

GEOMEC

BOLETIN DE DIVULGACION GEOTECNICA

TALUDES EN MACIZOS ROCOSOS "APLICACION DE LOS METODOS DE LAS PROYECCIONES HEMISFERICAS A LAS ROCAS QUE CONSTITUYEN LAS COLINAS ALREDEDOR DE CARACAS".

DANIEL SALCEDO

Y

GIANFRANCO PERRI



Nº

8

FEBRERO, 1982

caracas

Con este número completamos, aunque no de manera definitiva, la serie de tres boletines dedicados al tema del análisis geotécnico de Taludes en ma c iz os ro co so s.

Lo hacemos una vez más haciendo referencia al trabajo del Profesor Daniel Salcedo, del cual hemos extraído fielmente el contenido de las partes anteriores, aunque en esta ocasión lo complementamos con un ejemplo de aplicación de la metodología de las proyecciones hemisféricas elaborado por el Profesor Gianfranco Perri.

En efecto, así como habíamos anunciado, este tercer capítulo que aquí se presenta, tiene un aspecto esencialmente práctico y trata sobre: "La Predicción de problemas de estabilidad y la aplicación de los métodos a las rocas metamórficas que constituyen las colinas alrededor de Caracas".

Una vez más estamos incluyendo la bibliografía integral que acompañaba el trabajo original del Prof. Salcedo.

Caracas, 31 de enero de 1982.

TALUDES EN MACIZOS ROCOSOS "APLICACION DE LOS METODOS DE
LAS PROYECCIONES HEMISFERICAS A LAS ROCAS QUE CONSTITUYEN
LAS COLINAS ALREDEDOR DE CARACAS".

DANIEL SALCEDO (*)

y

GIANFRANCO PERRI (**)

(*) Profesor de Geotecnia en la U.C.V.

(**) Profesor de Mecánica de Roca en la U.C.V.

PREDICCIÓN DE PROBLEMAS DE ESTABILIDAD

1. Fase de anteproyecto

Uno de los aspectos más importantes y fundamentales que debe informar el geólogo encargado del estudio geológico de superficie, es la identificación y ubicación de problemas de estabilidad de taludes. Para ello el geólogo debe basarse en estudios detallados de fotografías aéreas y recorridos de campo, utilizando conceptos geomorfológicos, conociendo los alcances de los procesos geodinámicos y constatando sus efectos en el campo. En estos casos los problemas de estabilidad pueden ser identificados porque existen indicios valiosos de campo.

Existen otros problemas de estabilidad que no pueden ser anticipados mediante la práctica anterior debido a que ocurrirán, en áreas, actualmente estables, que se activarán por los efectos del movimiento de tierras requerido para el desarrollo de la zona de estudio. El autor de este trabajo ha tenido la oportunidad, en la práctica profesional, de utilizar las proyecciones hemisféricas como técnica de predicción para esta última clase de problemas de estabilidad. Esta predicción se basa en relacionar la orientación de las diferentes discontinuidades geológicas presentes en la roca con la orientación de los cortes contemplados a nivel de anteproyecto.

Para explicar claramente esta metodología se presenta a continuación el caso de un estudio realizado:

La zona está ubicada en el sector denominado Brisas de Casalta, y el anteproyecto contemplaba un desarrollo urbanístico donde el movimiento de tierra requería de cortes con diferentes orientaciones.

La geología de campo permitió dividir la zona en dos unidades litológicas denominadas Unidad de Esquistos y Unidad de Gneises.- En ambas la competencia de la roca permitía suponer que el comportamiento ante la estabilidad estaría controlado por la orientación de las discontinuidades.

De acuerdo a las observaciones de campo toda la zona se definió como "estructuralmente" similar, estando constituida, salvo plegamientos locales, por un homo

clinal en foliación, con las siguientes características:

| <u>Discontinuidad</u> | <u>Rumbo</u> | <u>Buzamiento</u> |
|-----------------------|--------------|-------------------|
| Foliación | N55E a E-W | 30 - 50 N |
| Diaclasa | N10 - 20 W | 70-Vertical |

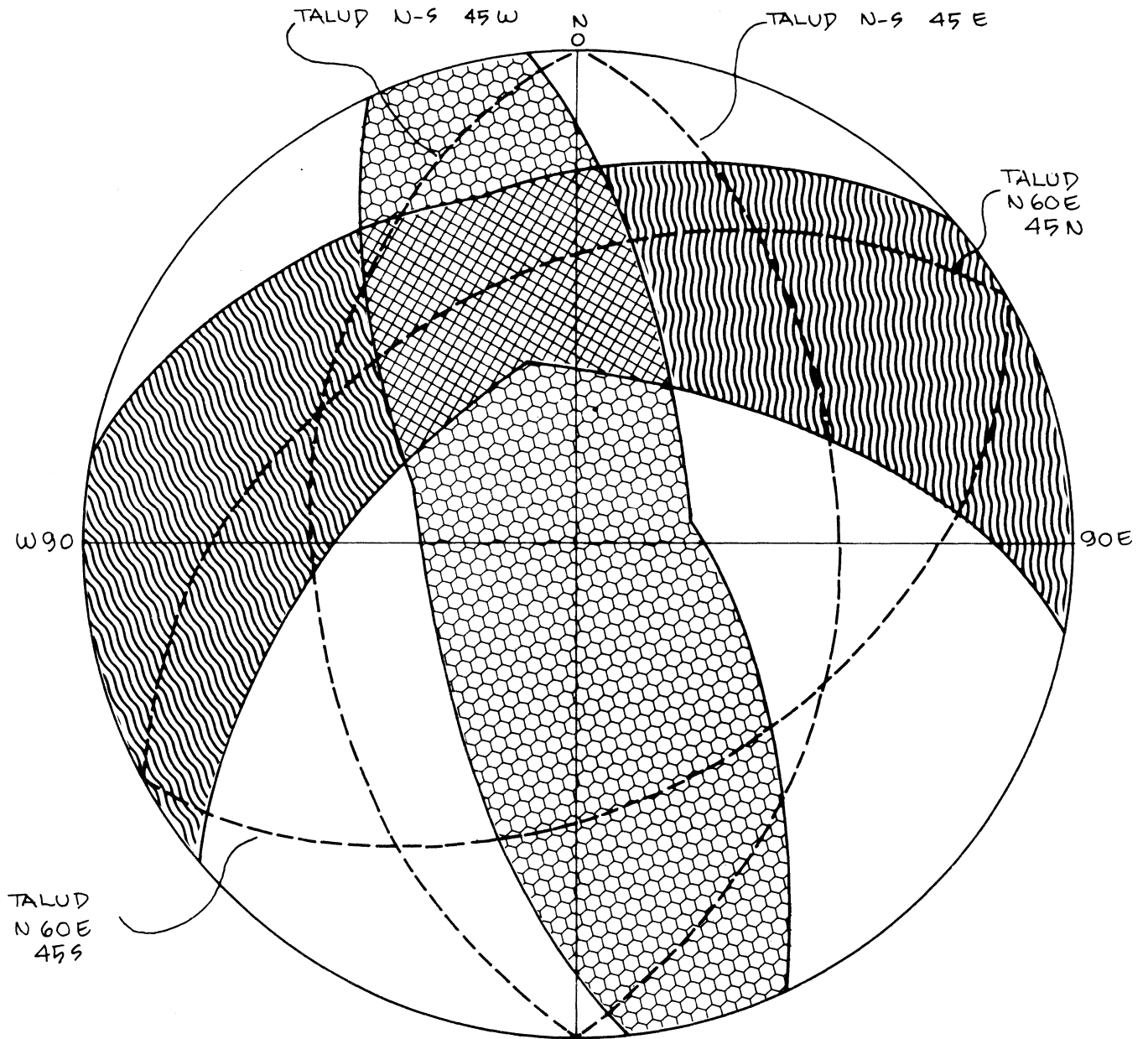
En este caso existía otro sistema de diaclasas subparalelo a los planos de foliación y buzamientos cercano a la vertical, el cual se estimó que no sería de importancia para la evaluación, a excepción de que pudiera controlar la grieta de tensión para una falla de bloque según los planos de foliación.

En la Figura A se indican, mediante áreas sombreadas, las envolventes de los planos de foliación más frecuentes así como los correspondientes al sistema de diaclasas mejor desarrollado. La zona de intersección de las discontinuidades mencionadas también se indica en la Figura .

De acuerdo a los planos suministrados por el arquitecto responsable del anteproyecto, los cortes más importantes requeridos presentaban rumbo de N60E y Norte-Sur pero con frentes en ambos sentidos. Por esta razón se ha representado en la Figura A la orientación de los taludes mencionados, asumiendo una pendiente de 1:1 para fines de evaluación general.

La evaluación de la Figura A permitió llegar a las siguientes conclusiones:

- a) Los taludes en roca con rumbo N60E y frentes hacia el Sur no presentan problemas de estabilidad.
- b) Los taludes con rumbo Norte-Sur y frentes hacia el Este son aproximadamente perpendiculares a los planos de foliación, por lo tanto, se descartan deslizamientos controlados por dichos planos. Se necesitarían taludes de corte con pendientes mayores de 70° para que pudiese existir la posibilidad cinemática de deslizamientos controlados por los planos de diaclasas.



ZONA DE INTERSECCION, FOLIACION Y DIACLASA



ENVOLVENTE DE PLANOS DE FOLIACION MAS FRECUENTES



ENVOLVENTE DE SISTEMA DE DIACLASAS MEJOR DESARROLLADO

FIG. A.

- c) Los taludes con rumbo N60E y frentes hacia el Norte y los de rumbo Norte-Sur y frentes hacia el Oeste, se consideran los más críticos en cuanto a la estabilidad; esto se debe a los planos de foliación consecuentes (fallas de bloque) y a la intersección de los planos de diaclasa y foliación en el mismo sentido de la pendiente y con ángulo menor que los 45° asumidos (fallas de cuña).

En base a esta sencilla evaluación es posible hacer una serie de recomendaciones de gran importancia, a fin de introducir modificaciones en el anteproyecto tendientes a minimizar o evitar los problemas de estabilidad. En el ejemplo presentado se podrían considerar, en base a reuniones de trabajos con los arquitectos e ingenieros proyectistas, los siguientes aspectos:

- a) Reubicar algunas edificaciones de forma de evitar taludes de corte con las orientaciones señaladas como críticas.
- b) De no ser posible la reubicación total de estructuras en aquellos casos de taludes críticos, es conveniente hacer modificaciones menores tales como cambios ligeros en la orientación del edificio o en la viabilidad de forma de evitar en dichas zonas cortes altos.
- c) Si existieran numerosas limitaciones que impidieran llevar a cabo las recomendaciones anteriores, es conveniente concentrar estudios detallados en las zonas críticas, concientes, a nivel de anteproyecto, que es muy probable un incremento de costos de construcción debido a la necesidad de obras de contención y estabilización.

El caso expuesto revela la potencia y el alcance de los métodos que utilizan proyecciones hemisféricas para la evaluación de taludes en roca. En general, todas las pruebas cinemáticas previamente descritas en este trabajo, son herramientas valiosas que debe utilizar el geólogo en su estudio a nivel de anteproyecto.

De acuerdo a la misma metodología indicada para el caso de un desarrollo urbano, las pruebas cinemáticas pueden ser realizadas para la selección y estudio del sitio requerido para cualquier obra civil, tales como carreteras, pre-

sas, túneles y vías de aducción.

En la etapa de anteproyecto se pueden cuantificar las evaluaciones de estabilidad asumiendo, en un análisis de no-cohesión, un valor o un rango de ángulos de fricción razonablemente lógico para la litología observada.

Durante el estudio geológico realizado a nivel de anteproyecto es de gran importancia la observación y registro de taludes fallados. En base a las características geométricas y litológicas de los taludes fallados, es posible realizar análisis regresivos de estabilidad partiendo de que en el momento de la falla el factor de seguridad es igual a uno. En este sentido se obtendrán diferentes -- combinaciones de ángulo de fricción y cohesión en el momento de la falla que de finirán una curva en un gráfico ϕ vs c . El mismo análisis regresivo realizado en diferentes taludes fallados de igual litología y condiciones físicas, origi nará otras curvas que teóricamente deberían cortarse en un solo punto pero que en la práctica generalmente definen una zona que permite establecer un rango para los valores de cohesión y fricción en el momento de la falla.

Este tipo de análisis puede también realizarse con la ayuda de las proyecciones hemisféricas y se considera como una extraordinaria información a nivel de anteproyecto.

2. Fase de proyecto

Una vez identificadas y ubicadas las áreas críticas en la fase de anteproyecto, se procederá al estudio detallado de dichas áreas para lo cual será, en general, necesario ejecutar perforaciones, tomar muestras en forma de monolitos y realizar, además, ensayos convencionales, y ensayos de corte según los planos que co rrespondan a las diferentes discontinuidades geológicas. De esta forma se obtendr án los parámetros necesarios para los análisis de estabilidad de taludes, ampli amente expuestos en este trabajo. Los resultados de los análisis conducirán a la toma de decisiones con el fin de definir pendientes seguras de corte y necesidad de estructuras de contención con o sin anclajes.

3. Ejemplo.

A continuación se presenta un ejemplo práctico en el que se muestran en de talle alguna de las fases fundamentales a través de las cuales pasa la metodología hasta ahora ilustrada.

Se trata del análisis de estabilidad de los taludes pertenecientes a un lo te de aproximadamente 3 hectáreas, del área metropolitana de Caracas, des tinado para el emplazamiento de un conjunto residencial.

La topografía es en parte modificada y en parte natural y el aspecto de la estabilidad de los taludes existentes y a ser creados es de importancia fundamental para la optimización, desde el punto de vista geotécnico, de todo el proyecto.

RECONOCIMIENTO LITOLÓGICO - ESTRUCTURAL DE SUPERFICIE (Plano N° 1)

- * Con el objeto de llevar a cabo un detallado análisis de las condiciones estáticas de equilibrio, relativas a las pendientes naturales y de corte artificial existentes en la parcela en estudio, se realizó un reconocimiento geológico de superficie en toda el área de la parcela y, debido a la naturaleza geolitológica de las rocas existentes, se efectuó un sistemático levantamiento geoestructural, concentrado en las zonas más directamente interesadas por la eventual existencia de potenciales condiciones de inestabilidad (principalmente el talud suroeste).
- * Las rocas que constituyen el subsuelo del área en estudio son rocas metamórficas, esencialmente filitas sericíticas y secundariamente esquistos micáceos, pertenecientes a la denominada formación Las Brisas del Grupo Caracas.

