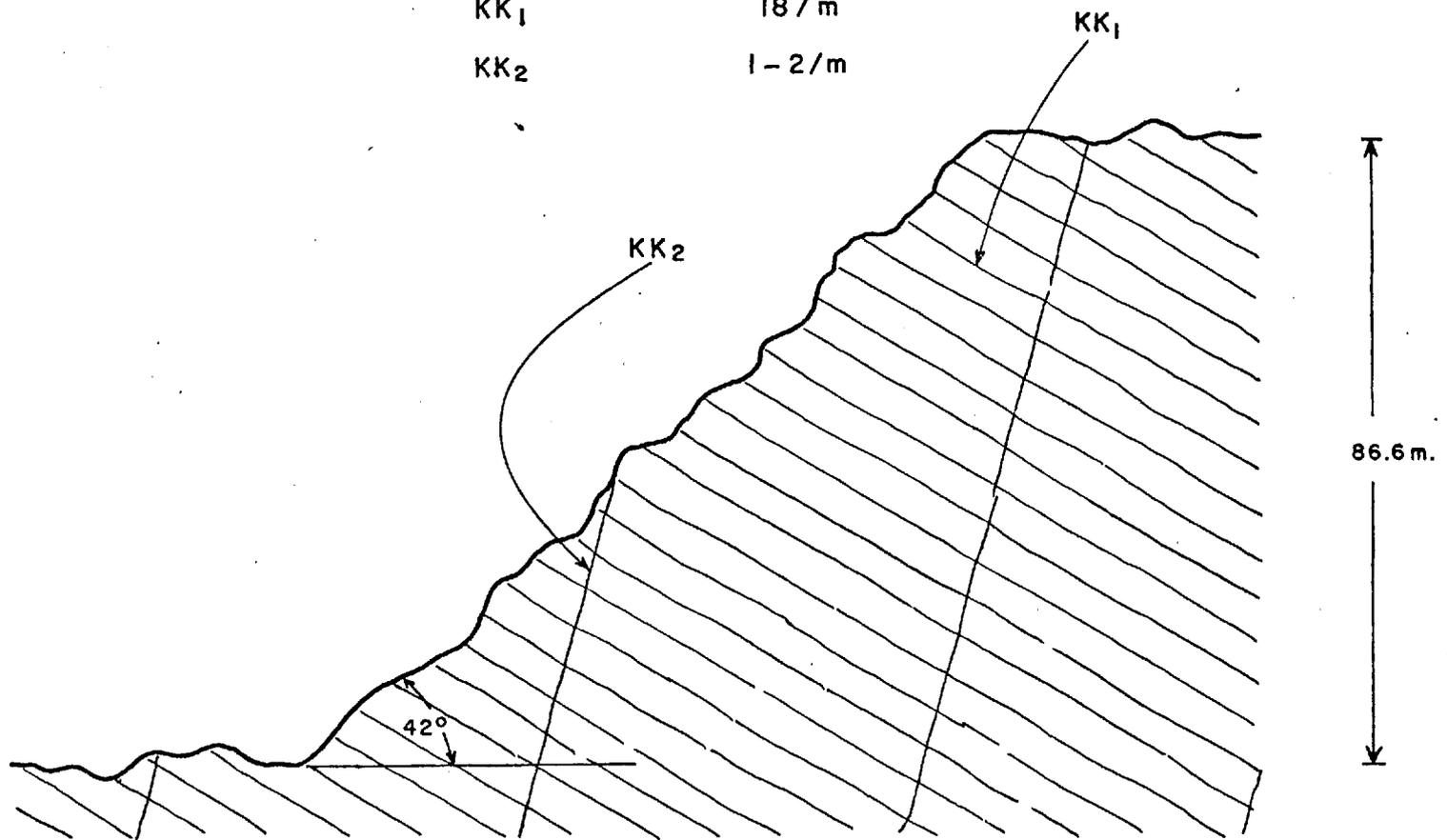


FIGURA 2 DIAGRAMA DE POLOS

TALUD N 2 E / 42 S  
ESTRATIFICACION N 57 O / 30 S  
DIACLASAS N 75 E / 75 S  
DISCONTINUIDAD FRECUENCIA

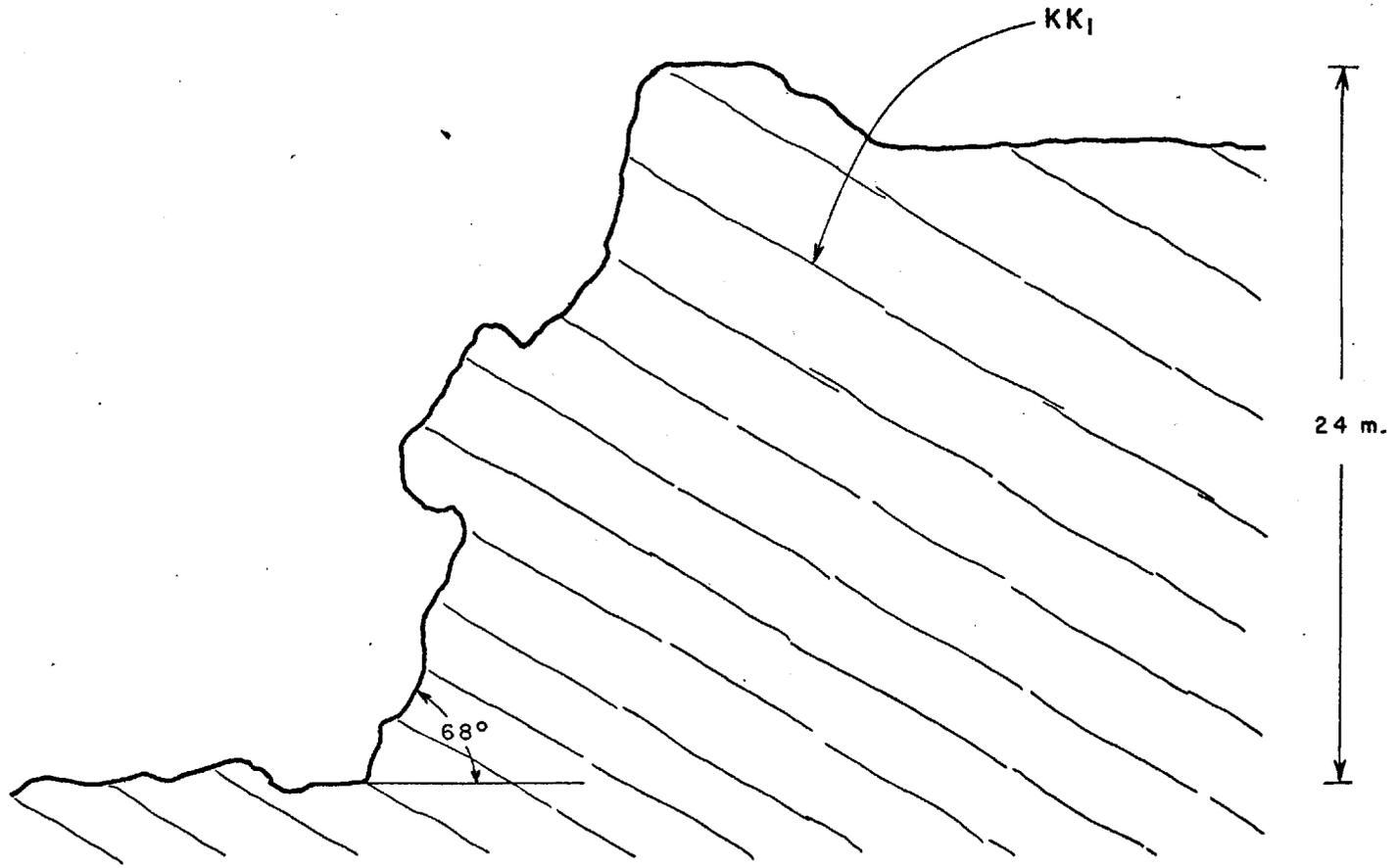
KK<sub>1</sub> 18 / m  
KK<sub>2</sub> 1 - 2 / m



