

Universidad Nacional de Ingeniería
FACULTAD DE INGENIERIA
GEOLOGICA, MINERA y METALURGICA



**Análisis de Estabilidad
de Pendientes en la
Minería a Cielo Abierto**

TOMO II

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

OCTAVIO SATURNINO ROJAS ARROYO

Promoción 1970

Lima - Perú - 1990

CONTENIDO

TOMO II

(APENDICES)

| | |
|--|----|
| APENDICE I: REGISTRO DE INFORMACION GEOLOGICA | 1 |
| 1. Método de la línea de detalle | 3 |
| 2. Descripción de las técnicas de registro | 3 |
| APENDICE II: REPRESENTACIONES ESTEREOGRAFICAS | 14 |
| 1. Conceptos básicos | 16 |
| 2. Análisis estereográfico | 28 |
| 3. Evaluación de problemas potenciales de falla | 28 |
| 3.1 Concepto del cono de fricción | 28 |
| 3.2 Extensión del concepto de cono de fricción a la cohesión | 33 |
| 3.3 Determinación gráfica del factor de seguridad | 36 |
| 4. Programa computarizado para el análisis estereográfico de discontinuidades geológicas | 39 |

| | |
|---|----|
| | II |
| 4.1 Generalidades del programa | 39 |
| 4.2 Aplicación | 39 |
| 4.3 Conceptos tenidos en cuenta en la elaboración del programa | 40 |
| 4.3.1 Símbolos usados en la elaboración del programa | 40 |
| 4.3.2 Relaciones matemáticas | 43 |
| | |
| APENDICE III: ANALISIS PRELIMINAR DE ESTABILIDAD DE PENDIENTES EN LAS MINAS DE MARCONA - MINA 5 | 46 |
| | |
| 1. Ubicación | |
| 1.1 Situación geográfica | 48 |
| 1.2 Clima | 48 |
| 1.3 Sismología | 50 |
| 1.4 Hidrología | 53 |
| | |
| 2. Geología | 53 |
| 2.1 Geología general | 53 |
| 2.2 Litología | 55 |

| | | |
|---------|--|----|
| 2.2.1 | Estratigrafía | 55 |
| 2.2.2 | Rocas intrusivas | 58 |
| 2.2.3 | Metamorfismo | 60 |
| 2.3 | Geología estructural | 61 |
| 2.3.1 | Fallamiento | 61 |
| 2.4 | Cuerpos de mineral | 62 |
| 3. | Forma y métodos de información | 63 |
| 3.1 | Metodología aplicada | 64 |
| 3.1.1 | Método de campo | 65 |
| 3.1.1.1 | Levantamiento topográfico | 65 |
| 3.1.1.2 | Medición de estructuras | 66 |
| 3.1.1.3 | Muestreo de rocas | 66 |
| 3.1.2 | Método de gabinete | 68 |
| 3.1.2.1 | Graficación de estructuras | 68 |
| 3.1.2.2 | Proyecciones estereográficas - Análisis <u>grá</u> | |

| | | |
|-------|--------------------------------|----|
| | fico de estabilidad de taludes | 68 |
| 4. | Análisis preliminar de Mina 5 | 73 |
| 4.1 | Presentación general | 73 |
| 4.2 | Estabilidad de los taludes | 77 |
| 4.2.1 | Talud N.O. - Techo | 78 |
| 4.2.2 | Talud S.E - .Piso | 79 |
| 4.2.3 | Talud O. - Terminación S.O. | 79 |
| 4.2.4 | Talud E. - Terminación N.E. | 79 |
| 4.2.5 | Conclusiones | 86 |
| 5. | Resultados del análisis | 87 |
| 6. | Conclusiones generales | 89 |
| 7. | Recomendaciones generales | 92 |

TABLA DE FIGURAS

| FIGURA | DESCRIPCION | PAG. |
|-------------|--|------|
| APENDICE I | | |
| I-1A | Mapeo Lito-estructural: Plano (I-1A) | 4 |
| I-1B | Mapeo Lito-estructural: Plano (I-1B) | 5 |
| I-2 | Codificación de información geológica de campo. Formato (I-1) | 7 |
| I-3 | Registro de información Lito-estructu <u>r</u> al. Formato (I-2) | 11 |
| APENDICE II | | |
| II-1 | Diagrama de bloque | 17 |
| II-2 | Esfera de referencia | 17 |
| II-3 | Proyección estereográfica | 19 |
| II-4 | Estereograma | 19 |
| II-5 | Círculos menor y mayor | 21 |
| II-6 | Red estereográfica meridional o red de Wulff | 23 |