Las características generales y fundamentales de estas rocas han sido ampliamente descritas por muchos investigadores y localmente puede destacarse la existencia de un elevado grado de meteorización, que en algunos sectores se manifiesta con la presencia de espesores de suelos residuales de hasta 2.00 metros por debajo de una capa vegetal generalmente pobre y nunca superior a los 0.50 metros de profundidad.

La predominancia de una litología filítica sobre la esquistosa, determina características mecánicas pobres y fuerte incidencia de los agentes de erosión superficial. La socavación es generalizada sobre toda el área y profunda en algunos casos, habiendo contribuido en este sentido la falta de un control y canalización adecuada de las aguas superficiales.

* Desde el punto de vista estructural el área se caracteriza por una marcada anisotropía ligada esencialmente a las discontinuidades de foliación, las mismas que en sitios aislados se encuentran en evidente situación de plegamiento.

Las discontinuidades por diaclasamiento, aunque presentes, revisiten localmente una importancia secundaria, notándose casi siempre falta de continuidad y sistematicidad como consecuencia, probablemente, de un comportamiento general pseudo ductil y plástico de las rocas existentes.

* Los resultados del levantamiento estructural sistemático llevado a cabo, se resumen en el plano N° 1 anexo y se detallan en las figuras de 1 a 7 en las que se reportan gráficamente los resultados de la elaboración estadística de los datos, realizada mediante procedimiento automático por computador.

A este respecto puede observarse que la foliación presenta un patrón de orientación principal con rumbo noroeste - sureste y buzamiento $(20 - 60)^\circ$ hacia el noreste.

Las diaclasas también se presentan en patrón de orientación definido con el rumbo norte-sur y buzamiento sub-vertical $(60 - 90)^\circ$ preferentemente hacia el oeste.

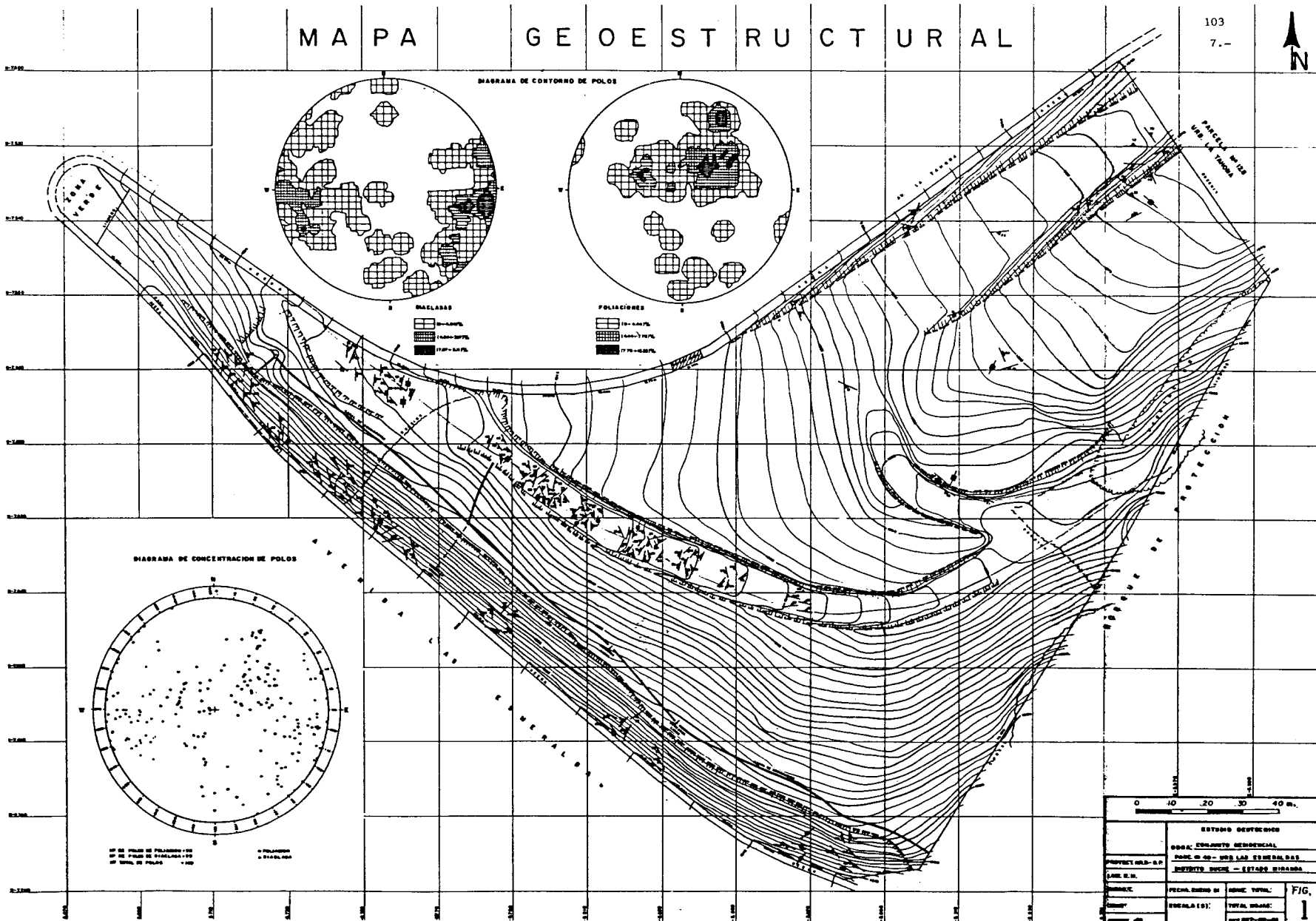
Cabe sin embargo señalar que en los dos casos, no se trata de patrones absolutos, sino predominantes y representativos para los fines de una evaluación general de las condiciones de estabilidad del talud suroeste.

M A P A

G E O E S T R U C T U R A L

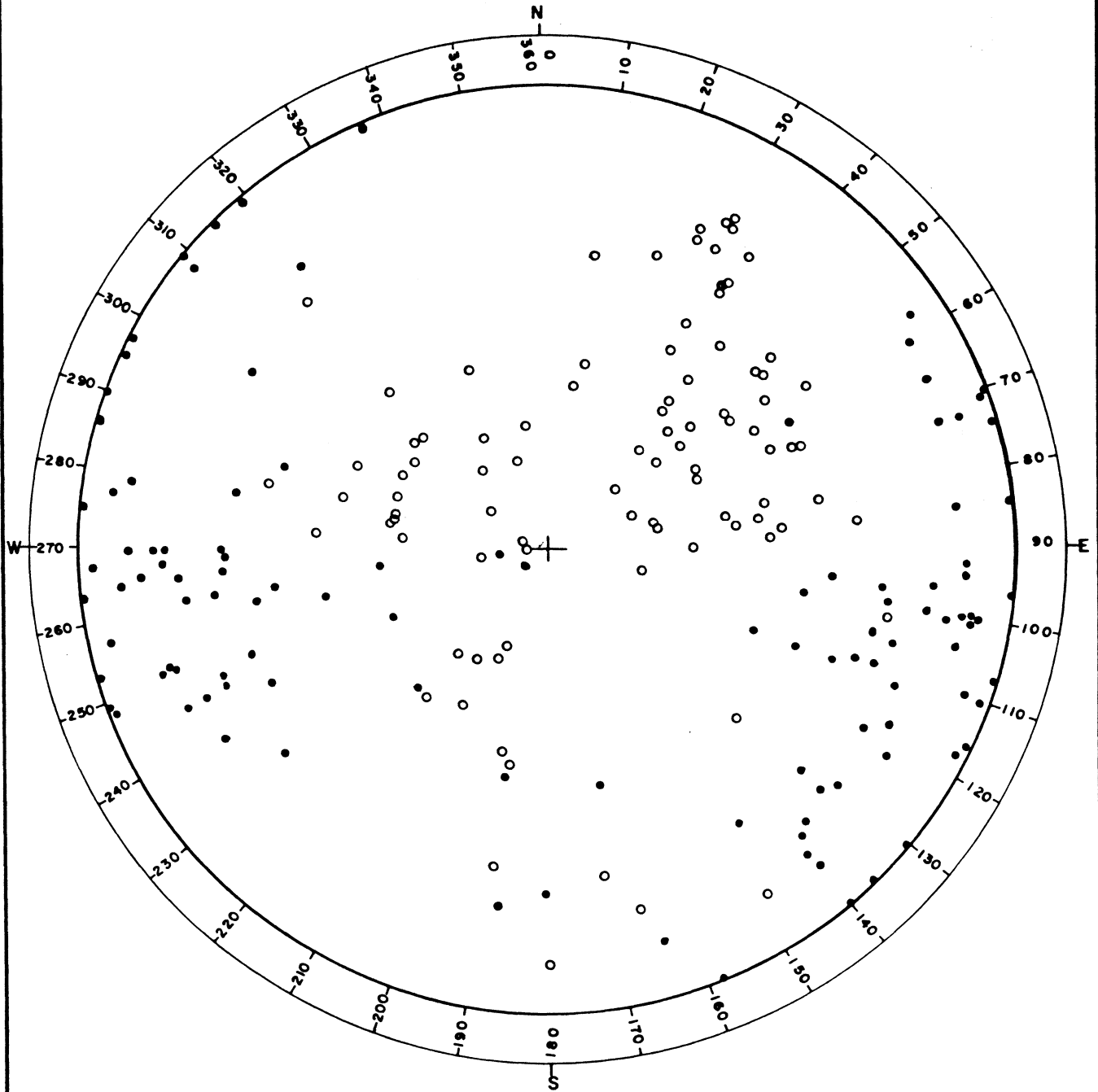
103

7.-



2012 100 1000 1000 1000

DIAGRAMA DE CONCENTRACION DE POLOS (PARCELA 48)



Nº DE POLOS DE FOLIACION = 90
Nº DE POLOS DE DIACLASA = 99
Nº TOTAL DE POLOS = 189

○ FOLIACION
● DIACLASA

FIG.-1-

DIAGRAMA DE CONTORNO DE POLOS DE FOLIACIONES
(PARCELA 48)

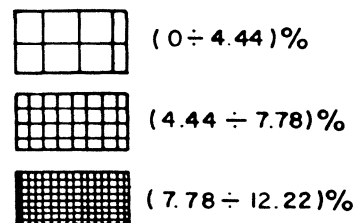
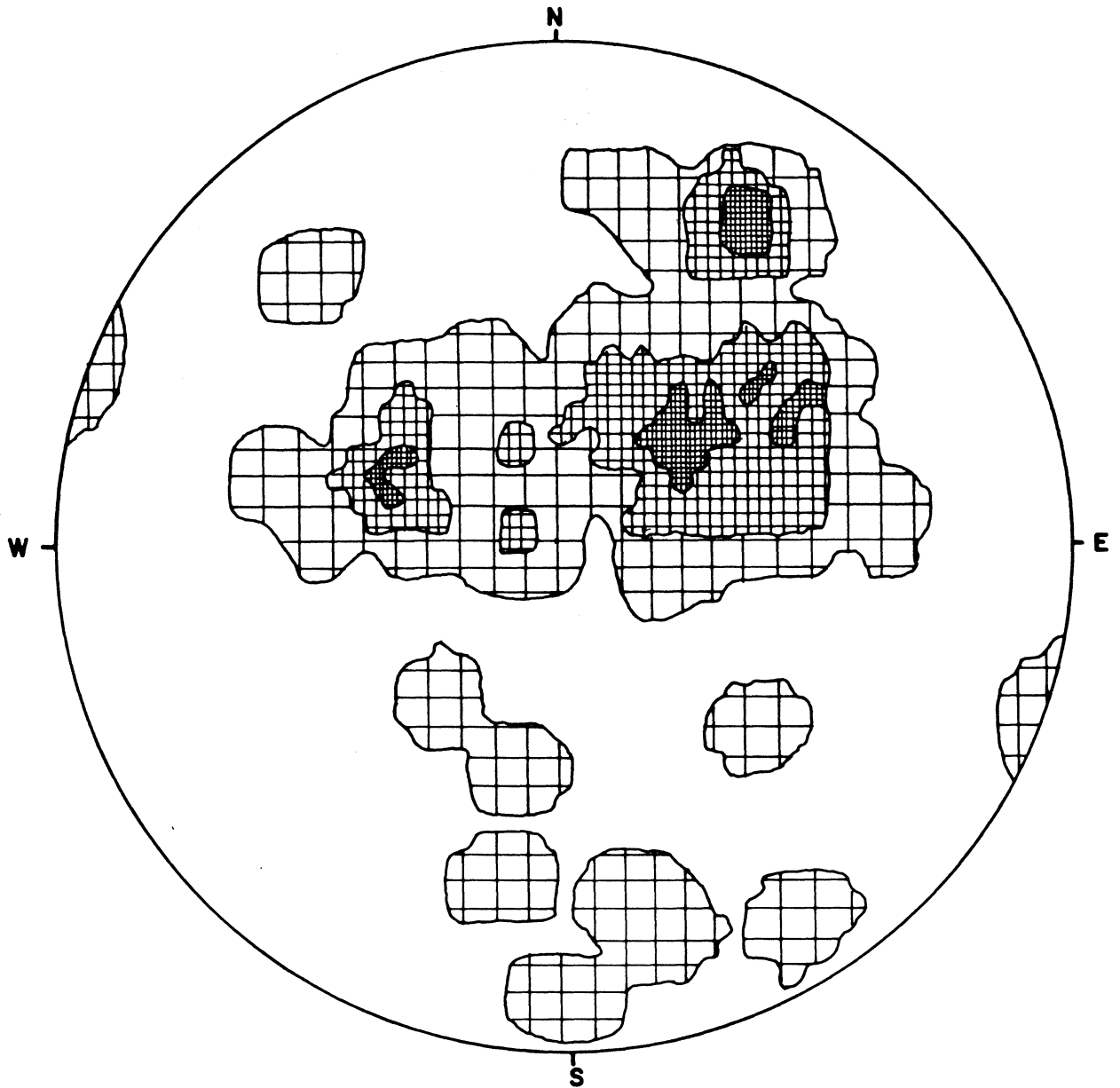


FIG.-2-

DIAGRAMA DE CONTORNO DE POLOS DE DIACLASAS (PARCELA 48)