ESCALA DEL PERFIL 1 : 1000  
ESCALA DE LA FRECUENCIA 1 : 10

FIGURA 3 TALUD I

TALUD N85E/68S  
ESTRATIFICACION N 74E/26N  
DISCONTINUIDAD FRECUENCIA  
KK<sub>1</sub> 7-12/m



ESCALA DEL PERFIL 1 : 200

ESCALA DE LA FRECUENCIA 1 : 10

FIGURA 4 TALUD 2

TALUD N 600/65N

ESTRATIFICACION N 69 0/48S

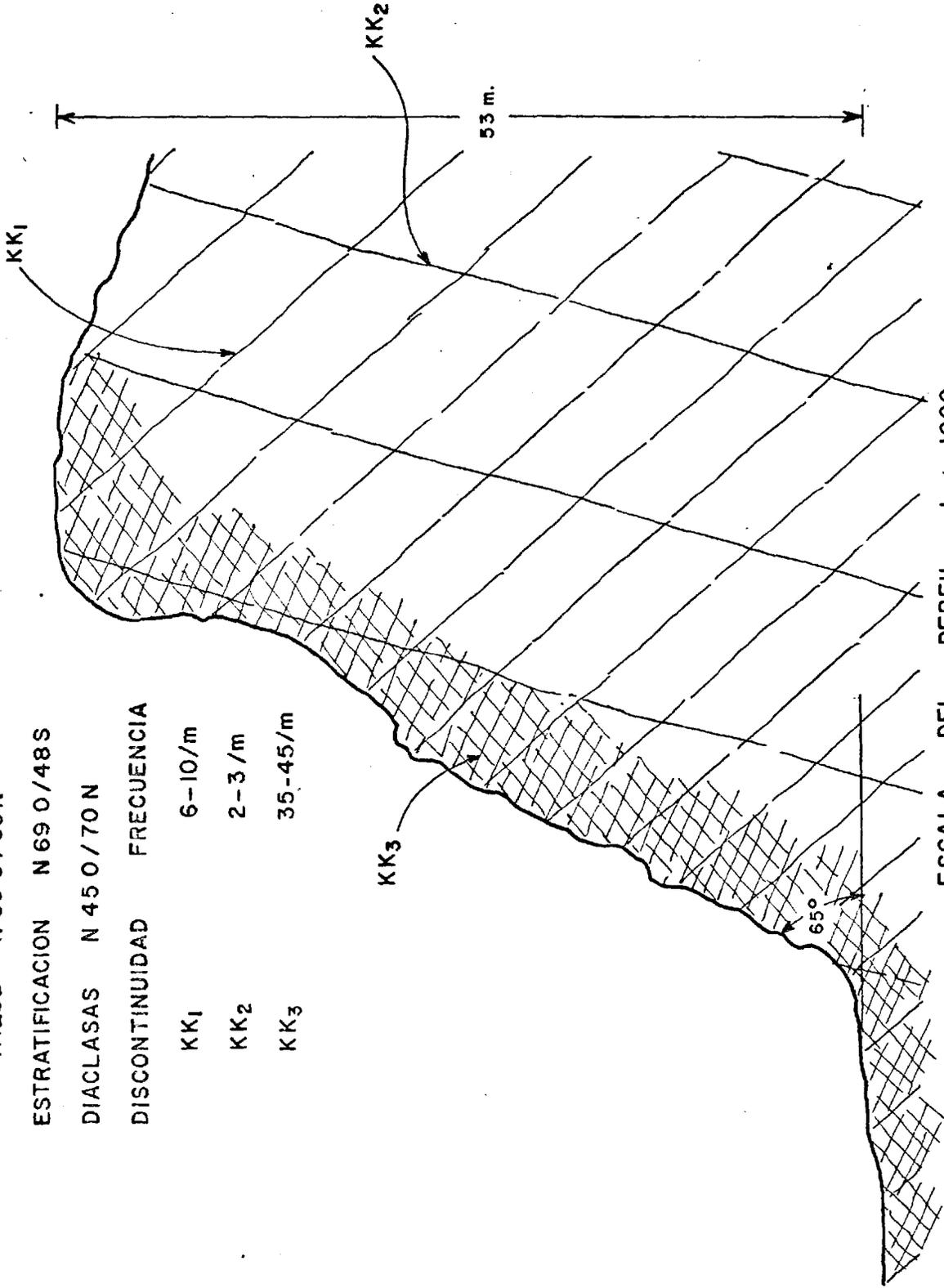
DIACLASAS N 45 0/70 N

DISCONTINUIDAD FRECUENCIA

KK<sub>1</sub> 6-10/m

KK<sub>2</sub> 2-3/m

KK<sub>3</sub> 35-45/m

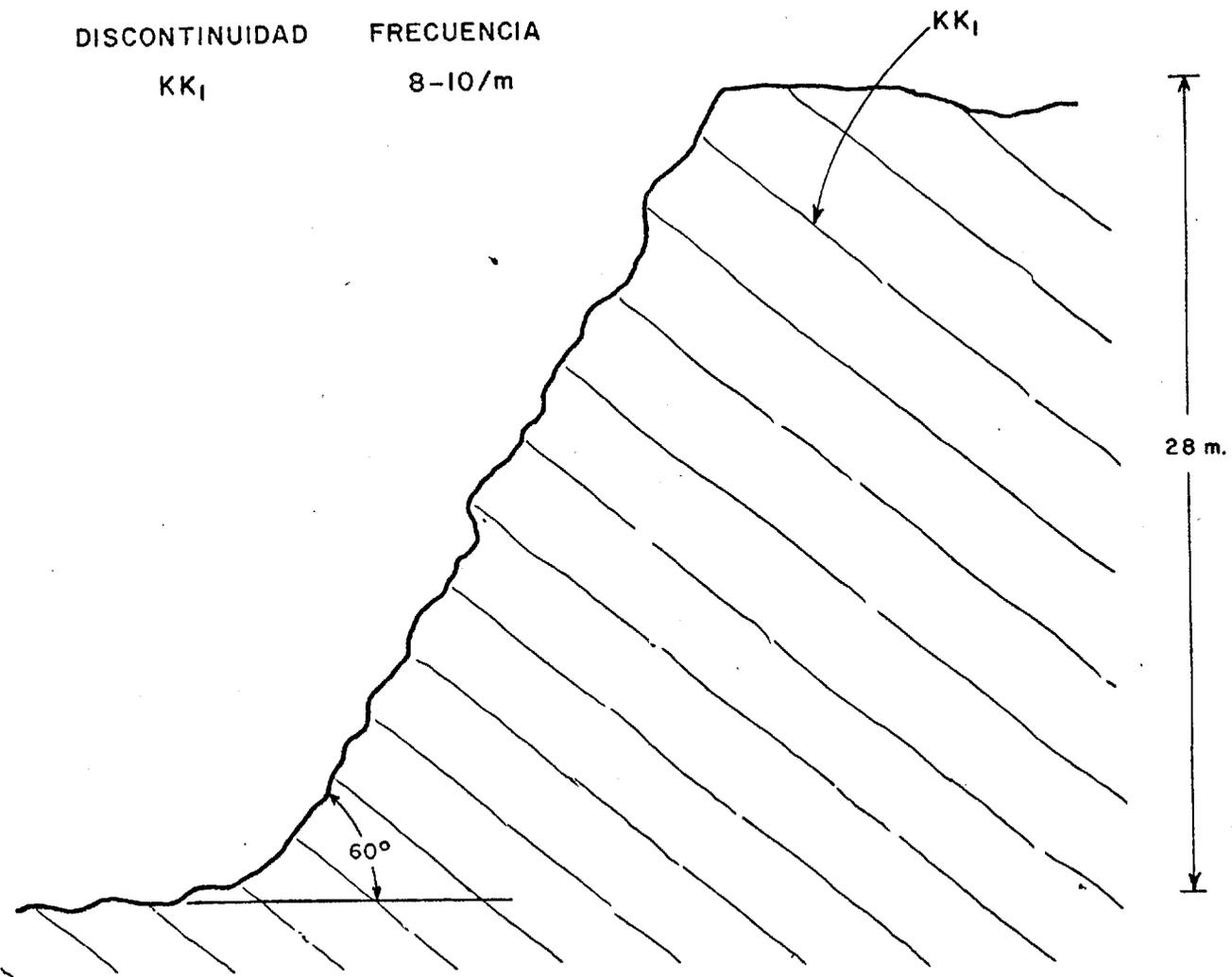


ESCALA DEL PERFIL 1 : 1000

ESCALA DE LA FRECUENCIA 1 : 10

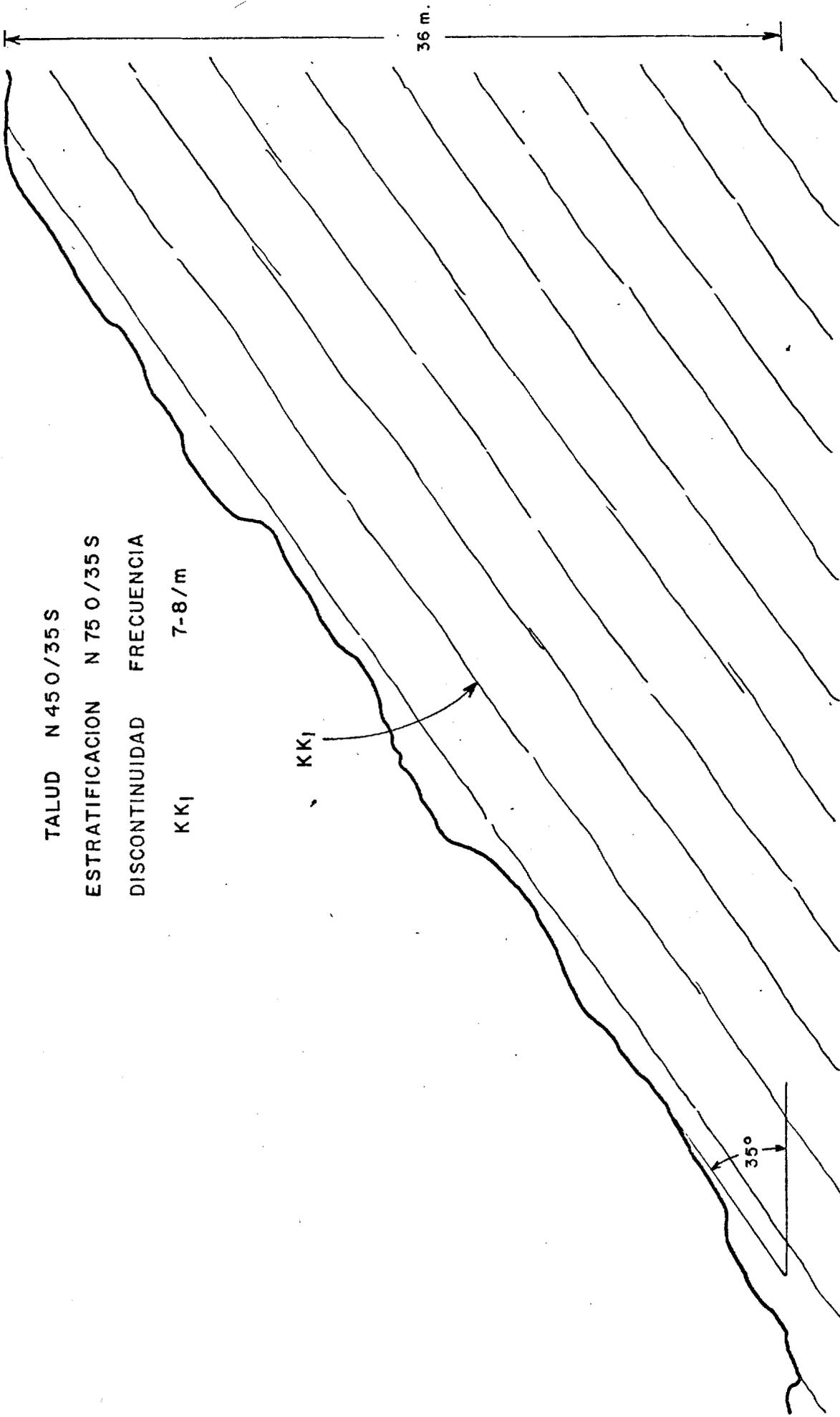
FIGURA 6 TALUD 4

TALUD N 25 O/60 N  
ESTRATIFICACION N 56 O/38 S  
DISCONTINUIDAD FRECUENCIA  