| FIGURA | DESCRIPCION | PAG. |
|--------|---|------|
| II-7 | Proyección de igual área, de Lambert o red de Schmidt: forma polar | 24 |
| II-8 | Proyección de igual área, de Lambert o red de Schmidt: forma ecuatorial | 25 |
| II-9 | Principios de proyección sobre la red de igual área | 26 |
| II-10A | Proyección ciclográfica y polar de un plano | 27 |
| II-10B | Representación ciclográfica y polar de un plano sobre una red | 27 |
| II-11 | Representación de un plano | 29 |
| II-12 | Intersección de dos planos | 30 |
| II-13 | Determinación del ángulo entre dos líneas específicas | 31 |
| II-14 | Determinación de orientaciones preferidas de juegos de discontinuidades | 32 |
| II-15 | Bloque que descansa sobre un plano inclinado | 34 |
| II-16 | Deslizamiento de un bloque debido a su propio peso | 34 |

| FIGURA | DESCRIPCION | PAG. |
|----------|--|------|
| II-17 | Construcción de la proyección del cono de fricción | 35 |
| II-18 | Influencia de una fuerza externa T sobre un bloque que se desliza sobre un plano inclinado | 37 |
| II-19 | Diagrama de fuerzas para la acción de la fuerza externa T | 37 |
| II-20 | Determinación gráfica del factor de seguridad | 38 |
| II-21 | Estereograma polar: Mina 5 - Talud N.O. | 41 |
| II-22 | Estereograma ecuatorial: Mina 5 - Talud N.O. | 42 |
| II-23A | Programa de análisis estereográfico: relaciones matemáticas | 44 |
| II-23B | Programa de análisis estereográfico: relaciones matemáticas | 45 |
| APENDICE | III | |
| III-1 | Localización del Distrito Minero de Marcona | 49 |

| FIGURA | DESCRIPCION | PAG. |
|--------|--|------|
| III-2 | Episcentros sísmicos registrados de Enero de 1949 a Julio de 1963 | 51 |
| III-3 | Curvas isoenergéticas de los sismos registrados de Enero de 1949 a Julio de 1963 | 52 |
| III-4 | Mapa geológico generalizado del Distrito Minero de Marcona | 54 |
| III-5 | Columna geológica generalizada: sección del Distrito Minero de Marcona | 57 |
| III-6A | Registro de mapeo Lito-estructural de taludes: Formato A | 67 |
| III-6B | Registro de mapeo Lito-estructural de taludes: Formato B | 70 |
| III-7 | Estereograma polar: Mina 5 - Talud N.O. | 71 |
| III-8 | Estereograma ecuatorial: Mina 5 - Talud N.O. | 72 |
| III-9 | Plano de Superficie: Mina 5 | 74 |
| III-10 | Sección geológica longitudinal: Mina 5 | 75 |

| FIGURA | DESCRIPCION | PAG. |
|--------|---|------|
| III-11 | Sección geológica transversal: Mina 5 | 76 |
| III-12 | Estereograma Mina 5: Talud N.O. Zona 1 (Lado Este) Techo | 80 |
| III-13 | Estereograma Mina 5: Talud S.O. | 81 |
| III-14 | Estereograma Mina 5: Talud S.E. Zona 2 (Lado Oeste) Piso | 82 |
| III-15 | Estereograma Mina 5: Talud N.O. Zona 2 (Lado Oeste) Techo | 83 |
| III-16 | Estereograma Mina 5: Talud S.E. Zona 1 (Lado Este) | 84 |
| III-17 | Estereograma Mina 5: Talud N.E. | 85 |