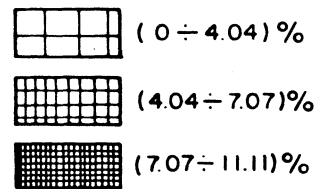
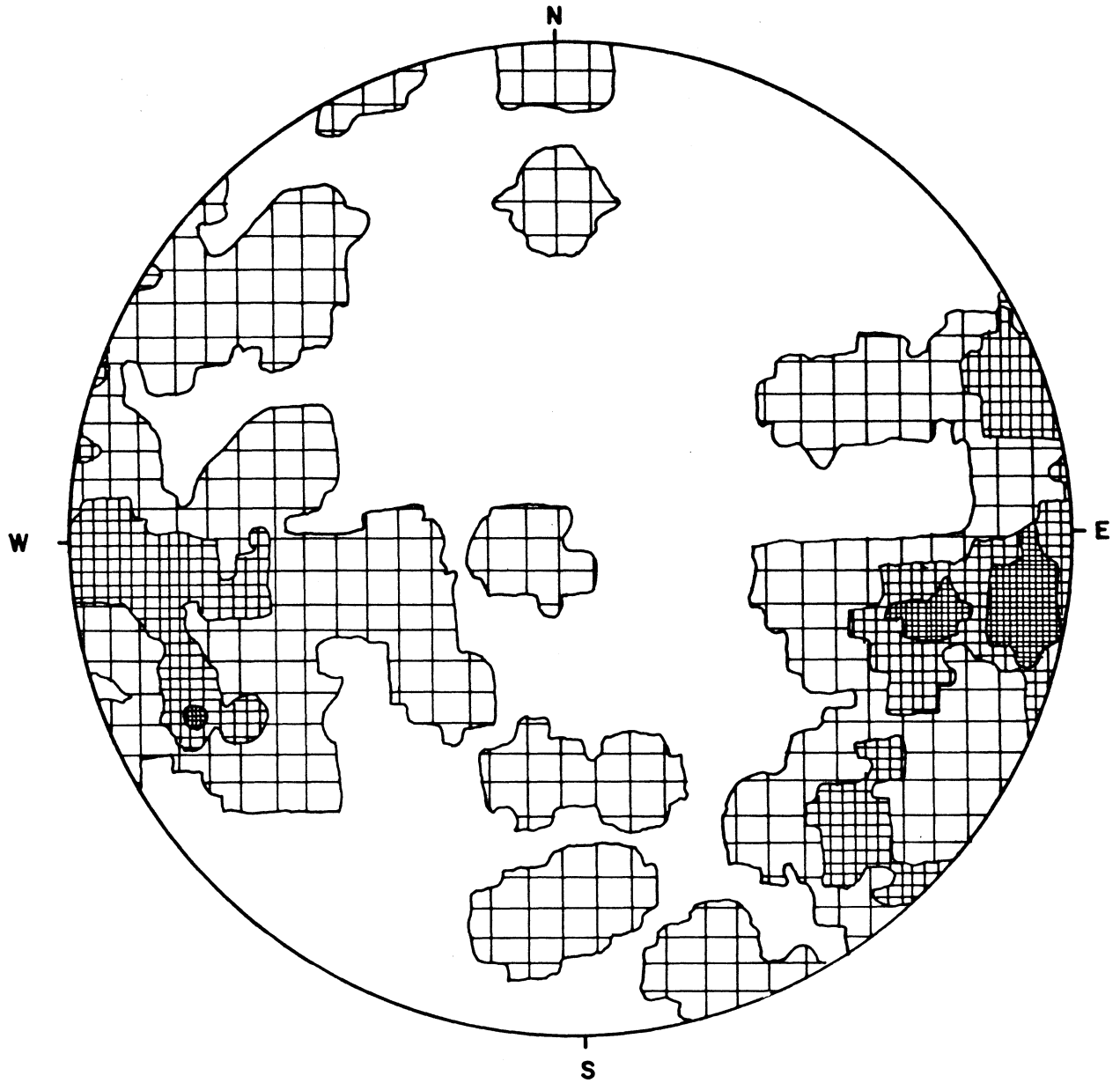


FIG.-3-

DISTRIBUCION ACIMUTAL
ESTRUCTURAS DE FOLIACION
(TALUD SUR - OESTE)

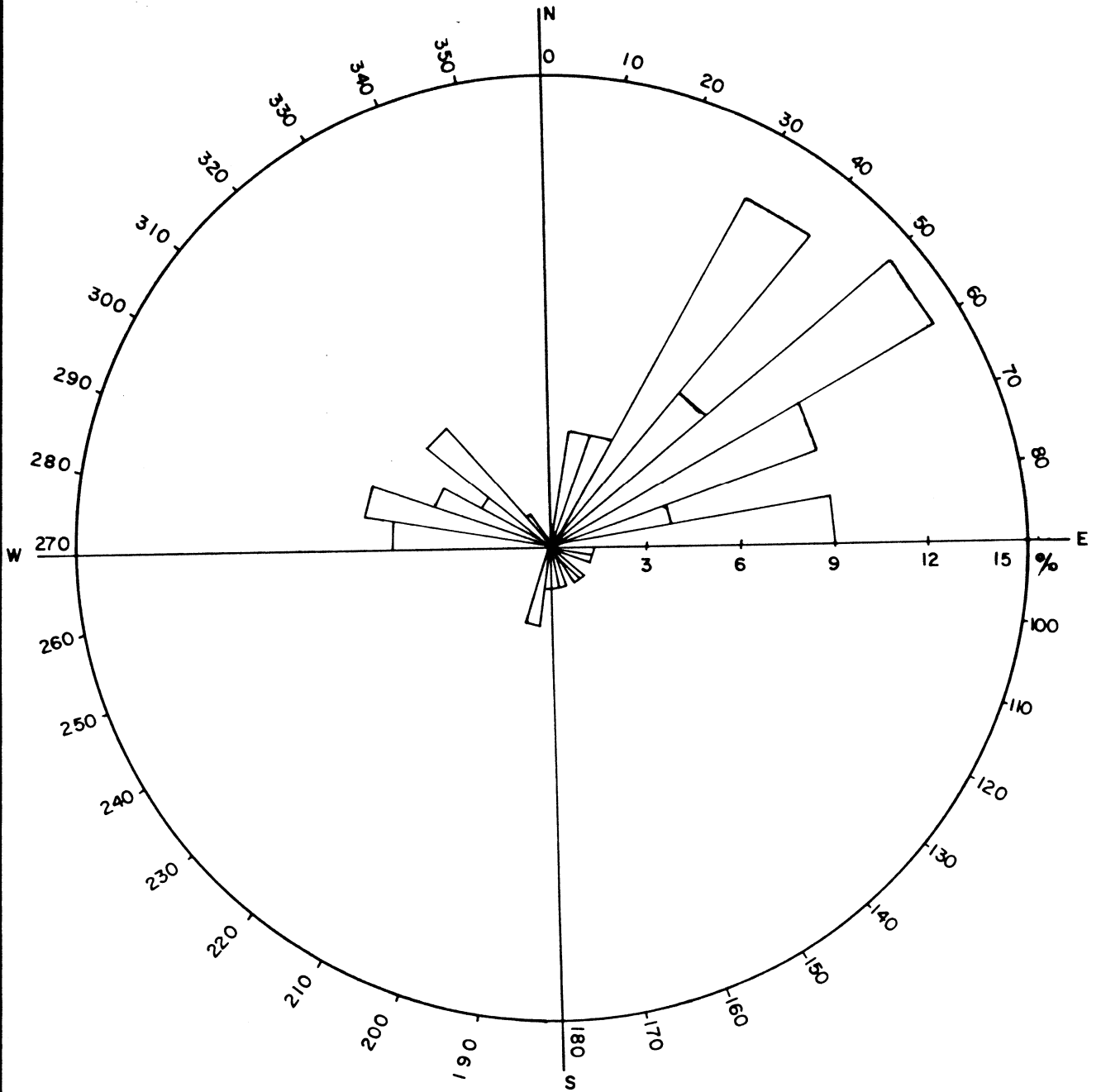


FIG.-4 -

HISTOGRAMA DE BUZAMIENTOS
ESTRUCTURA DE FOLIACION
(TALUD SUR-OESTE)

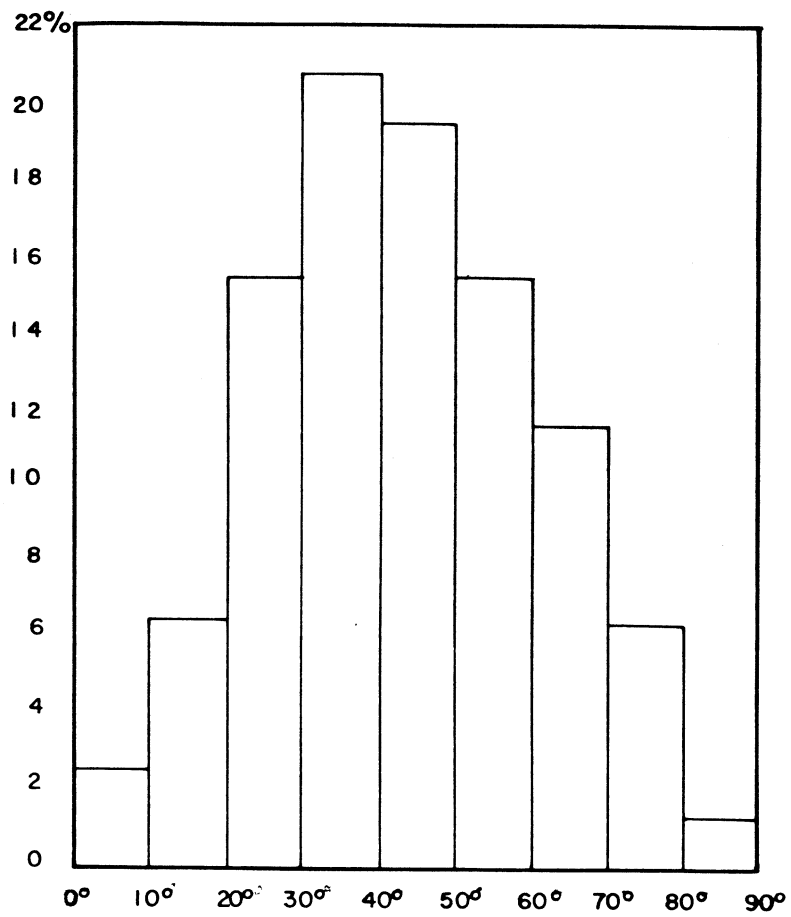


FIG.-5-

DISTRIBUCION ACIMUTAL
ESTRUCTURAS DE DIACLASAS
(TALUD SUR-OESTE)

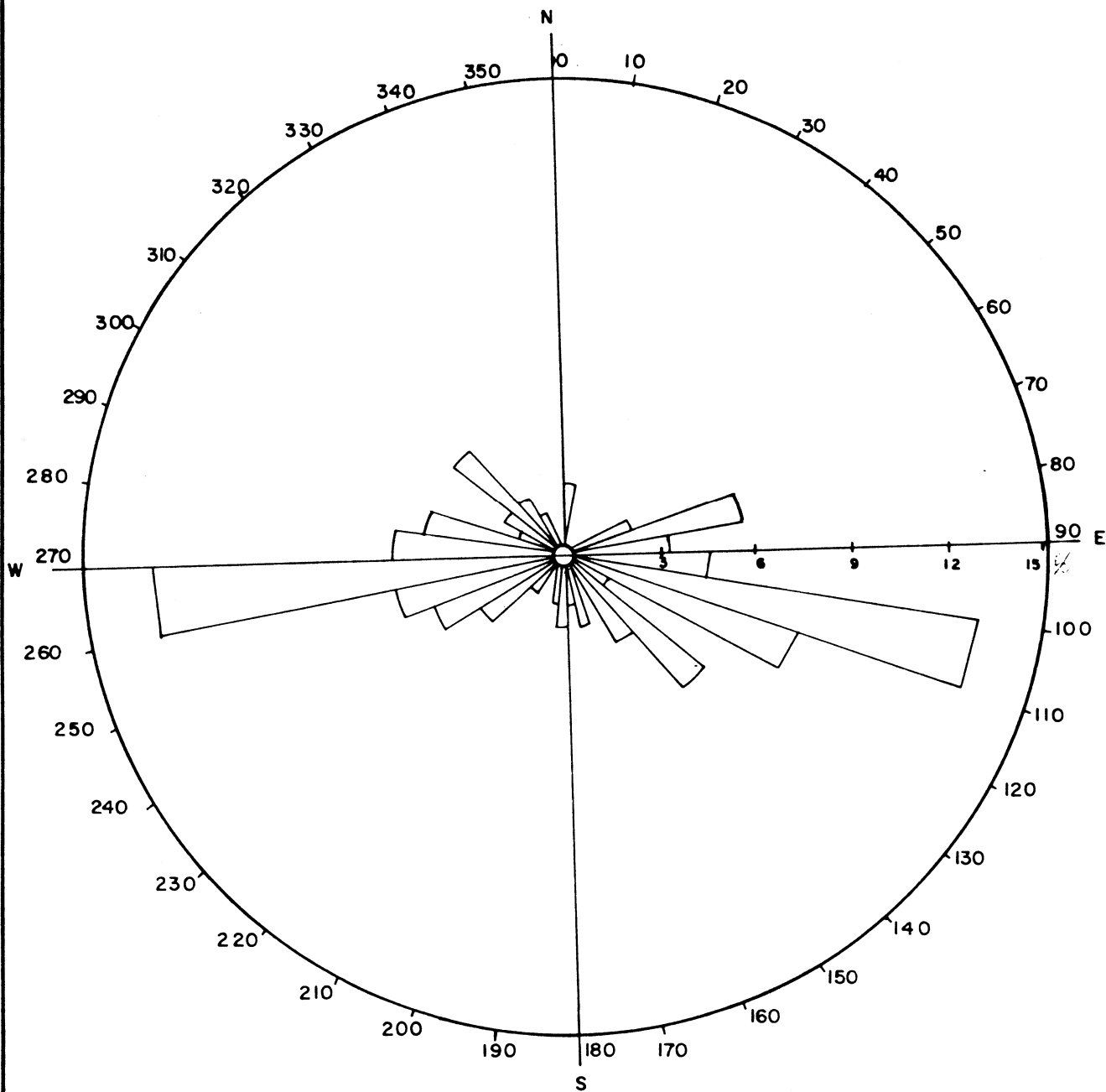


FIG.-6-

HISTOGRAMA DE BUZAMIENTOS
ESTRUCTURAS DE DIACLASAS
(TALUD SUR-OESTE)