KK<sub>1</sub> 8-10/m



ESCALA DEL PERFIL 1 : 250  
ESCALA DE LA FRECUENCIA 1 : 10

FIGURA 7 TALUD 5



TALUD N 450/35 S

ESTRATIFICACION N 75 O /35 S

DISCONTINUIDAD FRECUENCIA

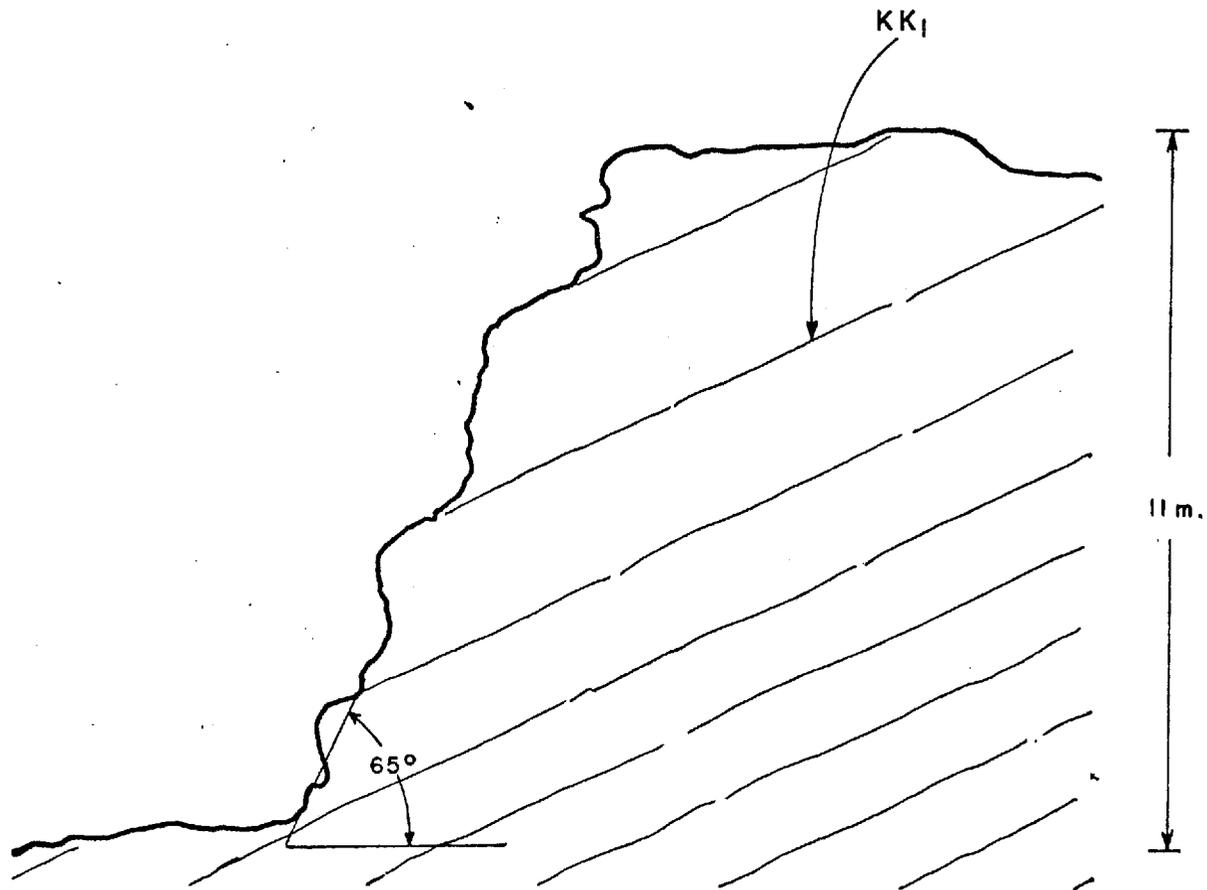
KK1 7-8/m

ESCALA DEL PERFIL 1 : 250

ESCALA DE LA FRECUENCIA 1 : 10

FIGURA 8 TALUD 6

TALUD N 60 O/65 S  
ESTRATIFICACION N 35 O/25 S  
DISCONTINUIDAD FRECUENCIA  
KK<sub>1</sub> 5-10/m

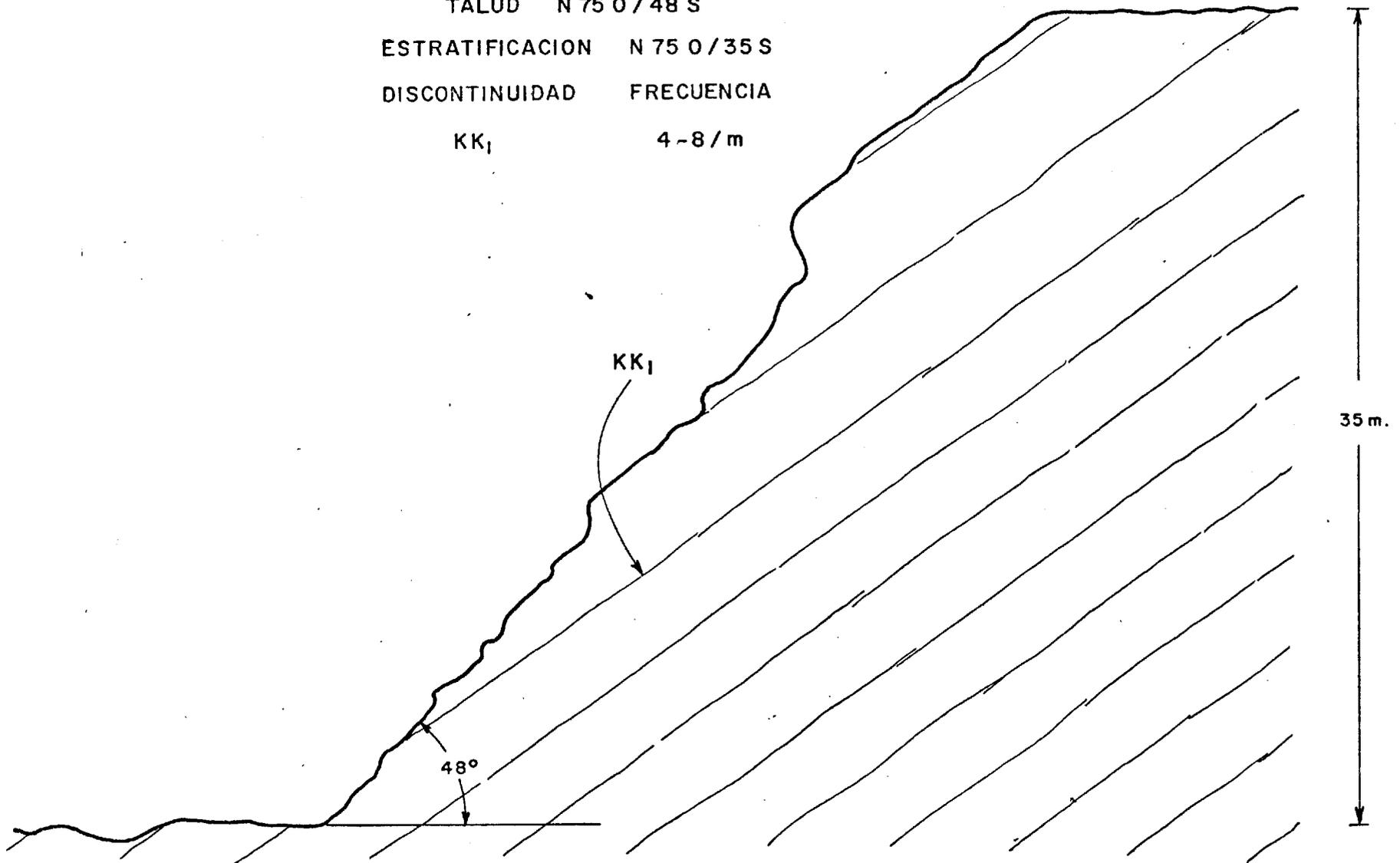


ESCALA DEL PERFIL 1 : 125

ESCALA DE LA FRECUENCIA 1 : 10

FIGURA 9 TALUD 7

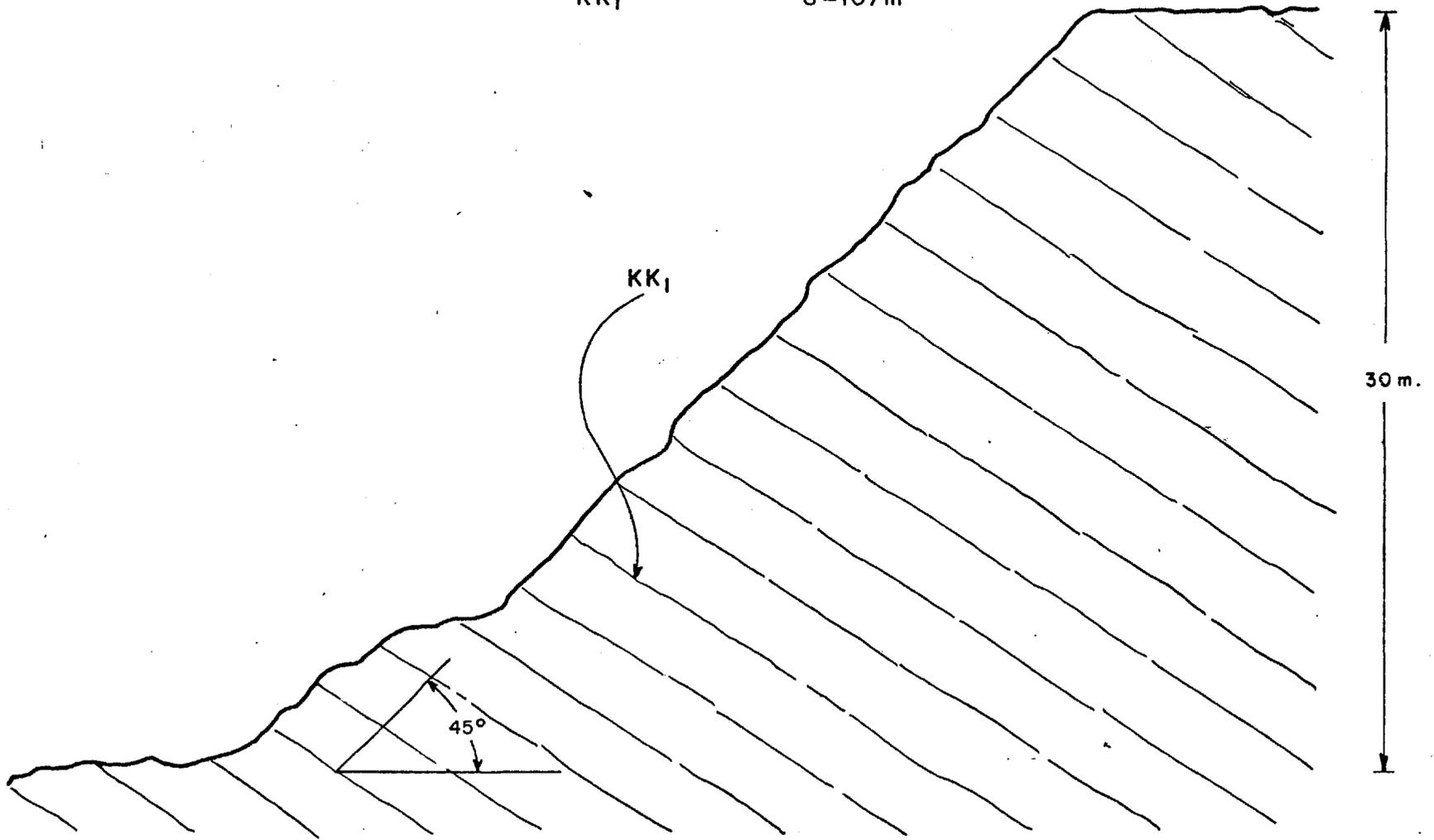
TALUD N 75 0 / 48 S  
ESTRATIFICACION N 75 0 / 35 S  
DISCONTINUIDAD FRECUENCIA  
KK<sub>1</sub> 4-8 / m