A P E N D I C E

I

REGISTRO DE INFORMACION
GEOLOGICA

1. METODO DE LA LINEA DE DETALLE

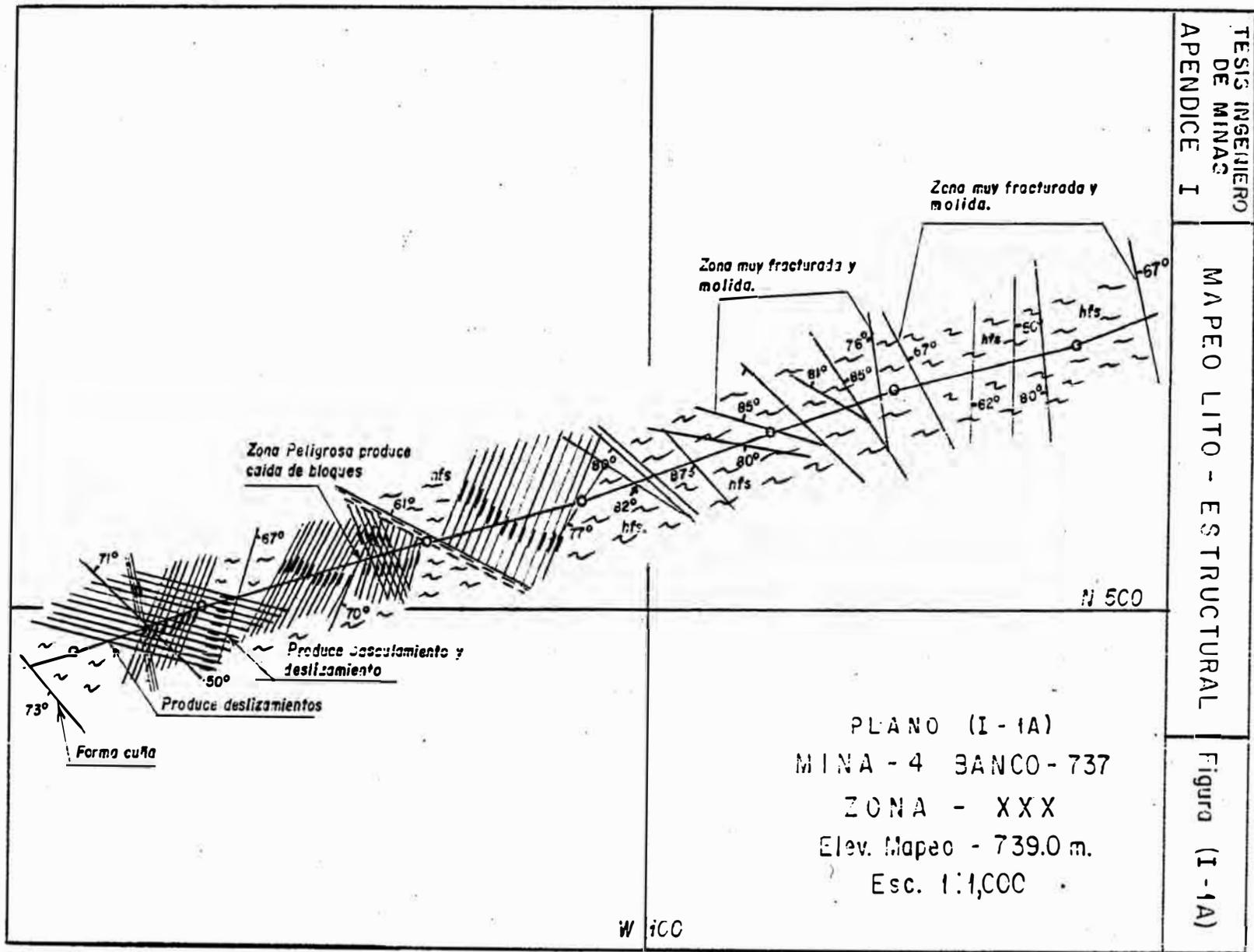
El Método de la Línea de Detalle, consiste en estirar una wincha, sostenida a una altura de más ó menos 2 metros, en la cara expuesta y registrar las características geológicas de interés para cada discontinuidad que interseca la wincha.

Se recomienda:

- a. Usar longitudes de segmentos de línea de detalle no mayores de 50 Mts. y con la cinta de wincha bien tensa para evitar la catenaria.
- b. Fijar los puntos extremos del segmento de línea de detalle en características estructurales notables mediante clavos numerados en secuencia y perfectamente orientados y referidos a puntos topográficos de la zona ó nivel de mapeo.
- c. El mapeo debe ser consecutivo, es decir el punto (clavo) final de un segmento de mapeo debe ser inicial del siguiente segmento para asegurar de este modo la *continuidad* del registro representativo de estructuras.