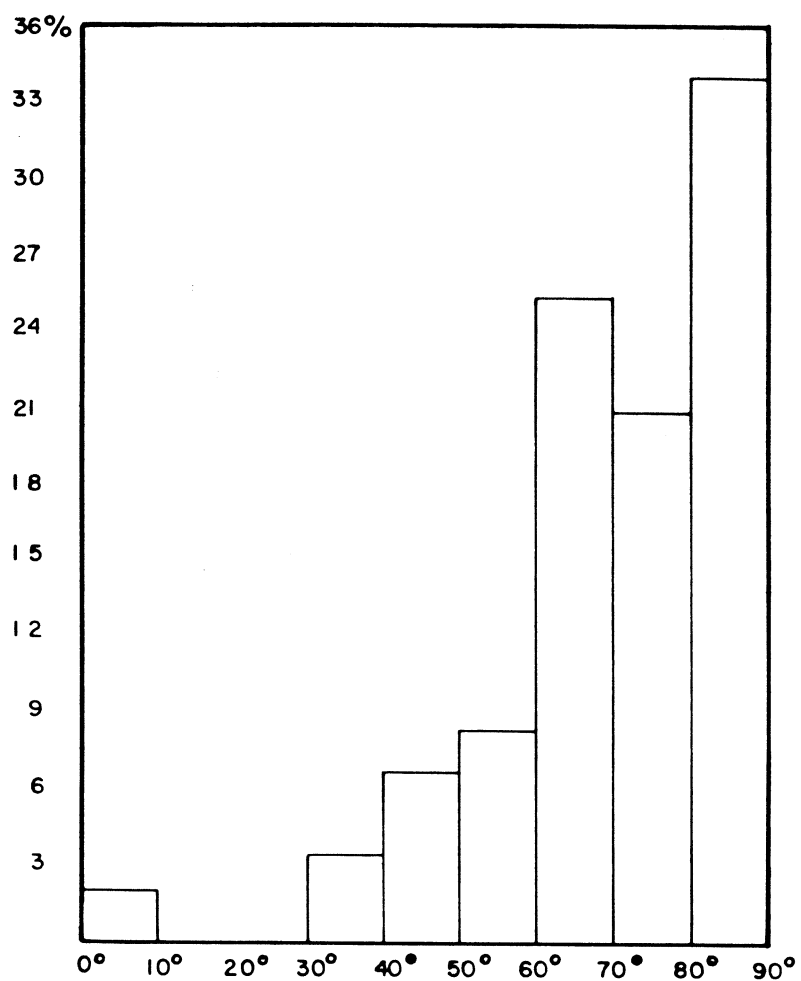


FIG.- 7 -

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD SUR - OESTE (Plano N° 2)

* El análisis del talud sur-oeste pasa a través de las siguientes dos (2) fases principales:

- evaluación global en términos estadísticos.
- evaluación específica de la estabilidad.

En la primera fase se pretende establecer la situación general de la estabilidad geoestructural del talud, mientras que en la segunda fase se llevan a cabo cálculos específicos del factor de seguridad disponible para diferentes secciones representativas del talud.

Análisis general

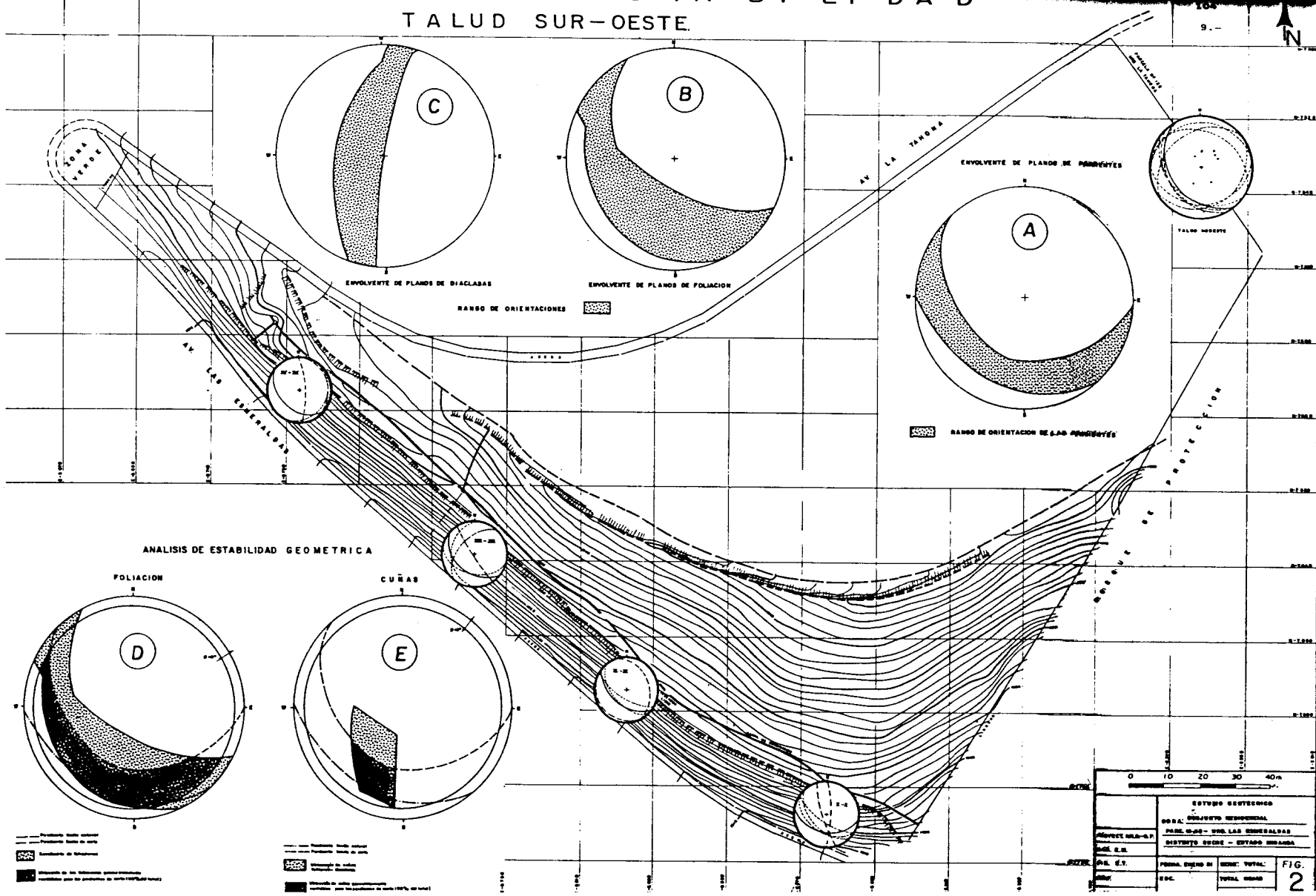
* En la fig. 8, se reporta en proyección hemisférica equiareal, la envolvente de los planos topográficos del talud. El rango de rumbos es bastante definido: norte $(45 - 90)^\circ$ oeste; y el buzamiento, hacia el suroeste, refleja prácticamente los dos valores de 25° y 45° representativos respectivamente de la pendiente natural superior y de la pendiente de corte en la parte inferior del talud.

En las figs. 9 y 10 se reportan las envolventes respectivamente para los planos de foliaciones y de diaclasas, relativos al área del talud suroeste. Estas envolventes han sido trazadas tomando en cuenta solamente los planos de máxima frecuencia de los correspondientes diagramas de contornos de polos que también se indican en las mismas figuras.

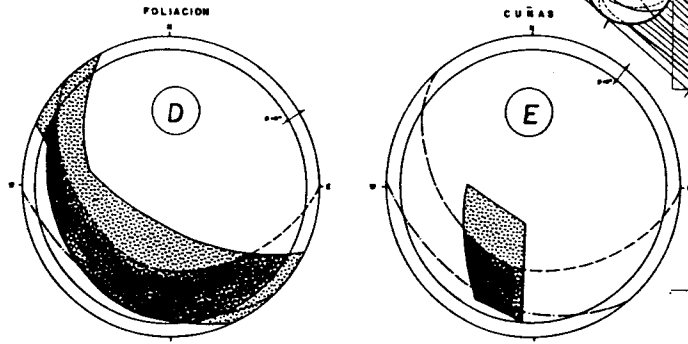
Para las foliaciones el rango de rumbos es norte $(25 - 65)^\circ$ oeste, y el de buzamientos hacia el suroeste es de $(20 - 70)^\circ$.

En las diaclasas el rango de rumbos es norte $(5 - 20)^\circ$ este y el de buzamientos hacia el oeste es de $(55 - 90)^\circ$:

ANALISIS DE ESTABILIDAD TALUD SUR-OESTE



ANALISIS DE ESTABILIDAD GEOMETRICA



...

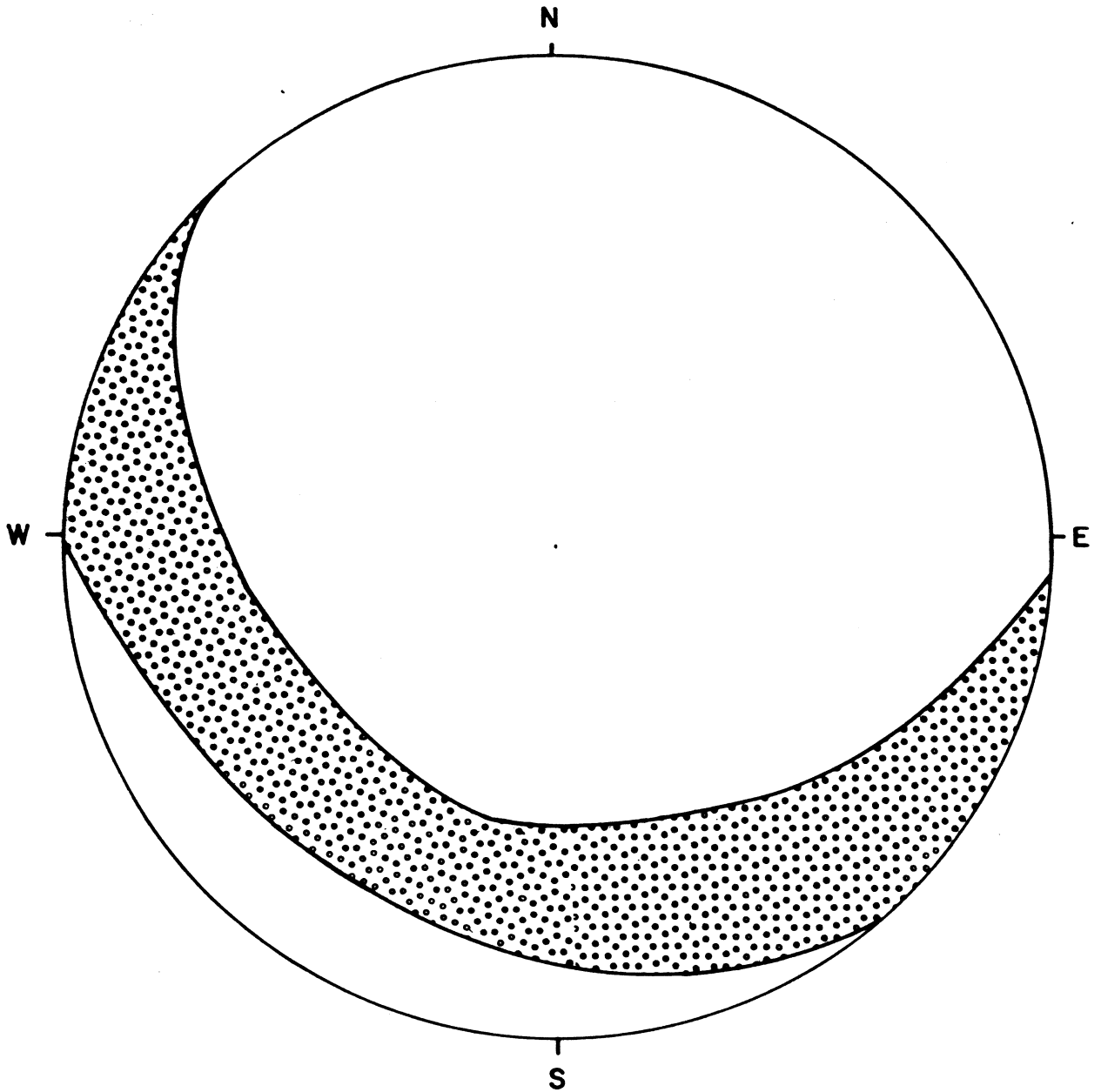
...

...