ESCALA DEL PERFIL 1 : 250  
ESCALA DE LA FRECUENCIA 1 : 10

FIGURA 10 TALUD 8

TALUD N 15 0 / 45 N  
ESTRATIFICACION N 83 0 / 32 S  
DISCONTINUIDAD FRECUENCIA  
KK<sub>1</sub> 8-10/m



ESCALA DEL PERFIL 1 : 250

ESCALA DE LA FRECUENCIA 1 : 10

FIGURA II TALUD 9

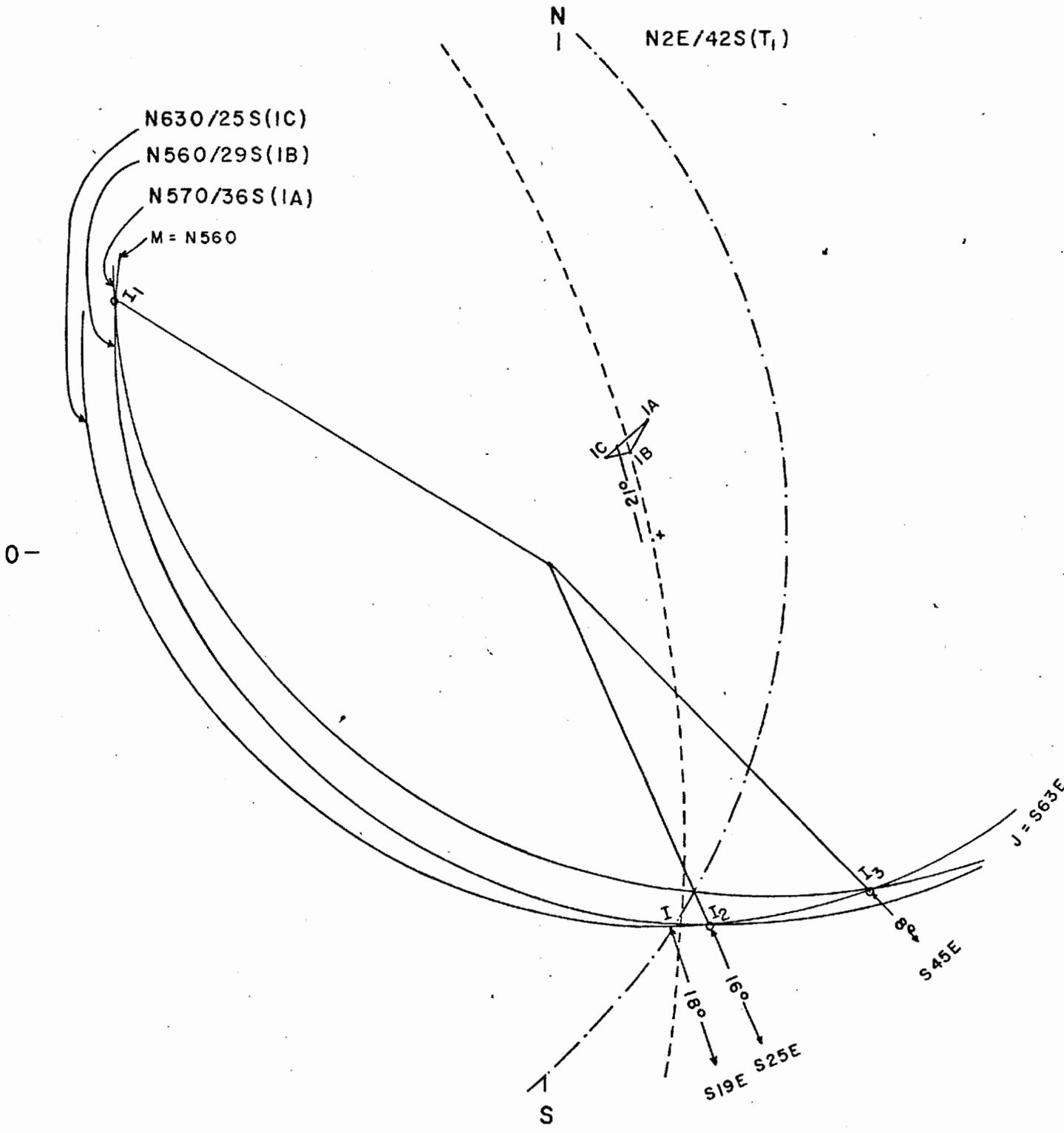


FIGURA 12 TALUD I PARA LA ESTRATIFICACION

0-

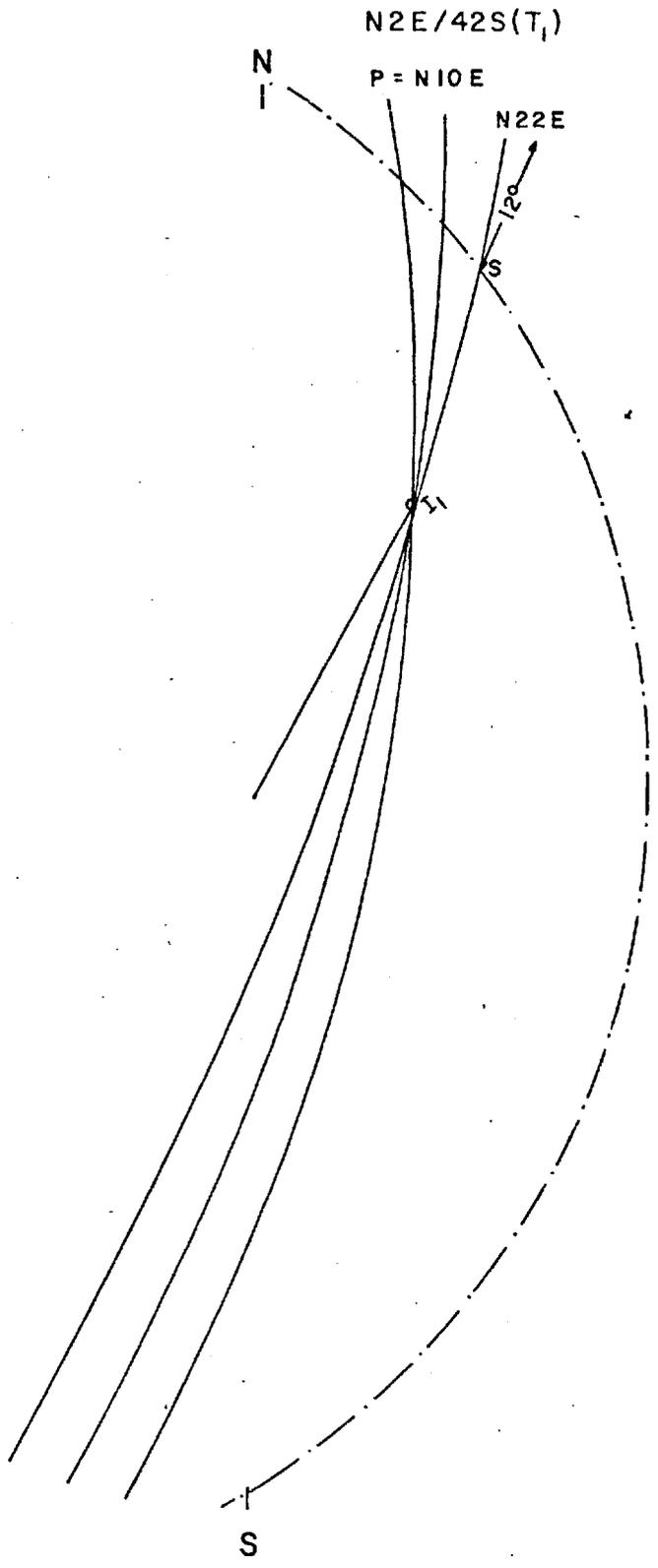
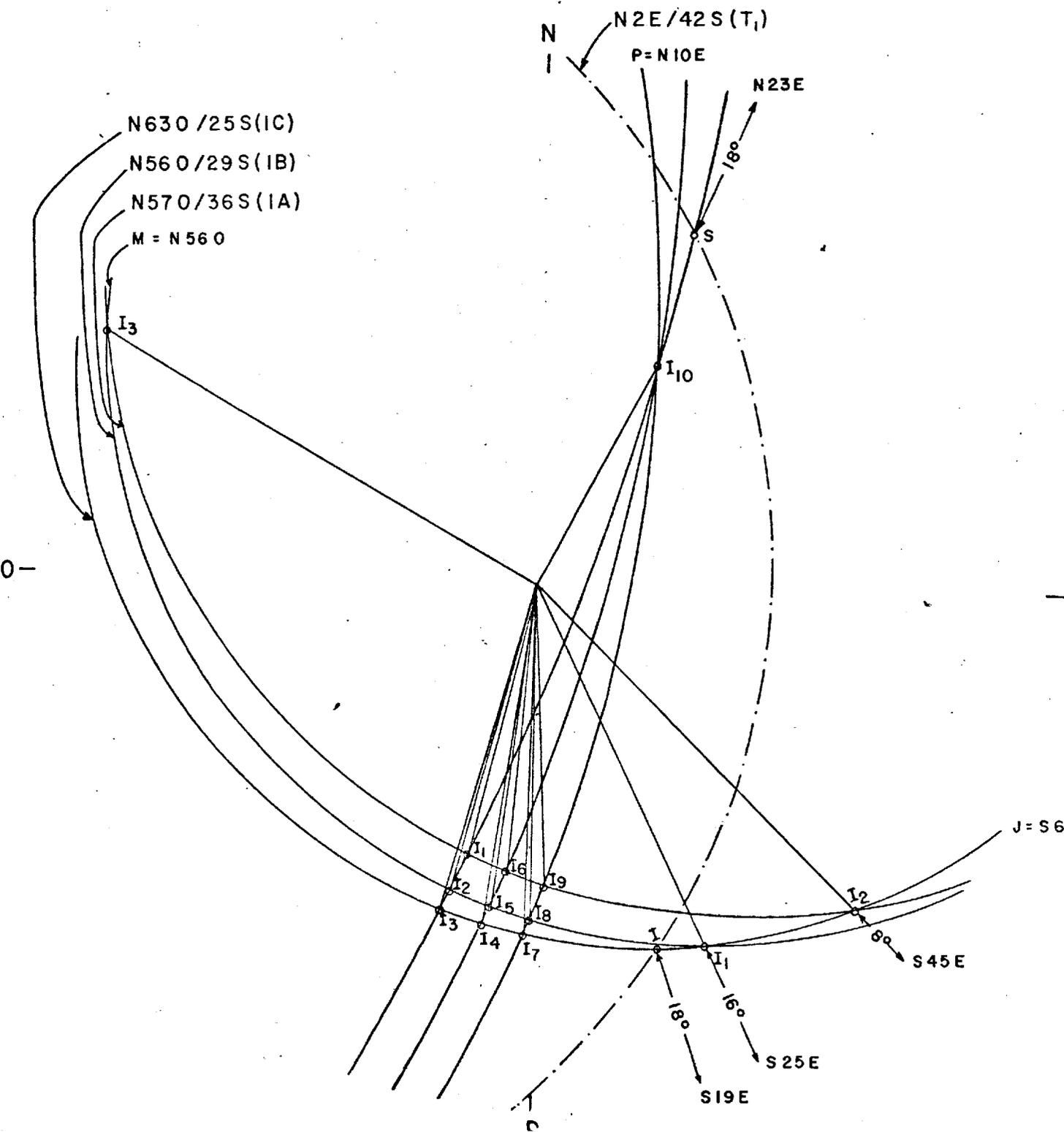