2. DESCRIPCION DE LAS TECNICAS DE REGISTRO

La descripción de las técnicas generales de registro de diferentes características estructurales del mapeo mostrado en el Plano (I-1), codificadas en el Formato (I-1)

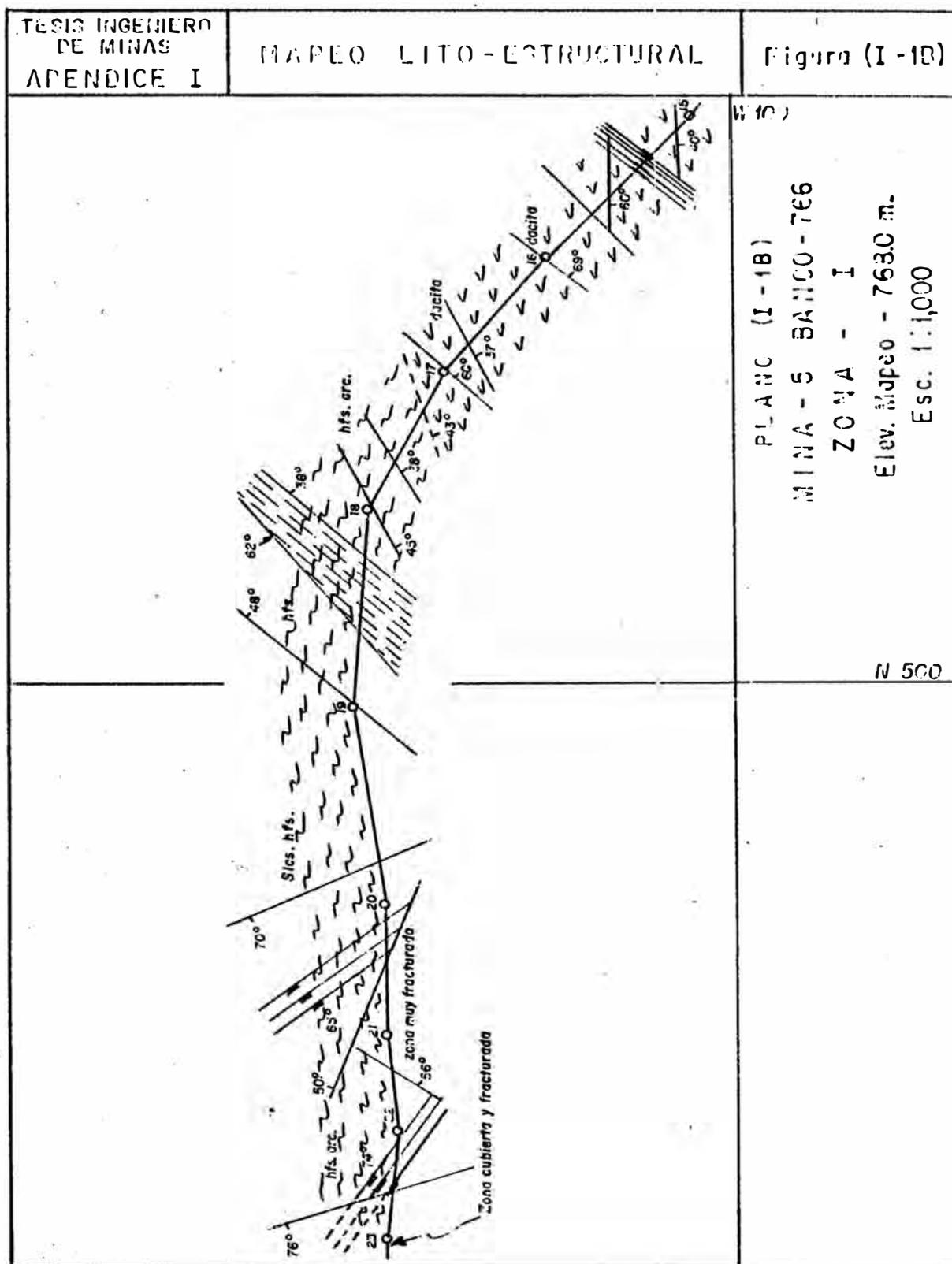


PLANO (I - 1A)
 MINA - 4 BANCO - 737
 ZONA - XXX
 Elev. Mapeo - 739.0 m.
 Esc. 1:1,000

TESIS INGENIERO
 DE MINAS
 APENDICE I

MAPEO LITO - ESTRUCTURAL

Figura (I - 1A)



y posteriormente transferida la información en tarjetas individuales de registro para cada característica, Formato (I-2), donde se incluye el número de referencia de la discontinuidad, es mostrado a continuación:

1. NUMERO CLAVO

Para referir las estructuras mapeadas dentro del segmento de la línea de detalle, por lo general está fijado en una estructura notable.

2. DISTANCIA DE CLAVO A ESTRUCTURA

Para ubicar la estructura mapeada dentro de la línea de detalle.

3. TIPO DE ROCA

Se emplea aquí el término *roca* para referirse al material en que se encuentra la estructura y el tipo está identificado de acuerdo a la codificación mostrada.