...

| | |
|--------------------------|-----------------------------------|
| 0 10 20 30 40m | |
| ESTUDIO GEOTECNICO | |
| PARA: OBLIGADO MUNICIPAL | |
| PROYECT. GEOLOGICO | PARTE: 01-00 - OBL. LAS GENERALAS |
| ING. E.S. | DISTRICTO: SUCRE - CIUDAD BOLIVIA |
| PA. E.S. | FECHA: 02/01/81 |
| EDC. | FECHA: 02/01/81 |
| EDC. | FECHA: 02/01/81 |
| FIG. | 2 |

ENVOLVENTE DE PLANOS DE PENDIENTES (TALUD SUR-OESTE)



RANGO DE ORIENTACION DE LAS PENDIENTES

FIG.-8-

ENVOLVENTE DE PLANOS Y DIAGRAMA DE CONTORNO
DE POLOS DE FOLIACION
(TALUD SUR-OESTE)

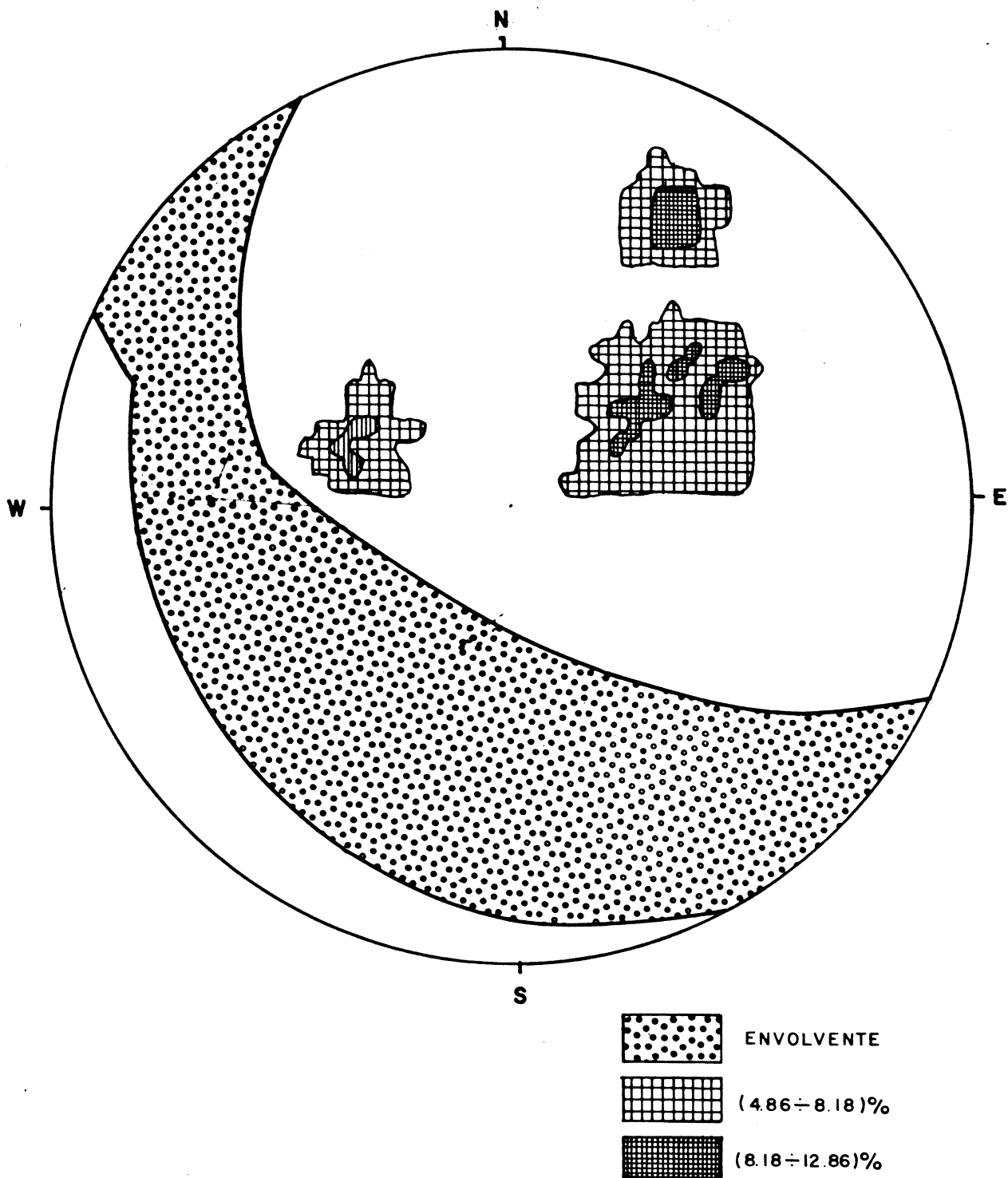
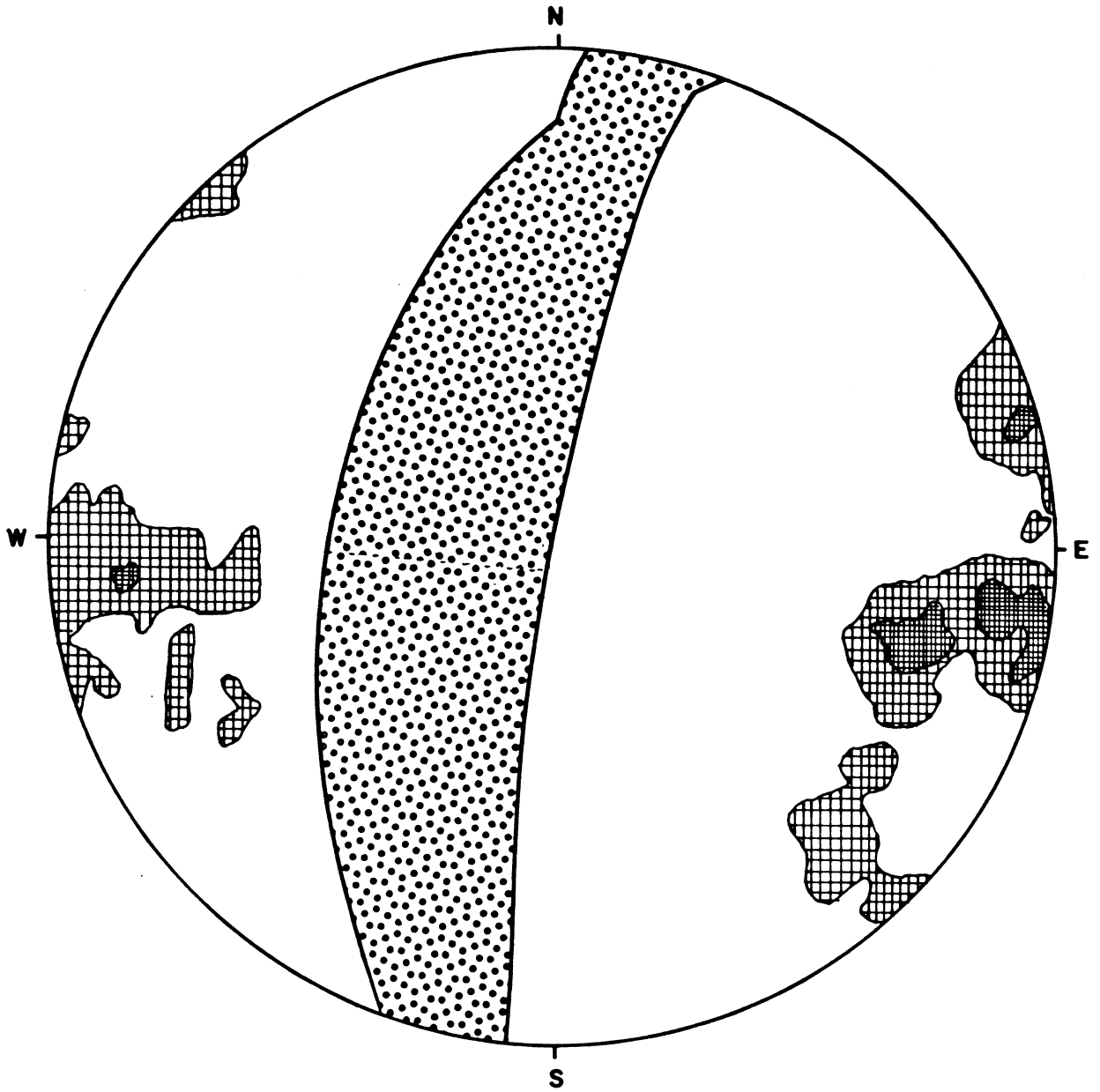



FIG:9-

ENVOLVENTE DE PLANOS Y DIAGRAMA DE CONTORNO DE POLOS DE DIACLASAS (TALUD SUR-OESTE)



 ENVOLVENTE

 (3.83 ÷ 6.70)%


 (6.70 ÷ 10.53)%

FIG.-10-

- * Para lo que se refiere a la estabilidad geoestructural del talud, hay que tomar en cuenta dos órdenes principales de parámetros que la controlan: por un lado las características de resistencia al corte a lo largo de los planos de las discontinuidades geológicas, y por el otro, las ubicaciones relativas entre estos planos de discontinuidad y las orientaciones del talud mismo.

En este orden de ideas pueden producirse las siguientes tres (3) situaciones:

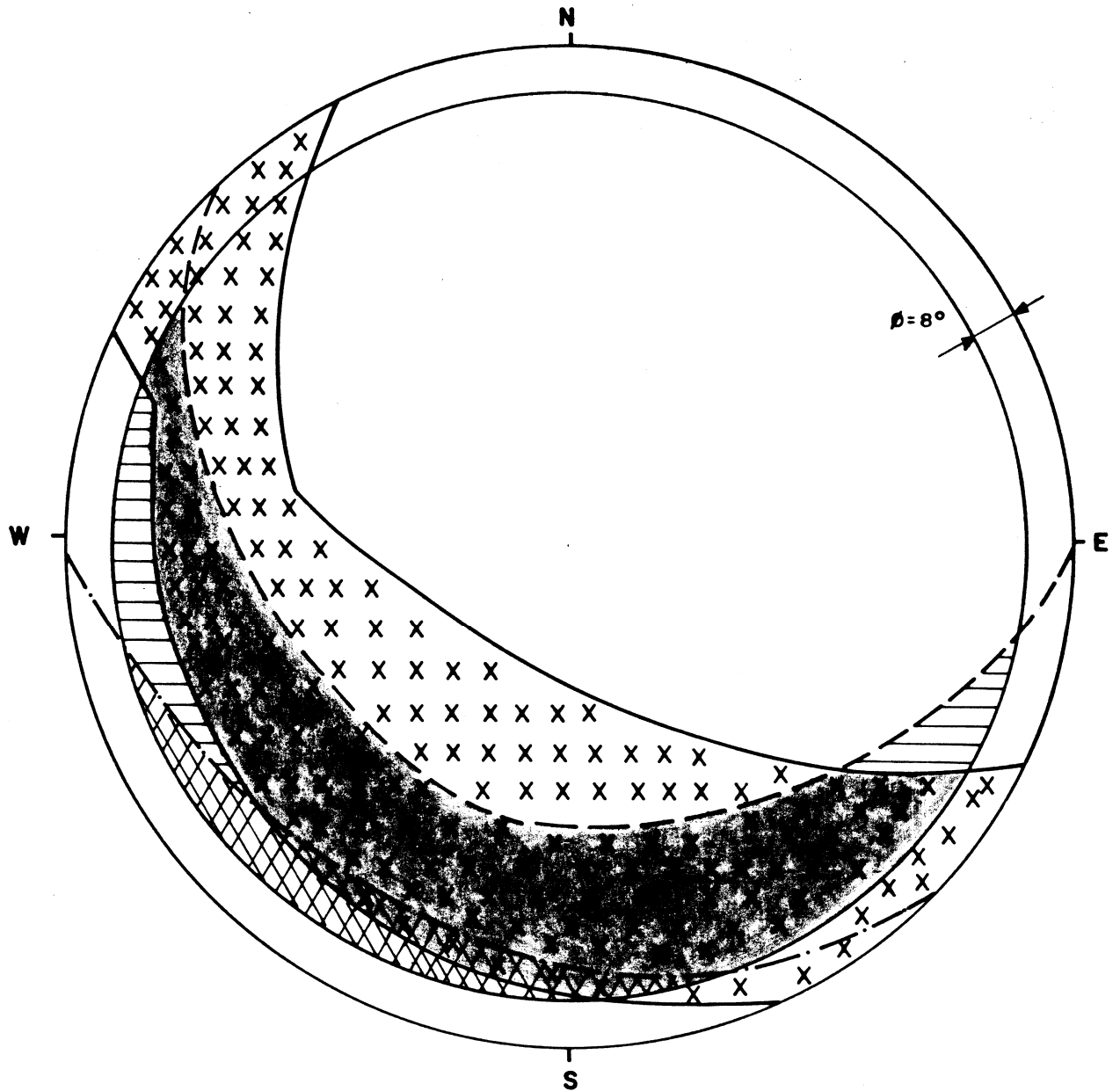
- a) estabilidad cinemática o geométrica; b) inestabilidad cinemática sin estabilidad mecánica y c) inestabilidad efectiva, cinemática y mecánica.

El objeto principal de la primera fase del análisis es justamente el de evaluar en términos globales y estadísticos cual es la distribución cuantitativa de las tres (3) situaciones mencionadas, para el talud en examen y para las dos geometrías posibles de fallas: planas a lo largo de la foliación y de cuñas a lo largo de la intersección foliación - diaclasa.

- * Para el análisis de fallas planas es suficiente superponer entre ellas, las figs. 8 y 9 delimitándose de esta manera la porción de foliaciones en condiciones cinemáticamente inestables (con buzamiento menor que el del talud y rumbo pseudo paralelo al de este). Resultan el 50% de las foliaciones en condiciones cinemáticamente inestables, para las pendientes de corte solamente. (Ver fig. 11).

Para el análisis de fallas de cuñas, primero es necesario superponer entre ellas las figs. 9 y 10, obteniéndose el área de ubicación de las líneas de cuñas foliaciones - diaclasas (ver fig. 12), y sucesivamente superponer la figura con la mencionada área a la fig. 9 de las pendientes del talud; de esta manera se delimita, igualmente el caso de fallas planas, la porción de cuñas en condiciones