FIGURA 13 TALUD I PARA LAS DIACLASAS



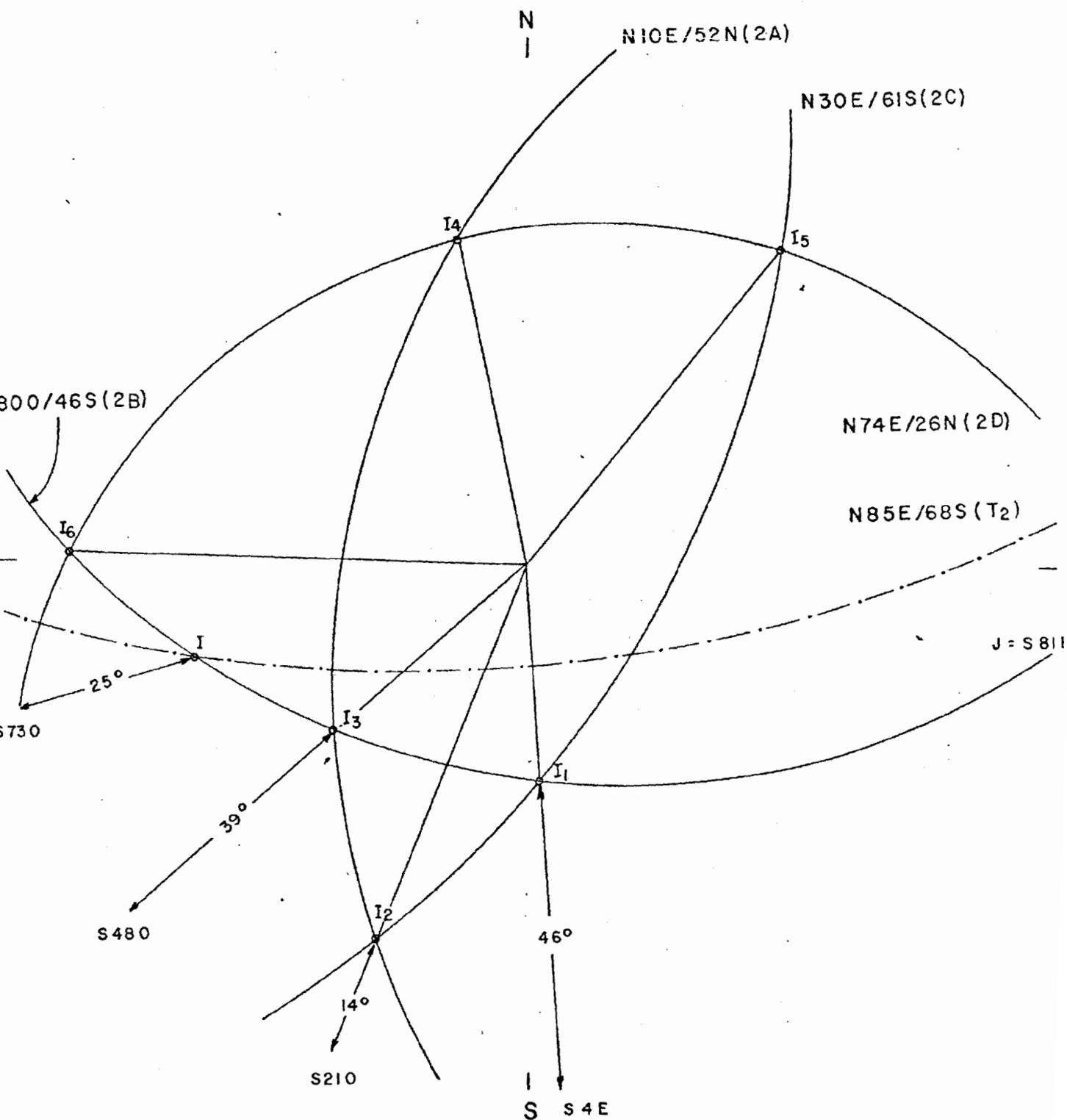


FIGURA 15 TALUD 2



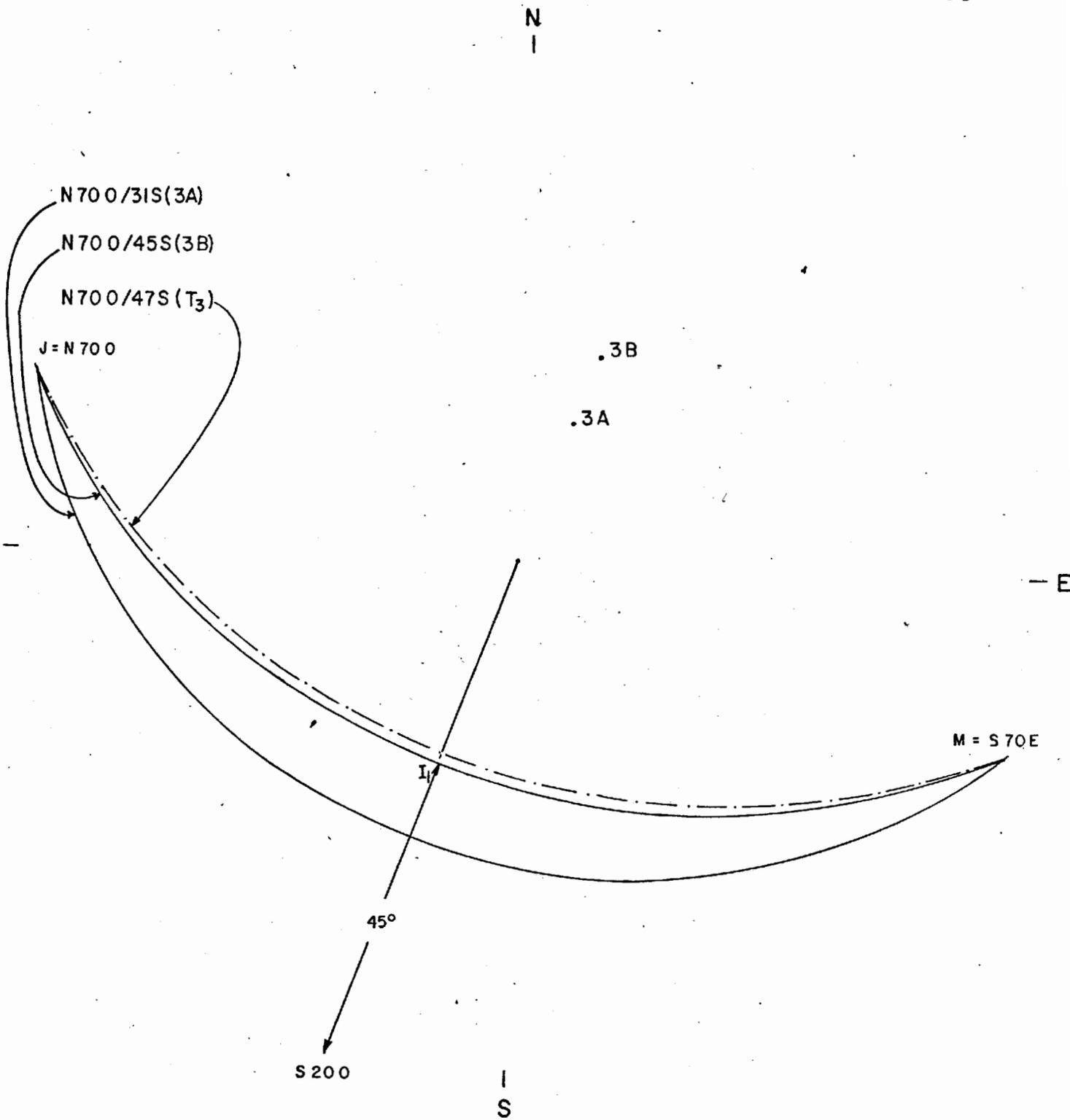


FIGURA 17 TALUD 3

N  
|

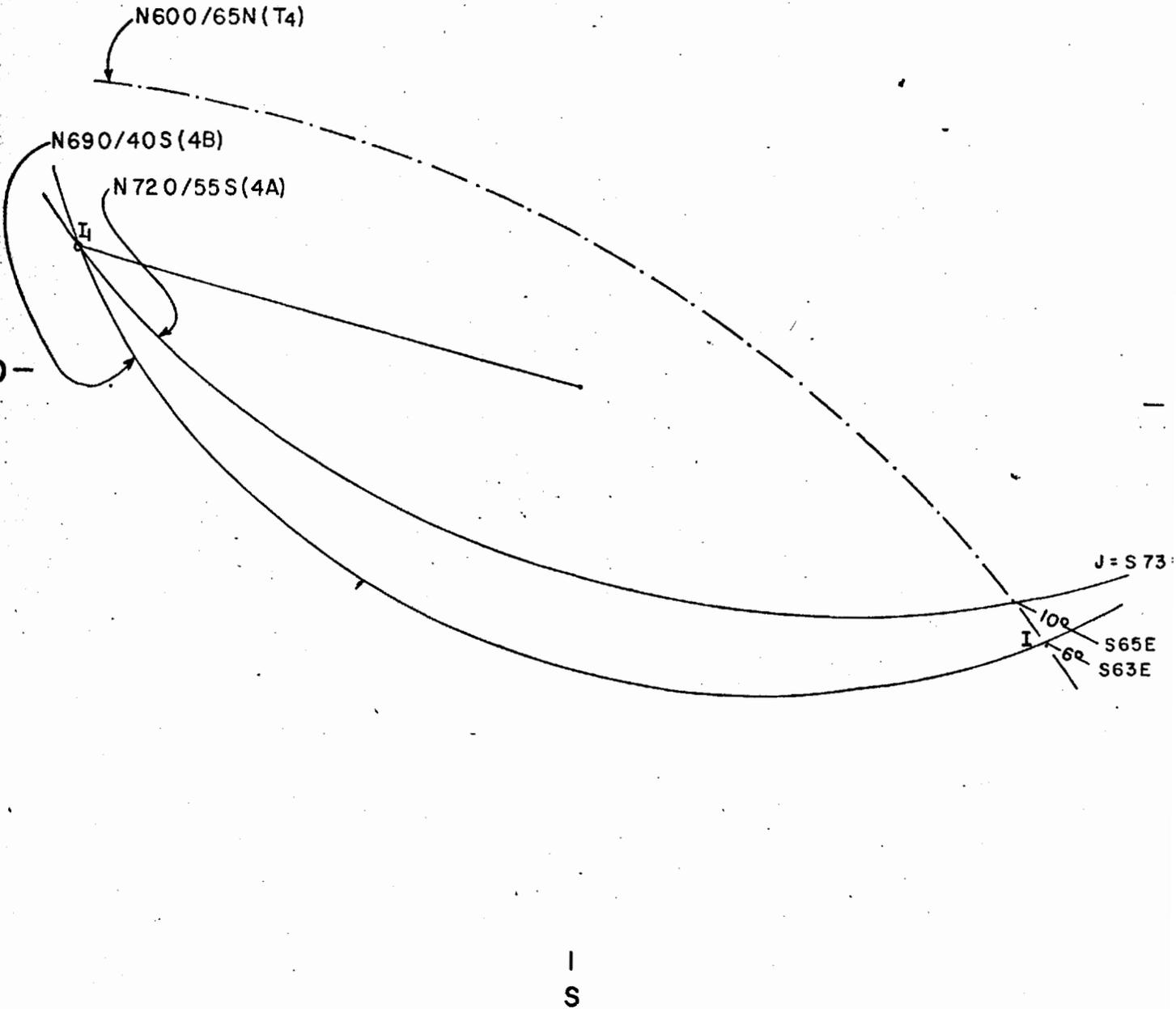


FIGURA 18 TALUD 4 PARA LA ESTRATIFICACION

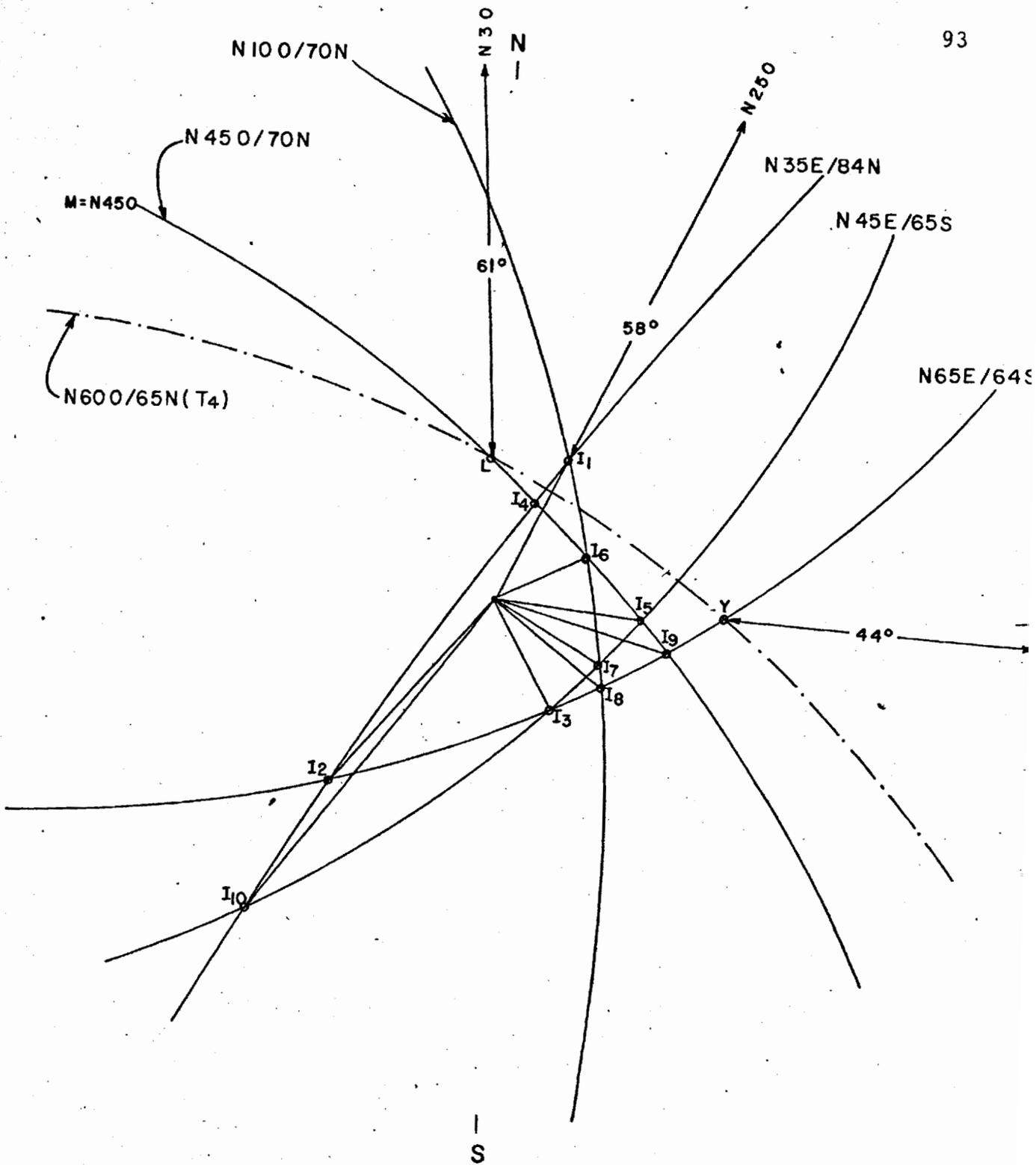


FIGURA 19 TALUD 4 PARA LAS DIACLASAS

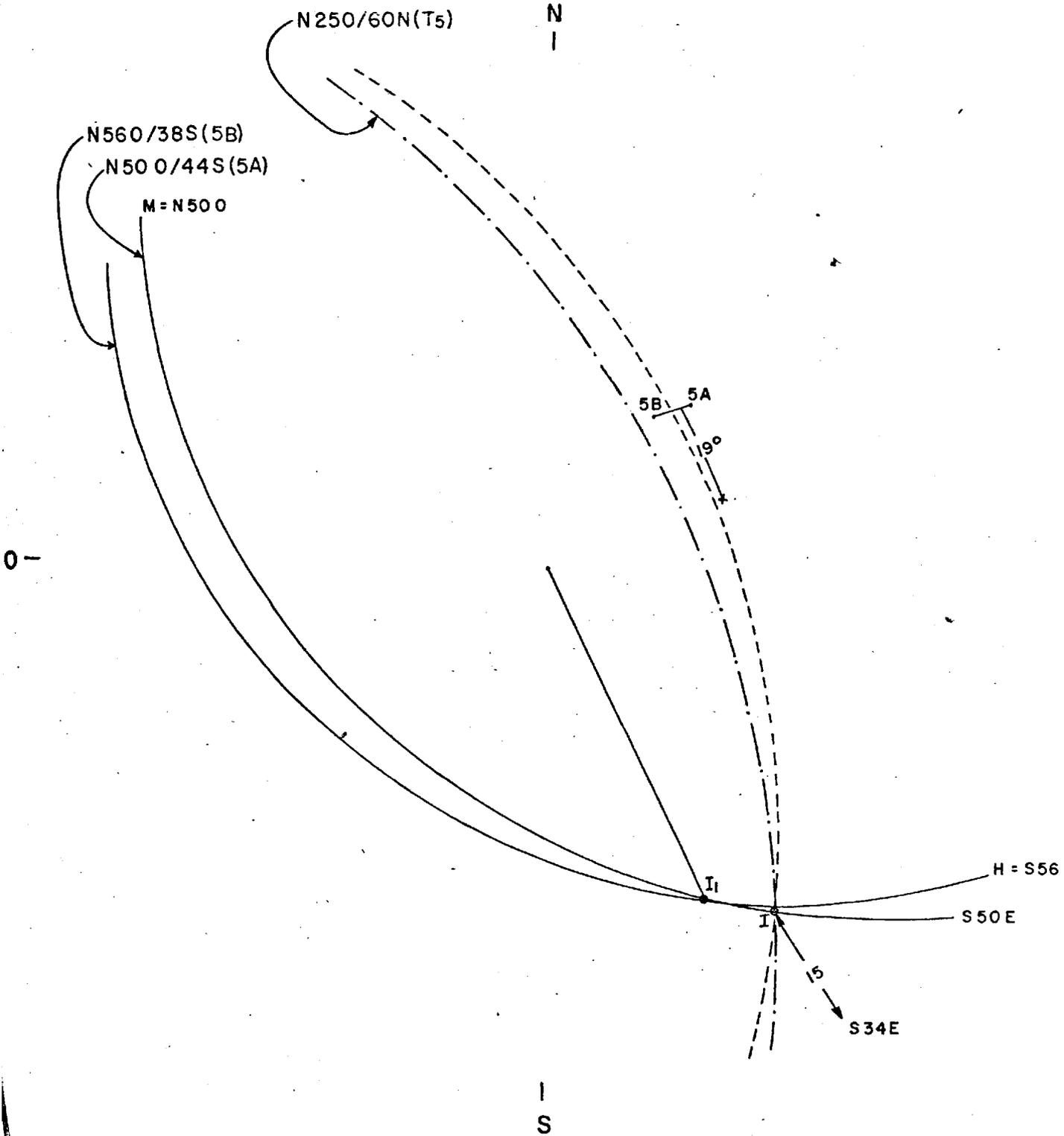


FIGURA 21