ANALISIS DE ESTABILIDAD GEOMETRICA DE FOLIACIONES TALUD SUR-OESTE



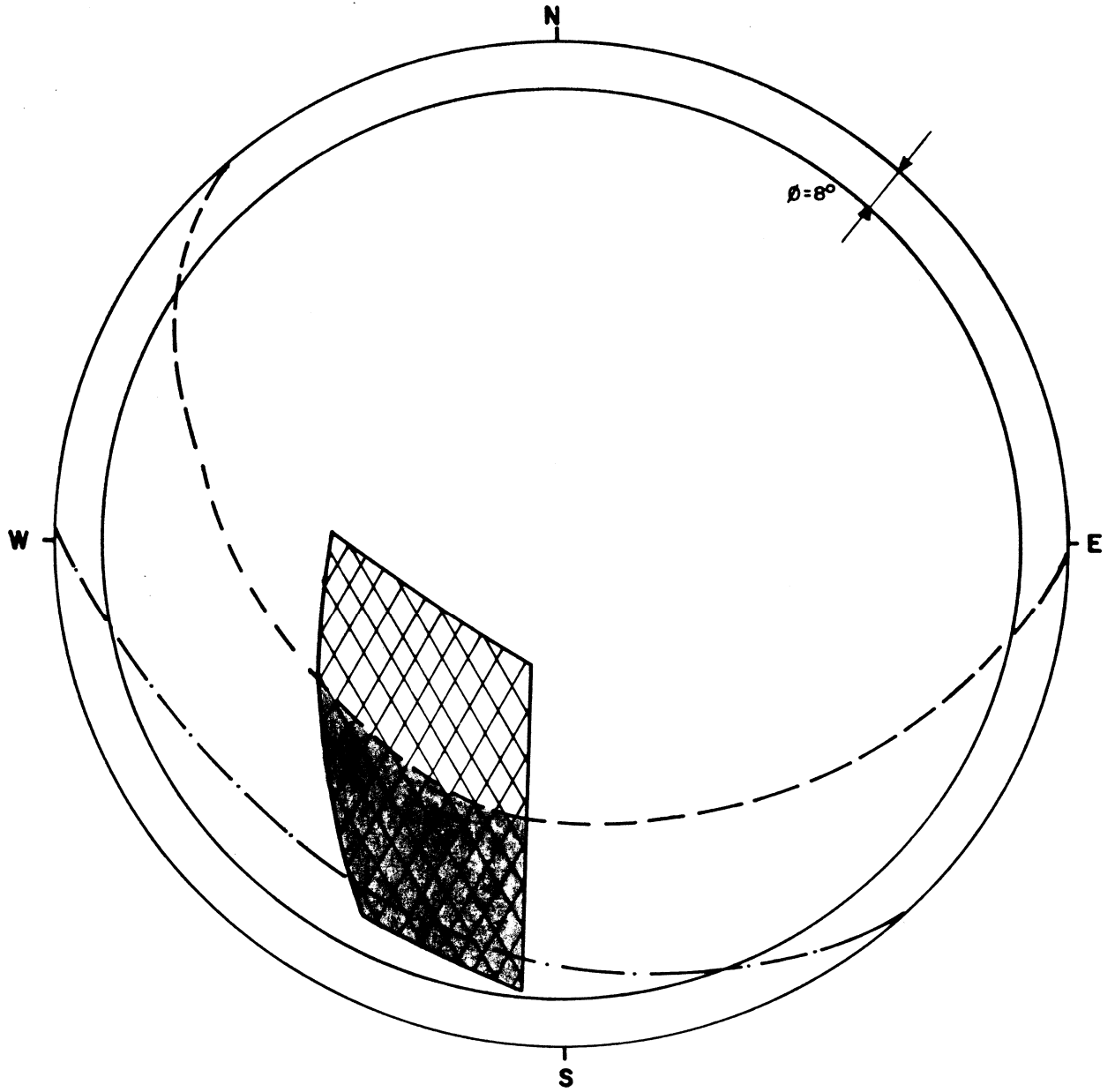
- Pendiente limite natural.
- Pendiente limite de corte.
- | |
|-------|
| X X X |
| X X X |

 Envolverte de foliaciones
- | |
|--|
| |
|--|

 Ubicación de las foliaciones geomericamente inestables para las pendientes de corte (50% del total.)

FIG.-11-

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD GEOMÉTRICA DE CUÑAS (TALUD SUR-OESTE)




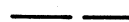


-  Pendiente limite natural.
-  Pendiente limite de corte.
-  Ubicación de cuñas foliación - diaclasas
-  Ubicación de cuñas geoméricamente inestables para las pendientes de corte (50% del total)

FIG.-12 -

cinemáticamente inestables (las con buzamiento menor que el del talud y rumbo pseudo perpendicular al de este). Resultan el 50% de las cuñas en condiciones cinemáticamente inestables para las solas pendientes de corte (ver fig. 12).

En ambos casos, puede considerarse que con respecto a las pendientes del talud correspondientes a la porción superior natural de este, prácticamente no existen condiciones de inestabilidad cinemática (los buzamientos de foliaciones y cuñas son superiores al del talud).

- * A este punto se trata de definir las condiciones de estabilidad en términos mecánicos, o sea tomando en cuenta, obviamente para las solas condiciones correspondientes a inestabilidad cinemática, la contribución de la resistencia al corte de las rocas. Para esto se hace necesaria la estimación de los dos parámetros mecánicos que entran en juego: fricción y cohesión a lo largo de las discontinuidades geológicas presentes.

A este respecto, a falta de ensayos de corte específicos realizados sobre las rocas del talud en estudio, y en base a nuestra experiencia directa e indirecta sobre el comportamiento mecánico de rocas de la misma especie y en similares condiciones físico - mecánicas de las rocas en cuestión, pueden estimarse los siguientes rangos entre los cuales deben encontrarse los valores efectivos de los parámetros mencionados:

$$\begin{aligned} \text{fricción } \bar{\theta} &= (8 - 10)^\circ \\ \text{cohesión } \bar{c} &= (2 - 4) \text{ Ton/m}^2. \end{aligned}$$

Se trata de parámetros a largo plazo y correspondientes a los planos de foliación, que en este caso justamente controlan la dinámica de la estabilidad.

- * Utilizando aún las técnicas de la proyección hemisférica pueden evaluarse los factores de seguridad para los diferentes casos de inestabilidad eventual, tomando en cuenta la resistencia ofrecida al corte.

En primera aproximación, utilizando el ábaco que se reporta en la fig. 13, puede evaluarse el ángulo " θ_c " de fricción equivalente al efecto de la cohesión, para el caso de fallas planas y para una dada geometría del problema y peso unitario " γ " de la roca. Considerando $\theta = 9^\circ$ y $c = 3 \text{ Ton/m}^2$ se obtiene, para $\gamma = 2 \text{ Ton/m}^3$, $\beta = 35^\circ$ (valor medio), $L = 35 \text{ m}$ y $P = 120 \text{ Ton}$, un valor de $K = 1.05$, de $\theta_c = 40^\circ$ y un ángulo equivalente $\theta_e = \theta + \theta_c = 9 + 40 = 49^\circ$.

Aunque el ábaco de la fig. 13 no tiene validez para el caso de cuñas, el valor de θ_c obtenido puede ser aplicado con sentido conservador también para este tipo de falla.

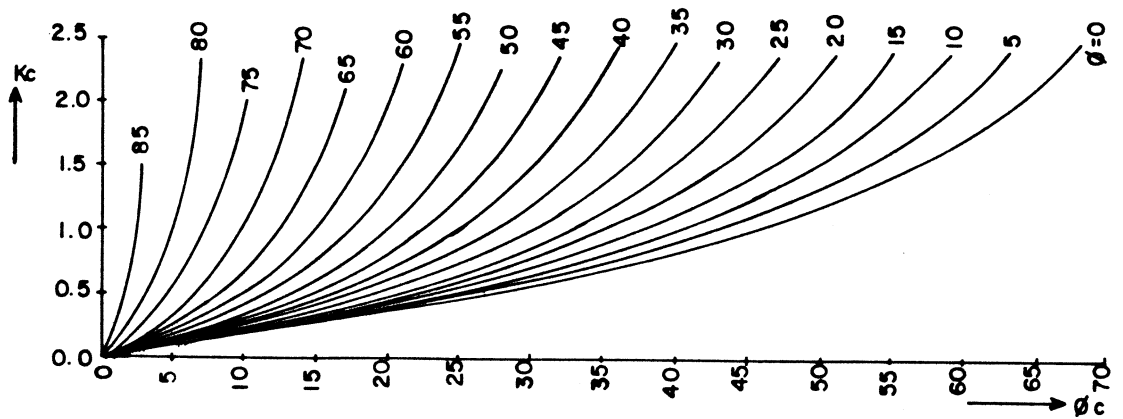
El factor de seguridad mínimo vale:

$$F_s \text{ min} = \frac{\text{Tang } \theta_e}{\text{Tang } \beta_{\text{max}}} = \frac{\text{Tang } 49^\circ}{\text{Tang } 45^\circ} = 1.15$$

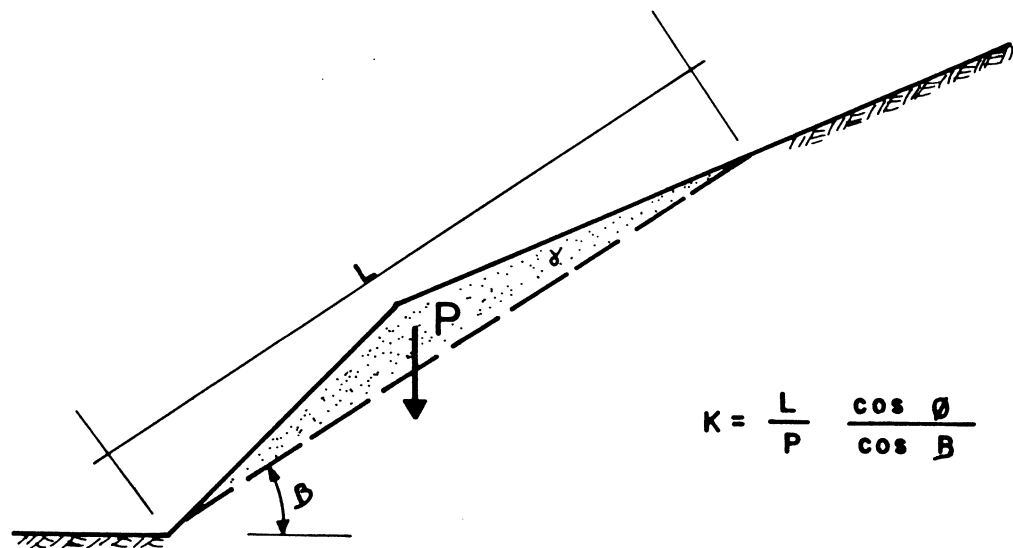
mientras que el factor de seguridad medio vale:

$$F_s \text{ medio} = \frac{\text{Tang } 45^\circ}{\text{Tang } \beta \text{ medio}} = \frac{\text{Tang } 49^\circ}{\text{Tang } 35^\circ} = 1.64$$

- * Las conclusiones de esta primera fase de análisis general indican que el talud en estudio es mecánicamente estable en términos generales, siendo su porción superior natural, cinemáticamente estable y su porción inferior de corte, cinemáticamente inestable (al 50%) pero mecánicamente estable. Sin embargo lo anterior implica también la posibilidad de que localmente puedan concurrir circunstancialmente las condiciones más desfavorables y dar lugar al esta-



Angulo de fricción (ϕ_c) equivalente al efecto de la cohesión (c) para diferentes valores del ángulo de fricción real (ϕ) y del parámetro (k) característico de la geometría del talud y del peso específico del volumen deslizable. (PERRI, 1978).



$$k = \frac{L}{P} \frac{\cos \phi}{\cos B}$$

FIG.-13-

blecimiento de factores de seguridad cercanos al valor mínimo de 1.15, lo que a su vez indicaría la existencia de condiciones de equilibrio límite precarias y susceptibles de transformarse en fenómenos de inestabilidad localizados.

Análisis local.

- * Se analizaron cuatro (4) secciones representativas del talud sur oeste llevando a cabo un análisis local con cálculo de los factores de seguridad específicos correspondientes a las secciones analizadas.

En las figs. 14 a 17 se representan en proyecciones hemisféricas las estructuras analizadas, habiéndose considerado el sólo talud de corte y las discontinuidades geológicas correspondientes a cada sección. Las mismas representaciones se resumen en el plano N° 2 anexo en el que también se indica la ubicación de las secciones analizadas.

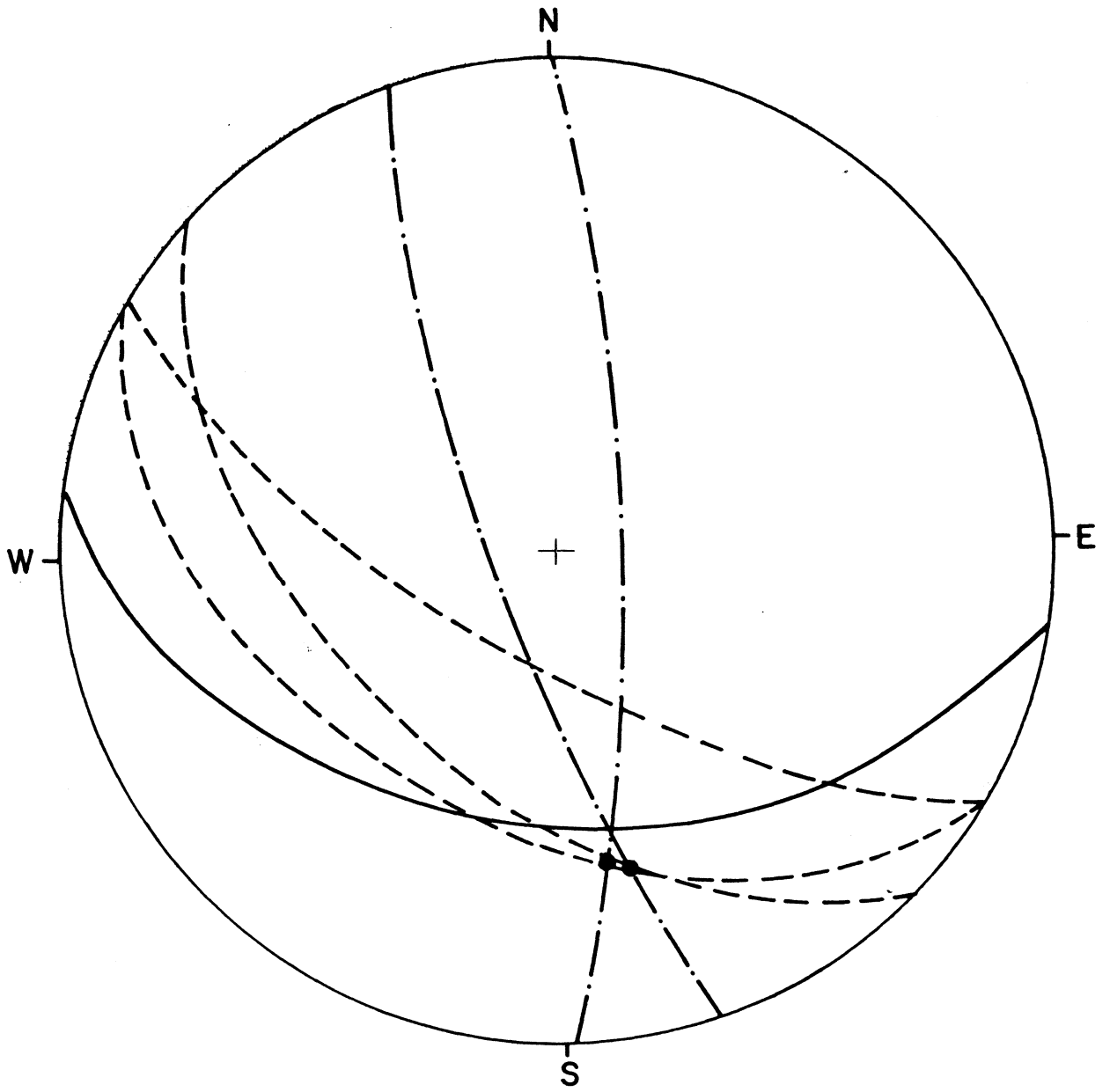
De estas representaciones se puede observar que, con respecto a inestabilidad de tipo plano, todas las secciones analizadas se encuentran en condiciones de estabilidad cinemática; y con respecto a la inestabilidad de tipo cuña, solamente las secciones I-I y II-II se encuentran en condiciones de inestabilidad cinemática.