TALUD 5

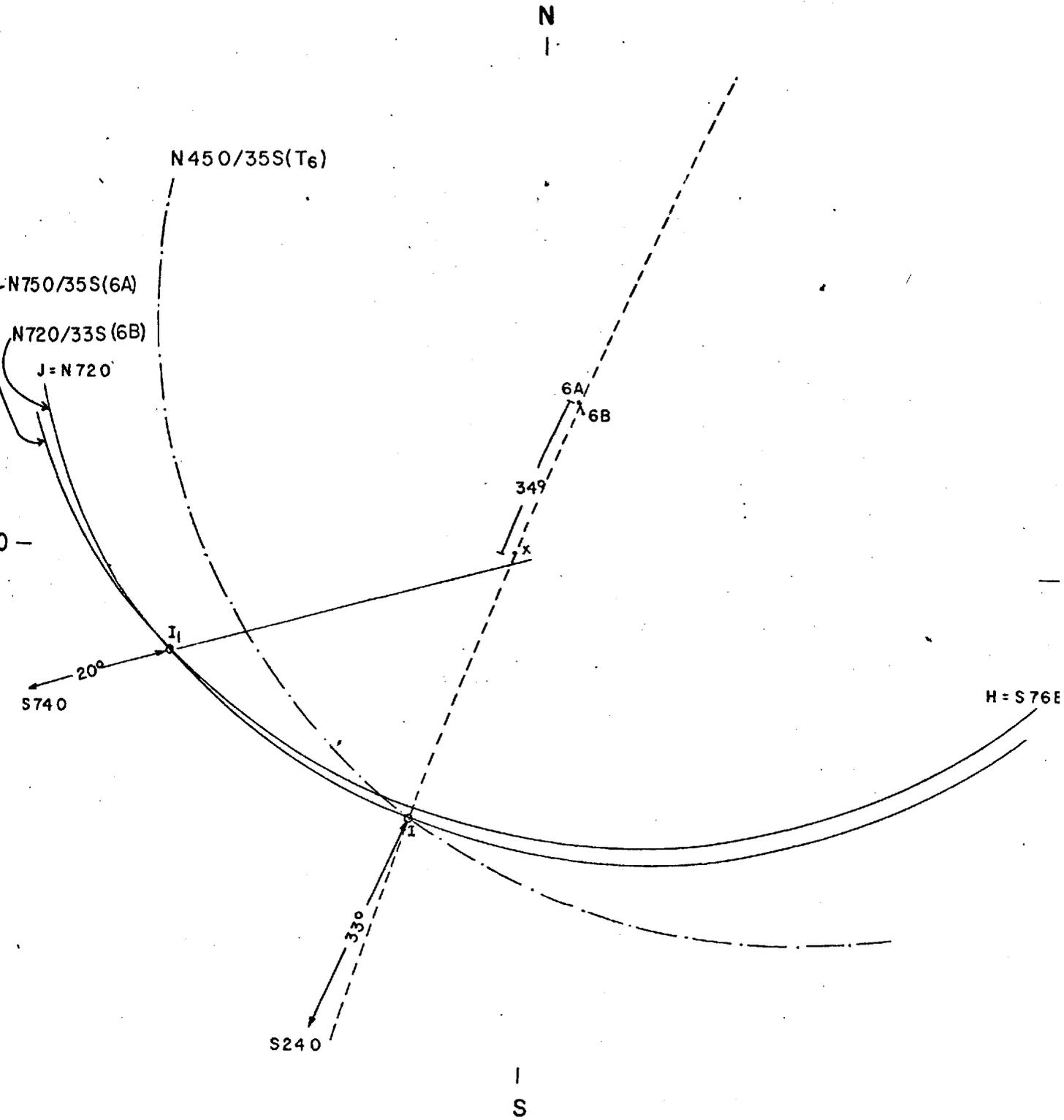


FIGURA 22

TALUD 6



N  
|

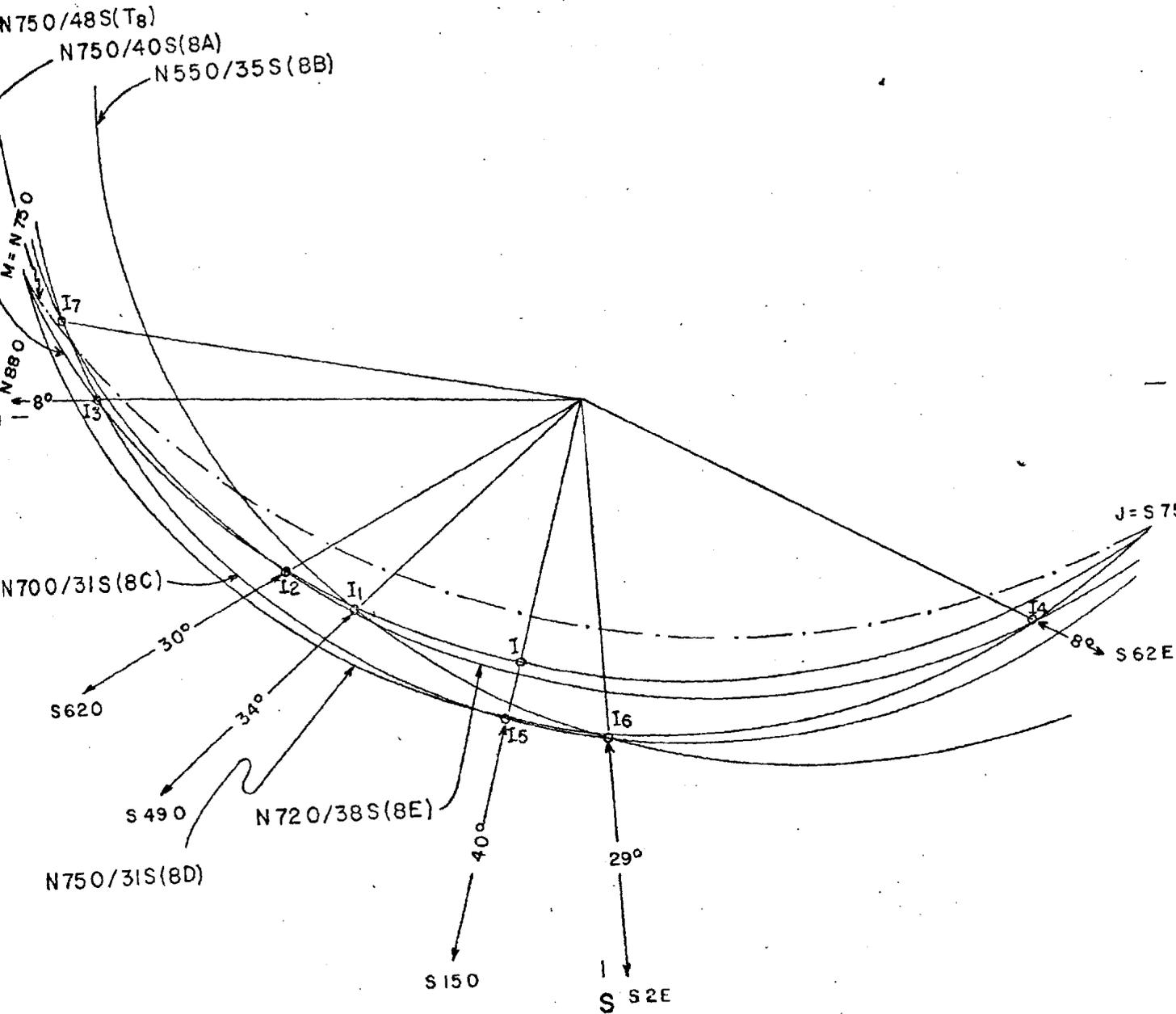
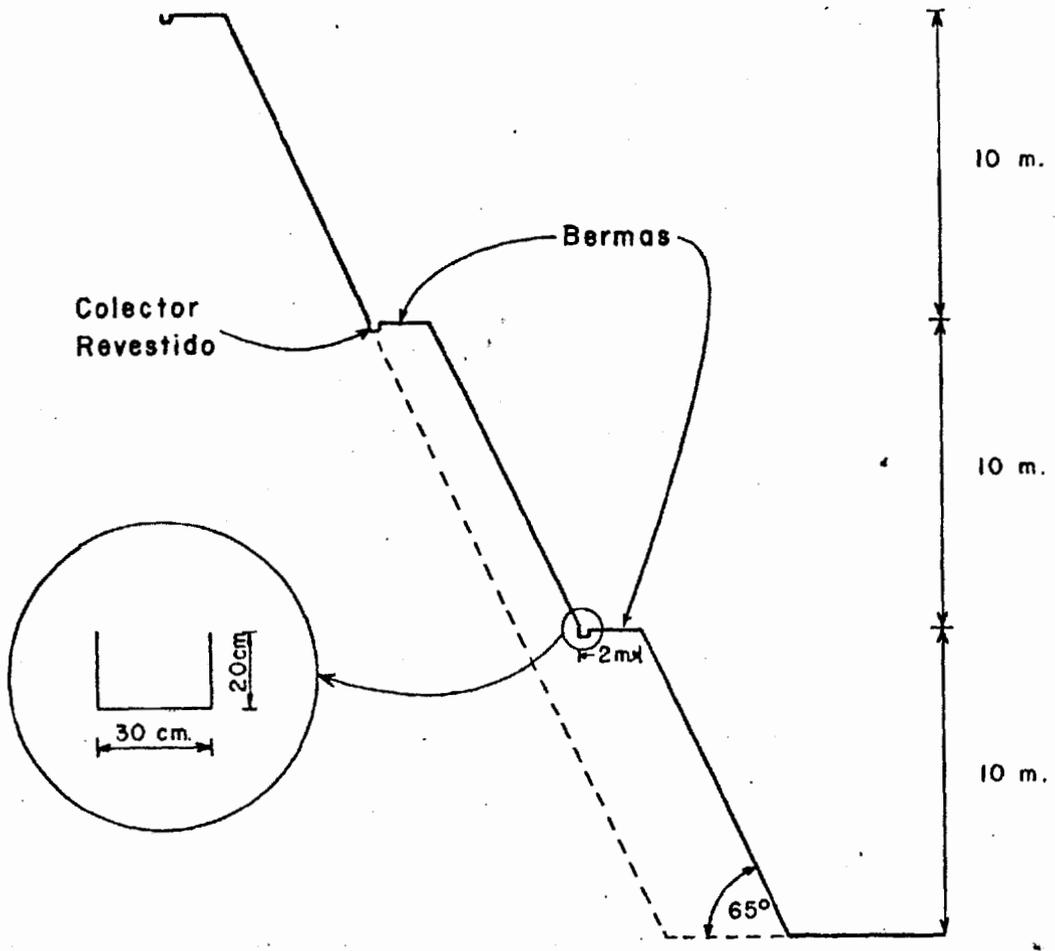


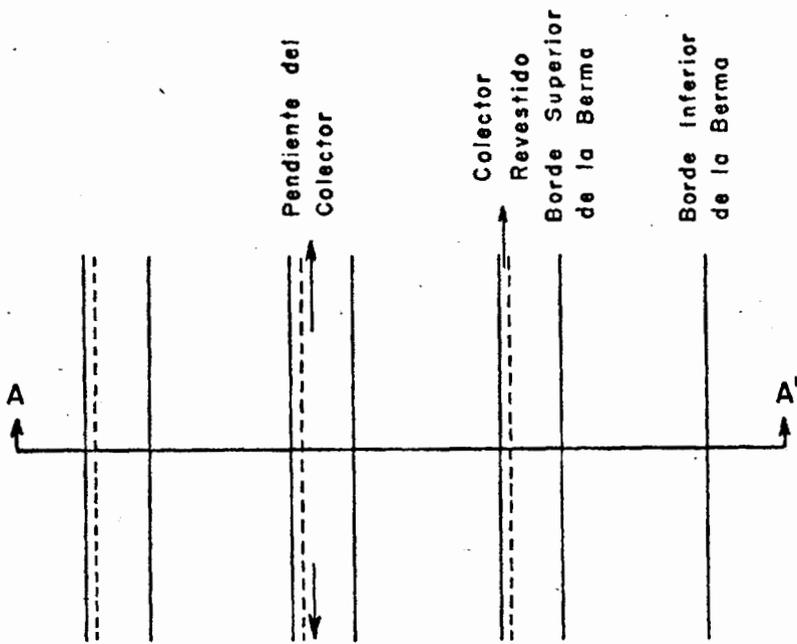
FIGURA 24

TALUD 8





CORTE A-A'



ESCALA 1 : 250

FIGURA 26

BERMAS



FOTO 1. Talud 1, parte Sur, nótese estratos muy laminados con buzamiento al Sur, a la derecha hay material