- * Por lo tanto solamente para estas últimas se calcularon los factores de seguridad correspondientes a la situación mecánica.

A tal efecto se asignaron los siguientes parámetros de resistencia al corte para las discontinuidades involucradas:

| | | |
|-------------|------------------------|---------------------------|
| foliaciones | $\emptyset = 9^\circ$ | $c = 2 \text{ Ton/m}^2$ |
| diacclasas | $\emptyset = 18^\circ$ | $c = 0 \text{ Ton/m}^2$. |

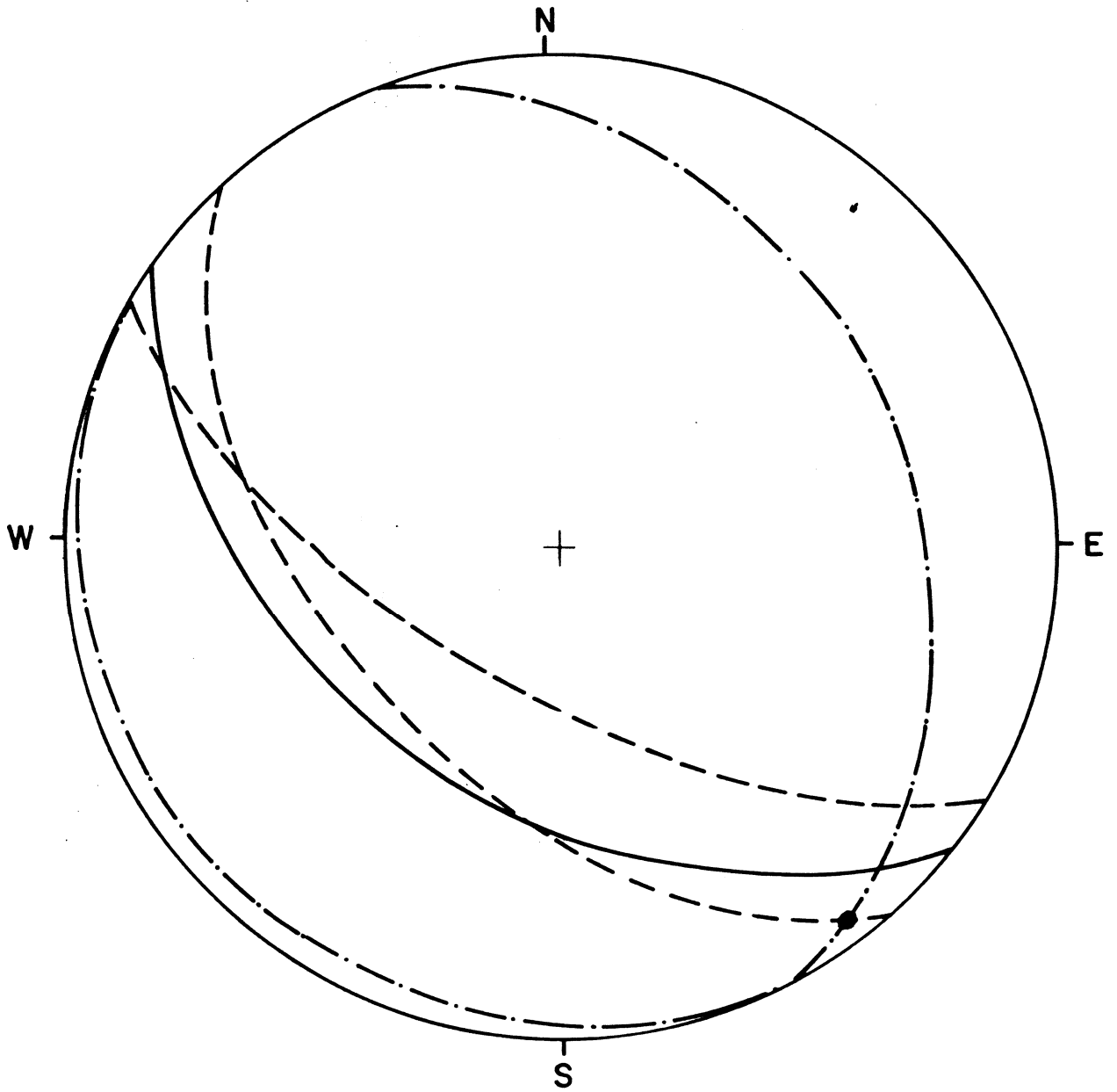
SECCION I-I



- TALUD DE CORTE
- FOLIACIONES
- · - DIACLASAS

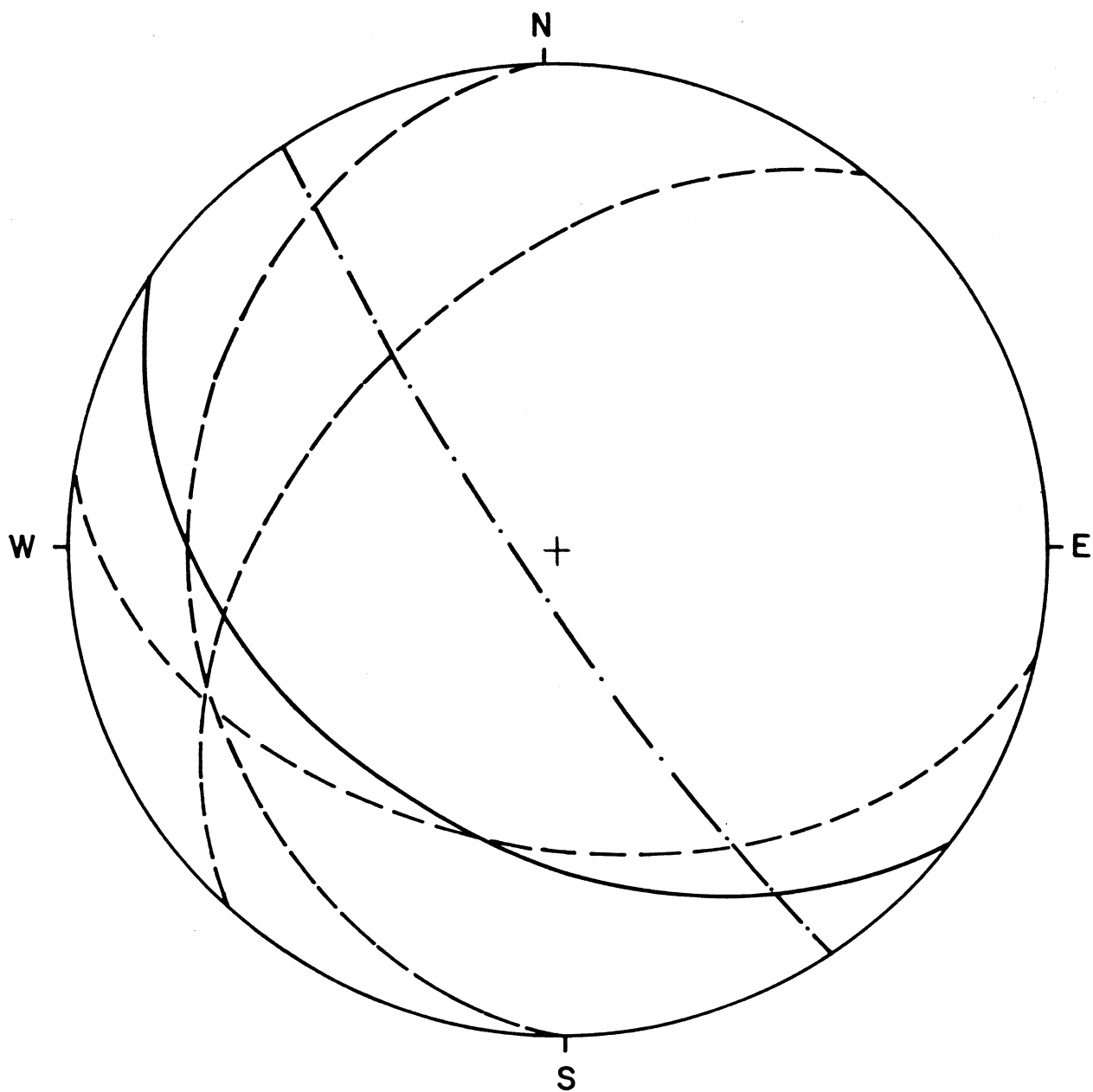
FIG.-14-

SECCION II-II



- TALUD DE CORTE
- - - FOLIACIONES
- . - DIACLASAS

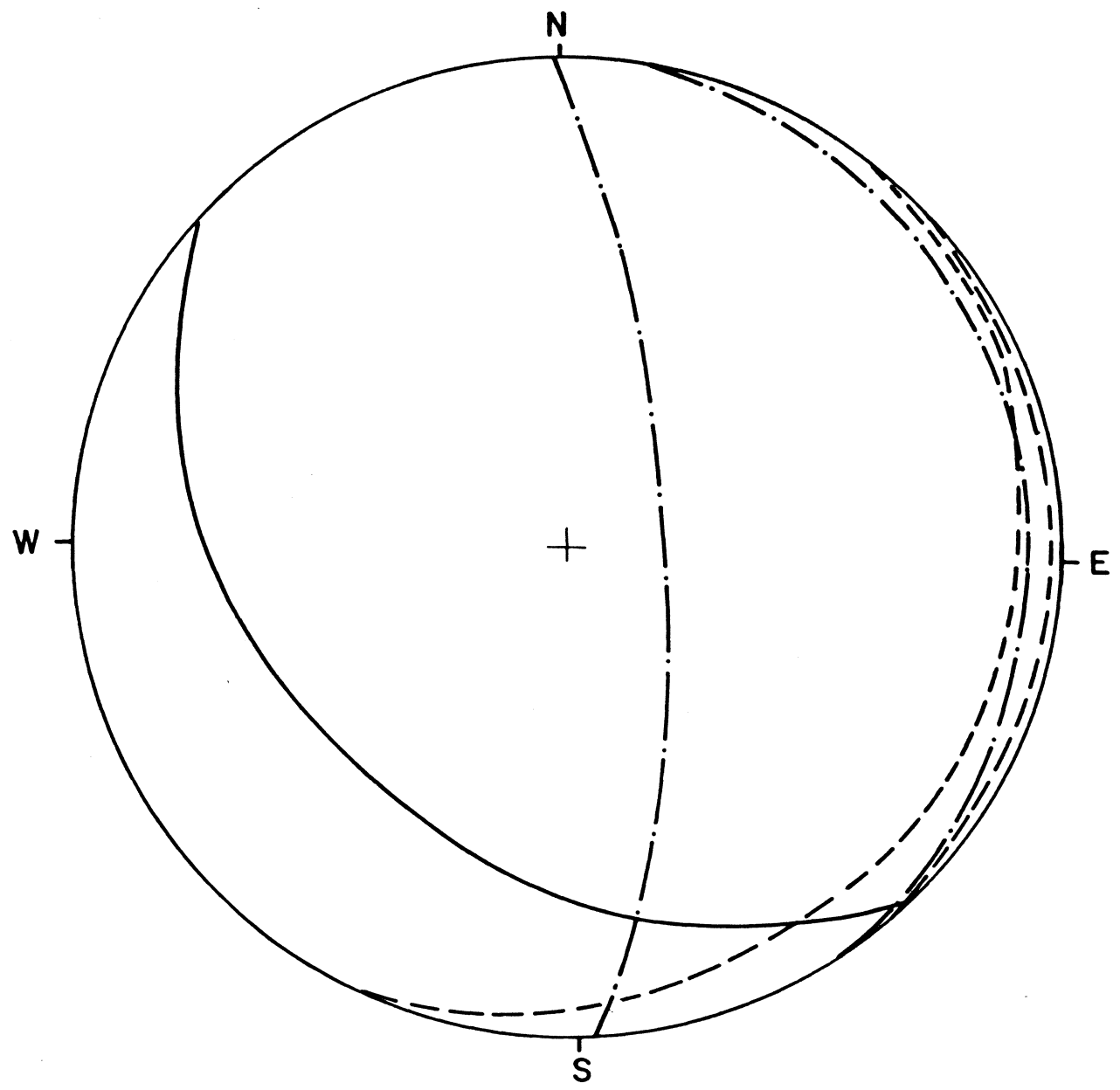
FIG.- 15 -

SECCION III - III

——— TALUD DE CORTE
- - - - FOLIACIONES
- DIACLASAS

FIG.- 16 -

SECCION IV - IV



——— TALUD DE CORTE
- - - - FOLIACIONES
- . - . - DIACLASAS

FIG.-17-

Mediante programa de computadora se realizaron los cálculos y de ellos se desprende que el factor de seguridad mínimo es de $F_{\min} = 1.28$ correspondiente a la sección I - I, confirmándose en general los resultados y las conclusiones del anterior análisis general.

—————//—————

APLICACION DE LOS METODOS A LAS ROCAS METAMORFICAS QUE CONSTITUYEN LAS COLINAS ALREDEDOR DE CARACAS

Un aspecto de importancia que es necesario destacar en este trabajo es la posibilidad de utilizar la metodología de proyecciones hemisféricas, para evaluar y analizar problemas de estabilidad de taludes en colinas formadas por rocas metamórficas meteorizadas, tales como las que constituyen las colinas alrededor de Caracas.

Es indudable que los métodos de estabilidad antes descritos, se refieren solamente a macizos rocosos en los cuales cualquier tipo de movimiento o rotura estaría controlado por la resistencia al esfuerzo cortante en las discontinuidades de la roca; en estos casos se asume que la resistencia al corte en las discontinuidades es mucho menor que la resistencia de la roca misma.

A medida que avanza la meteorización, las rocas van perdiendo sus características originales hasta un punto donde su comportamiento geomecánico se hace independiente de la orientación de las discontinuidades y la rotura ocurre como en una masa de suelo; en estos casos se aplican los métodos convencionales de estabilidad de taludes en suelos.