acumulado que son fragmentos de pedernal de color habano y material arcilloso que han caído provenientes del coronamiento por procesos de operación de la cantera.

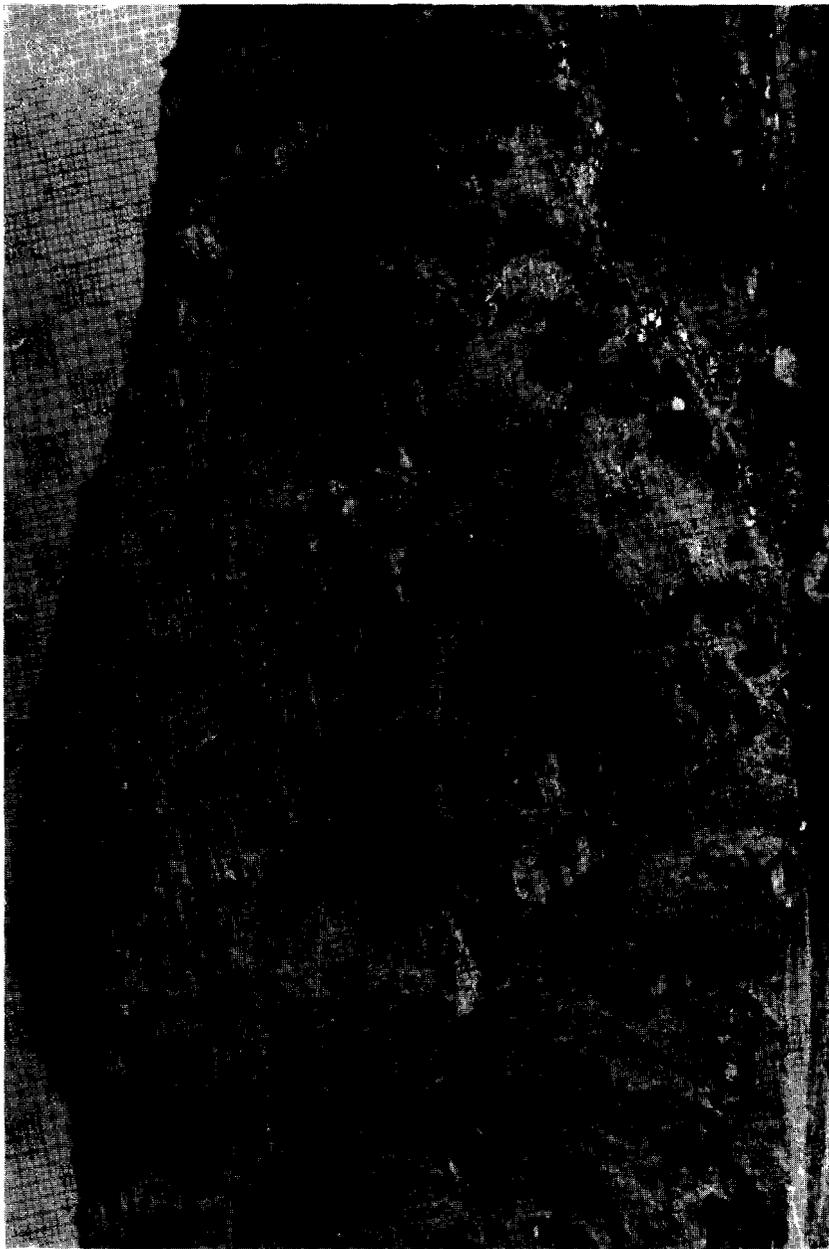


FOTO 2. Talud 1, parte Norte, la parte superior es pedernal, en la parte inferior derecha aparece grawaca, y en la cara libre del talud, hay fragmentos de pedernal con material arcilloso.