Las rocas metamórficas que constituyen las colinas que bordean el valle de Caracas, presentan variados grados de meteorización según su localidad. Por este motivo quedará a juicio del geólogo de campo si su comportamiento se asemeja más al de una roca o al de un suelo. Para los casos intermedios suelo-roca, donde existan dudas sobre su verdadero comportamiento, es recomendable atacar el problema bajo los dos criterios, es decir, analizando el talud primeramente como si fuera un suelo y luego asumiendo que la orientación de las discontinuidades controlan su comportamiento. En base a los resultados de ambas metodologías el juicio profesional y la experiencia previa en los materiales conducirá a optimizar la decisión.

Es bueno destacar que si bien es cierto que una roca muy meteorizada a descompuesta se comportará en forma más semejante a un suelo, existen muchos factores geológicos que deben ponderarse para conocer sus efectos en la estabilidad

Por ejemplo, un talud analizado por métodos convencionales de suelos puede dar como resultado un factor de seguridad de 1.20 (fuerzas resistentes/fuerzas activas), sin embargo, si los vestigios de planos de foliación reflejan orientaciones cinemáticamente inestables, el valor del factor de seguridad no sería suficiente para garantizar la estabilidad de dicho talud. Por otro lado si los planos de foliación visibles son obsecuentes (en sentido contrario a la pendiente del talud), no existen diaclasas buzando hacia el talud y se observaron vetas de cuarzo más resistentes que la roca meteorizada, el factor de seguridad de 1.20 podría considerarse suficiente para la definición estable del talud.

CONCLUSIONES FINALES

1. La investigación bibliográfica realizada respecto al uso de proyecciones hemisféricas en estabilidad de taludes, ha permitido condensar en este trabajo, varias contribuciones que han sido complementadas con experiencias del autor en la práctica de la profesión. Los ejemplos prácticos incluidos facilitarán al lector no familiarizado con la metodología, el entendimiento e interpretación del procedimiento de evaluación y análisis de taludes en macizos rocosos.
2. El uso de proyecciones hemisféricas para la evaluación y análisis de estabilidad de taludes en macizos rocosos, se considera como una herramienta poderosa en el estudio y proyecto de obras civiles. Su utilización permitirá anticipar problemas de estabilidad de taludes a nivel de anteproyecto, introduciendo los cambios y modificaciones necesarios para llevar a cabo un proyecto satisfactorio, con un mínimo de problemas.
3. Los métodos de proyecciones hemisféricas permiten enfocar los problemas de estabilidad en forma tridimensional, como realmente ocurren, evitando el uso de la práctica ingenieril común de reducir todos los análisis a una sección bidimensional.
4. La metodología de proyecciones hemisféricas permite la incorporación, a los análisis de estabilidad, de fuerzas debidas a aceleraciones sísmicas de cualquier dirección, fuerzas debidas a presiones hidráulicas y fuerzas de contención tales como anclajes, muros y bermas. Aún cuando en estos análisis normalmente solo se utiliza la componente friccional de la resistencia al corte, existen procedimientos mediante los cuales es posible incluir el efecto de la resistencia cohesiva.
5. La selección de los parámetros de resistencia al corte tiene mucha influencia en los análisis de estabilidad de macizos rocosos, por lo tanto, es preciso conocer y evaluar todos los factores que influyen en su determinación.
6. Aún cuando las diferentes metodologías presentadas tienen muchos factores en común, la experiencia en su uso permite concluir que:

- a) La metodología de Klaus John está directamente orientada al ingeniero práctico, tratándose de un procedimiento simple y rápido que puede también ser adaptado a problemas especiales.
- b) Los métodos presentados por Branthoover y Richards y por Panet y Struillou, pueden utilizarse en forma confiable en el diseño de taludes en roca para cortes de carreteras.
- c) Las metodologías de Goodman, Hoek y Bray, son muy completas y aplicables a variadas condiciones de estabilidad en todo tipo de obras, tales como excavaciones mineras o cualquier talud natural y de corte relacionado con vías, túneles, presas, edificaciones.
- d) El enfoque presentado por Londe et. al. es laborioso para cálculos a mano, siendo preferible utilizar programas de computadora. Su metodología ha sido aplicada con éxito en el estudio y proyecto de presas.

7. Las limitaciones de la metodología descrita son las siguientes:

- a) Solo pueden ser usados en macizos rocosos donde la roca intacta tiene una alta resistencia y la rotura solo puede ocurrir a lo largo de discontinuidades geológicas existentes en la roca tales como foliación, estratificación, diaclasas, fallas.
- b) En rocas descompuestas y muy fracturadas, la evaluación de taludes mediante proyecciones hemisféricas no es correcta ya que normalmente la forma de la superficie de falla es independiente de la orientación de las discontinuidades geológicas.
- c) En rocas meteorizadas que pudieran representar un comportamiento frontera entre roca y suelo, se recomienda en primer lugar utilizar las proyecciones hemisféricas para determinar posibles superficies de fallas; con éstas definidas, se procederá a los análisis convencionales de estabilidad. En segundo lugar se debe analizar el macizo rocoso meteorizado como un suelo, suponiendo otras superficies de fallas tales como circulares o espiral logarítmica, cuya forma es independien-

te de la orientación de las discontinuidades. Los resultados deberán ser evaluados tomando en cuenta factores geológicos difíciles de incluir en los cálculos, pero de influencia en la estabilidad; de cualquier forma es recomendable tomar decisiones en base a los factores de seguridad menores que resulten de ambos análisis.

8. Es preciso enfatizar la necesidad de que el geólogo de campo conozca y domine el uso de las proyecciones hemisféricas, pues de sus observaciones dependerá el éxito de la evaluación y análisis de taludes en macizos rocosos.

BIBLIOGRAFIA

- 1 BARTON, NICHOLAS. Progressive Failure of Excavated Rock Slopes. Proc. 13th Symposium on Rock Mechanics. A S C E. August 1971. pp 139-170.
- 2 BARTON, NICHOLAS. Review of a New Shear Strength Criterion for Rock Joints. Engineering Geology, 7. 1973. pp 287-332.
- 3 BARTON, NICHOLAS. A relationship between joint roughness and joint shear strength. Proc. Symposium on Rock Fracture. France, 1971. Paper 1-8.
- 4 BARTON, NICHOLAS. Estimation of in situ shear strength from back analysis of failed rock slopes. Proc. Symposium on Rock Fracture. France, 1971. Paper 2-27.
- 5 BILLINGS, M. P. Structural geology. Prentice-Hall. New Jersey, 1972. p 514.
- 6 BRANTHOVER G. and RICHARDS J. Equilibrium Curves. A method for evaluating slope stability of jointed rock. A S C E Specialty Conference: Analysis and Design in Geotechnical Engineering. Austin, Texas, 1974.
- 7 DONN, W.L. and SHIMER J. Graphic Methods in Structural Geology. Appleton-Century-Crofts, New York, 1958. p 180.
- 8 GOODMAN, R.E. and BRAY, J.W. Toppling of rock slopes. Proc. Specialty Conference on Rock Engineering for Foundations and Slopes. Boulder. Colorado. ASCE Vol 2.
- 9 GOODMAN, R.E. Methods of Geological Engineering in Discontinuous Rock. West Publishing Company. St Paul. Minn. 1976. p 472.
- 10 GOODMAN, R.E. Geological Investigations to Evaluate Stability. Proc. of the Second International Conference on Stability in Open Pit Mining. Canada, Nov 1971. pp 125-132.
- 11 GOODMAN, R.E. The resolution of stresses in rock using stereographic projections. International Journal of Rock Mechanical and Mining Sciences. Vol. 1. 1963, pp 93-103.

- 12 GOODMAN, R.E. Discussions of graphical stability analysis by Klaus John. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division. A S C E. Vol. 95 N° SM2. -- Proc. paper 6429. March 1969. pp 698-702.
- 13 HAMEL J. Three dimensional wedge methods of rock slope stability analysis. ASCE Specialty Conference: Analysis and Design in Geotechnical Engineering Austin, - Texas, June 1974.
- 14 HEUZE, F. and GOODMAN R. Three dimensional approach for design cuts in jointed rock. Proc. 13th Symposium on Rock Mechanics, A S C E 1972. pp 397-441.
- 15 HEUZE, FRANCOIS. Analysis of geological data for the design of rock cuts. Proc. of the Third Congress of International Society for Rock Mechanics. Denver, Colorado, Sept. 1974. Vol II. Par B. pp 798-802.
- 16 HOEK, EVERT. Influence of rock structure on the stability of rock slopes. Proc. of the First International Conference on Stability in Open Pit Mining. Canada, - Nov. 1970. pp 23-47.
- 17 HOEK, E. and BRAY J. The stability of a rock slope containing a wedge resting on two intersecting discontinuities. Quarterly Journal Engineering Geology. Vol. 6 N° 1. 1973.
- 18 HOEK, EVERT. Methods for the rapid assessment of the stability of three dimensional rock slopes. Quarterly Journal Engineering Geology. Vol 6 N° 3, 1973.
- 19 HOEK E. and BRAY J. Rock Slope Engineering. Institution of Mining and Metallurgy. London 1974. p 309.
- 20 HORN H. and DEERE D. Frictional characteristics of minerals. Geotechnique. Vol. XII. N° 4. Dec. 1962. pp 319-335.
- 21 JAEGER, J.C. Friction of rocks and the stability of rock slopes. Geotechnique. Vol. 21 N° 2. 1971. pp 97-134.
- 22 JAEGER, J.C. The behavior of closely jointed rock. Proc. Symposium on Rock Mechanics. Berkeley 1970. pp 57-68.

- 23 JENNINGS J. An approach to the stability of rock slopes based on the theory of limiting equilibrium with a material exhibiting anisotropic shear strength. Proc. 13th Symposium on Rock Mechanics. A S C E. 1972. pp 269-302.
- 24 JENNINGS J. and ROBERTSON A. Stability of slopes cut into natural rock. Proc. 7th International Conference of Soil Mechanics and Foundation. Mexico, 1969.
- 25 JOHN, K.W. An approach to rock mechanics. Journal of Soil Mechanics and Foundations Division. A S C E. Vol. 88. SM4. Proc. paper 3223. August 1963. pp 1-30.
- 26 JOHN, K.W. Graphical stability analysis of slopes in jointed rock. Proc. Journal of Soil Mechanics and Foundation Division. A S C E. Vol. 94 SM2. March 1968.
- 27 JOHN, K.E. Engineering analysis of three dimensional stability problems utilising the reference hemisphere. Proc. 2nd Congress, International Society of Rock Mechanics. Belgrade 1970. Vol. 2. pp 314-321.
- 28 LONDE, P. et. all. The stability of rock slopes; a three dimensional study. Journal of Soil Mechanics and Foundation Division. A S C E. Vol. 95, SM1, 1969. pp. 235-262.
- 29 LONDE, P. et. all. Stability of slopes-graphical methods. Journal of Soil Mechanics and Foundations Division. A S C E Vol. 96 SM4. 1970. pp 1411-1434.
- 30 LUNDQUIST, R. and HEIMS, R. Rock structure design by failure probabilities. "New Horizons in Rock Mechanics" 14th Symposium on rock mechanics 1973. pp 329-337.
- 31 MC MAHON, B. Indices related to the mechanical properties of jointed rock. Proc. 9th Symposium on Rock Mechanics A I M E 1967. p 117.
- 32 PANET M. and STRUILLLOU R. Méthodes d'études de la Stabilité de déblais rocheux pour les projets de routes et d'autoroutes. Second International Congress of Rock Mechanics. Belgrado, Sept. 1970.
- 33 PANET, M. Discussions of "Graphical stability of slopes in jointed rock by Klaus John. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division. A S C E Vol.

95 N° SM2. Proc. paper 6429. March 1969. pp 685-686.

- 34 PATTON F. and HENDRON J. General report on mass movements. Proc. Second International Congress of the Int. Ass. of Engineering Geology. Brasil, August 1974.
- 35 PATTON F. and DEERE D. Geologic factors controlling slope stability in open pit mines. Proc. of the First International Conference on Stability in Open Pit Mining. Canada. Nov. 1970. pp 23-47.
- 36 PATTON F. Multiple modes of shear failure in rock. Proc. First International Congress on Rock Mechanics. Lisboa 1966. Vol. 1. pp 509-513.
- 37 PENTZ, D. Methods of analysis of stability of rock slopes. Proc. First International Conference in Open Pit Mining. Nov. 1970. pp 119-141.
- 38 PHILLIPS, C.S. The use of stereographic projection in structural geology. Third Edition. London. Edward Arnold, 1971.
- 39 RAGAN, DONAL. Structural geology. An introduction to geometrical techniques. - 2nd edition John Wiley and Sons 1973.
- 40 RENGERS, N. Influence of surface roughness on the friction properties of rock planes. Proc. 2nd Congress of International Society for Rock Mechanics. Belgrade 1970, paper 1-31.
- 41 RITCHIE, A.M. The evaluation of rockfall and its control. Highway Record. Vol. 17, 1963. pp 13-28.
- 42 RUIZ, MURILLO. Minimum anchoring cost for stabilization of rock slopes.- Proc. of the Third Congress of the International Society for Rock Mechanics. Denver, - Colorado. Sept. 1-7-1974. Vol. II. Part. B. pp 813-819.
- 43 STEFFEN, O. and JENNINGS, J. Definition of design joints for two-dimensional - rock slope analysis. Proc. of the Third Congress of the International Society for Rock Mechanics. Denver, Colorado, Sept. 1974. Vol. II. Part. B. pp 827-832.

- 44 TALOBRE, J. La mecanique des roches et ses applications. 2nd Edition.- Dunop. 1967.
- 45 TAYLOR, C.L. Geometric analysis of geological separation for slope stability in vestigations. Bull. Ass. Engineering Geologists. Vol. VII, N° 1 & 2, 1970. pp. 67-85.
- 46 TERZAGHI, K. Stability of steep slopes on hard unweathered rock. Geotechnique. Vol. 12. Dec. 1962. pp 251-270.
- 47 TERZAGHI, R.D. Sources of error in joint surveys. Geotechnique. Vol. 15. Sept. 1965. pp 287-304.
- 48 TURNER F. and WEISS L. Graphic treatment of fabric data. Structural analysis of Metamorphic tectonites. Chapter 3. Mc Graw Hill Book, 1963.
- 49 VIGIER, G. Discussions of graphical stability of slopes in jointed rock by Klaus John. Journal of the Soil Mechanics an Foundation Division. A S C E. Vol. 95 N° SM2. Proc. paper 6429. March 1969. pp 690-698.
- 50 VORMERINGER, R. Discussions of graphical stability of slopes in jointed rock by Klaus John. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division. A S C E, Vol. 95 N° SM2. Proc. paper 6429. March 1969. pp 686-690.