FOTO 3. Talud 1, sistemas de diaclasas que a floran en la parte media inferior del talud.



FOTO 5. Talud 2, en la que ya se ha producido el deslizamiento, fenómeno llamado "rotura por flujo de bloques". Nótese la primitiva y arcaica de la explotación de la cantera, y el peligro que representa para sus trabajadores.



FOTO 6. Talud 3, Obsérvase la posición de las capas, a la derecha del camión principia la excavación de la base del talud, con lo que aumenta su ángulo, tornándolo inestable a este.

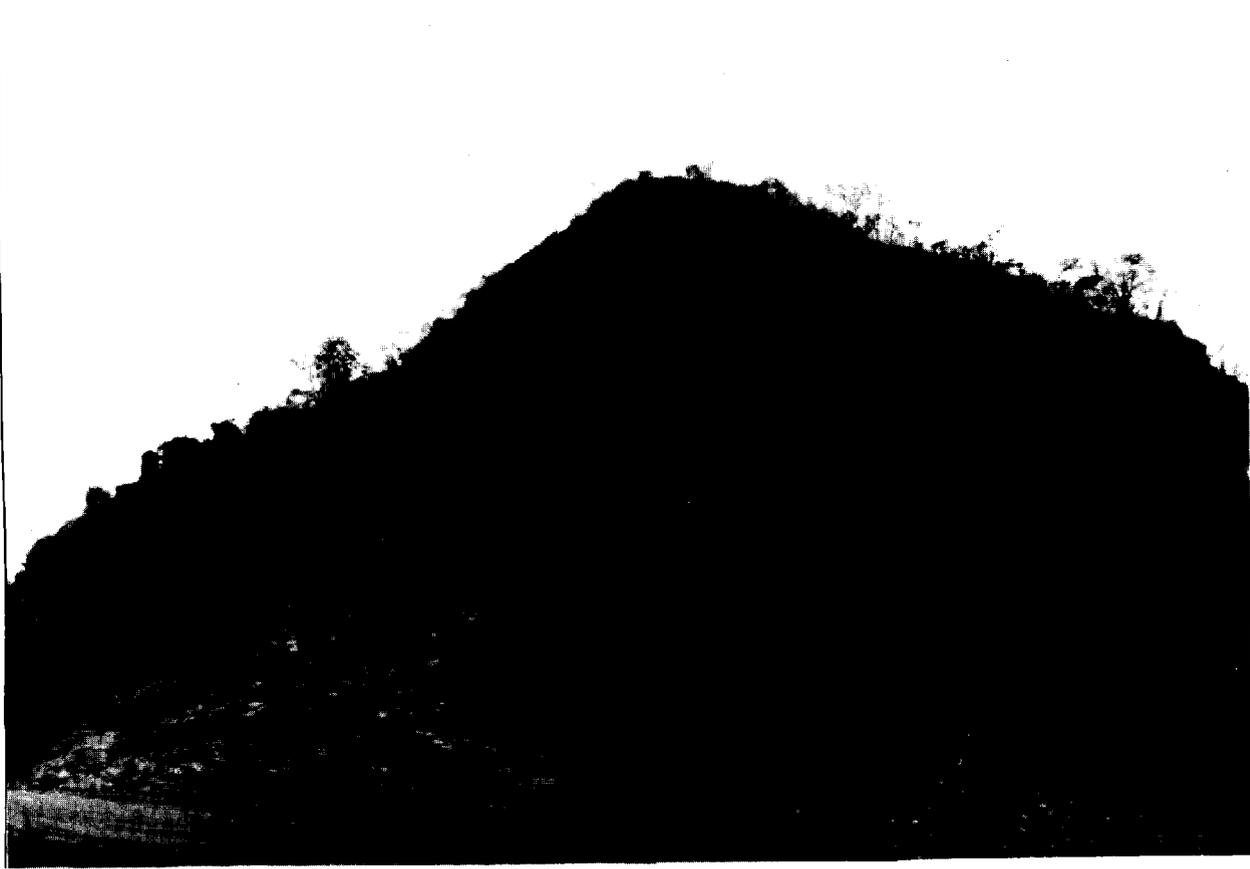


FOTO 7. Talud 4, obsérvese su buzamiento contrario al talud, el pequeño deslizamiento y la gran cantidad de bloques caídos sobre la base de este.



FOTO 9. Talud 4, Sistemas de diaclasses.



FOTO 8. Talud 4, fenómeno combinado, "deslizamiento - desprendimiento de bloques", obsérvese la superficie curva formada y fragmentos - angulosos de diferente tamaño.



FOTO 9. Talud 4, Sistemas de diaclasas.



FOTO 10. Talud 5, estratos doblados y fragmentos de pedernal.



FOTO 11. Talud 6, aquí los fragmentos angulosos de pedernal provenientes de más arriba, cubren toda la cara libre, donde afloran los estratos, nótese la escasa vegetación.



FOTO 12. Talud 7, la cara libre es roca muy - alterada, aquí se ha producido el deslizamiento llamado desprendimiento de bloques.



FOTO 13. Talud 8, estratos buzando hacia la cara libre del talud, y material rocoso sobre su base.



FOTO 14. Talud 9, gran cantidad de material rocoso sobre la base de este, y estratos muy laminados.

AVENIDA CARLOS JULIO ARDISEMERA TOL. 4

PLANTACION DE 1988



LEYENDA

-  CURVA DE NIVEL
-  CARRETERA
-  MUESTRA
-  PUNTO DE OBSERVACION
-  RIVERO + RICAMARTE



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL  
 URBANIZACION BELLAVISTA  
 MAPA TOPOGRAFICO  
 JORGE MATAMOROS MORAN  
 ESCALA 1:5000      1988, 1989, 1991

## BIBLIOGRAFIA

1. ASESORIA TECNICA DE PETROLEOS DEL MINISTERIO DE INDUSTRIAS Y COMERCIO, Reporte Geológico de la costa ecuatoriana, Quito, 1966.
2. BADILLO JUAREZ E.- RODRIGUEZ RICO A., Teoría y Aplicaciones de la Mecánica de Suelos, México, Tomo II, México, 1967.
3. BARTON NICHOLAS, Review of a new shear - streanght critacion por rock joints, Engineering Geology, Netherlands, 1973.
4. BILLINGS MARLAND P. Geología Estructural, Editorial Eudeba, Buenos Aires, 1974, Edición cuarta.
5. BIENIAWSKY T., The point-load test in Geotechnical practice, Engineering Geology, Netherlands, 1975.
6. CORPORACION ESTATAL PETROLERA ECUATORIANA, Geología del Litoral Pacífico ecuatoriano, Quito, 1974.
7. COMPTON ROBERT, Geología de Campo, Editorial Pasc, México, Distrito Federal, 1970, Primera edición.
8. CHEATHAM Jr. Rock Breakage By Crushing, Blasting, and Drilling, Engineering Geol, Netherlands, 1968.
9. DESIO ARDITO, Geología applicata alla ingegneria, Edi-

- torial Hoepli      Milano, 1973, terza edizione.
10. ERAZO VALLEJO MARCOS, Problemas de Geotecnia relacionados con la inestabilidad del suelo, II Conferencia Ecuatoriana de Mecánica de Suelos y de Geotecnia, - Departamento de publicaciones de la Universidad de Guayaquil, Guayaquil, 1975.
  11. FOLK R.L. Petrología de las rocas sedimentarias, Instituto de Geología de la U.N.A.M. Mexico, 1969.
  12. HOFFSTETTER ROBERT, Lexique stratigraphique international, Amerique Latine, Ecuador.
  13. INEDITO, GRAPHICAL SLOPE STABILITY ANALYSIS BY USE OF STERIONETS, Capitulo 4.
  14. KULHAWY FRED H. STRESS. Deformation Properties of Rock and Rock Discontinuities, Engineering Geol. Northern Iseland, 1975.
  15. KRUMBEIN - SLOSS, Estratigrafía y sedimentación, Centro regional de Ayuda técnica, Editorial Uteha, Mexico, 1969, Traducción de la segunda edición.
  16. KRYNINE D.P. JUDD W.R., Principios de geología y Geotecnia para ingenieros, Editorial Omega, Barcelona, - 1975.
  17. LAMBE WILLIAM T. - WITMAN ROBERT V., Mecánica de Suelos, Editorial Limusa-Willey, Mexico, 1972. I Edición.

18. LETOURNEUR JEAN - MICHEL ROBERT, Geología du Genie Civil, Collection U. Librairie Armand Colin, Paris, 1971.
19. LEITE CARLOS, Apuntes de Geotecnia, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, 1974.
20. L'HERMINIER R., Mecánica de Suelos y Dimensionamiento de firmes, Editorial Blume, Barcelona, 1968.
21. LUCIANO BROILI, II Caso sulla Meccanica delle rocce, consiglio Nazionale delle Ricerche, Padova, Italia, 1974.
22. PERRI GIANFRANCO, Apuntes de Mecánica de Rocas, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, 1976.
23. SAUER WALTHER, Geología del Ecuador, Editorial del Ministerio de Recursos Naturales, Quito, 1965.
24. STAGG - ZIENKIEWICZ, Mecánica de rocas en la Ingeniería práctica, Editorial Blume, Madrid, 1970, Primera edición.
25. SCHULZE - SIMMER, Cimentaciones, Editorial Blume, Madrid, primera edición, 1970.
26. STACEY RICHARD R., The behavior of two and Three dimensional model rock slopes, Engineering Geol., Northern Island, Vol. 8, 1972.

27. WAHLSTROM ERNEST, Tunneling in rock, Developments in Geotechnical engineering 3, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1973.