4. TIPO DE ESTRUCTURA

Se tiene en cuenta todos los tipos genéticos de estructuras geológicas que se presentan en el lugar asignándoles un código y su respectiva posición en el espacio, es decir azimut y buzamiento.

5. NATURALEZA DE LAS FRACTURAS

Se refiere a la posición relativa de las caras de la fractura.

6. IRREGULARIDAD

Se refiere a la forma de las superficies que consti-
tuyen las caras de las fracturas.

7. CARACTERISTICAS DE LAS CARAS DE LAS ESTRUCTURAS

Se refiere a las características secundarias que
muestran las superficies de las caras de las estruc-
turas.

8. ESPACIAMIENTO DE ESTRUCTURAS

Es la longitud de distancia entre estructuras medida
perpendicularmente a ellas. Las categorías más ade-
cuadas para satisfacer las condiciones geológicas
del lugar son:

| CATEGORIA | ESPESOR |
|------------------------|----------------------------|
| 1. Muy cerca | De 0.00 a menos de 5 Cm. |
| 2. Cerca | De 5 Cm. a menos de 30 Cm. |
| 3. Moderadamente cerca | De 30 Cm. a menos de 1 Mt. |
| 4. Amplio | De 1 Mt. a menos de 3 Mt. |
| 5. Muy amplio | Más de 3 Mt. |

En el caso en que el espaciamiento sea mayor que 3 metros, el espaciamiento real es registrado en la columna de observaciones.

9. ORIGEN DE ESTRUCTURAS

Se registra, si es posible correlacionar el tipo de esfuerzos que ha originado la estructura con la estructura misma.

10. TIPO DE RELLENO DE ESTRUCTURAS

Es el tipo de materiales de relleno que ocurren en el lugar, registrados mediante códigos. Los códigos pueden usarse también en forma combinada.

11. POTENCIA DE FRACTURAS

Se ha establecido cuatro categorías que van de 1 Cm. a 1 Mt. de potencia de las fracturas.

12. DENSIDAD DE ESTRUCTURAS

Se ha establecido también cinco categorías que van de cero a 100 Mts.

13. AMPLITUD

Es una medida de la máxima longitud perpendicular al borde recto de una ondulación.

14. LONGITUD DE ONDULACION

Es registrada como la distancia entre dos puntos adyacentes de contacto sobre la cresta de la ondulación.

15. DUREZA DE LA ROCA

Es registrada de acuerdo a la descripción sensorial de la consistencia de la roca. Esta estimación depende de la experiencia y el uso de la cuchilla de bolsillo y picca.

El rango de la clasificación en el campo es establecido como sigue:

- 1.- ROCA MUY BLANDA.- Material desagregable bajo golpe firme con la parte aguda de una picca y que puede ser desmenuzada con una cuchilla.
- 2.- ROCA BLANDA.- Que puede ser raspada y desagregada con una cuchilla, con un golpe firme de picca la muestra expone indentaciones.
- 3.- ROCA DURA.- No puede ser raspada ni desagregada con una cuchilla; el espécimen puede ser roto con un solo golpe firme de picca.
- 4.- ROCA MUY DURA.- Un espécimen de mano se rompe con más de un golpe de picca.
- 5.- ROCA EXTREMADAMENTE DURA.- El espécimen requier

re de varios golpes de picas para romperse.

16. OBSERVACIONES

Se registra en esta columna cualquier dato que no pueda ser acomodado en otras columnas.

Como se indicó toda esta información es revisada y codificada para perforar las tarjetas con los datos de entrada al programa, Formato (I-2). Donde se ha incluido la información:

1. TALUD

Que se refiere a la ubicación del talud donde se encuentra la cara de la línea de detalle

2. PUNTO

Para anotar la secuencia de puntos y asegurar la continuidad de registro.

3. COORDENADAS

COORDENADA X: Es la posición en el eje X de la intersección de la discontinuidad con la wincha de medida.

COORDENADA Y: Es la posición en el eje Y de la intersección de la discontinuidad con la wincha de medida.

4. ALTURA O ELEVACION

Es el registro de la elevación de la línea de detalle.

5. PESO

Que se refiere a la calificación y apreciación relativa de las estructuras, según su importancia y trascendencia en los problemas de estabilidad.

Observando las columnas del Formato (I-1) nos damos cuenta que las columnas 1, 2, 4a y 4b sirven para definir la posición de las estructuras en el espacio. Estas columnas más las 8 y 12 para definir la intensidad, las columnas 13, 14 y 15 para valorar la resistencia friccional y las columnas 10, 13 y 14 para valorar la resistencia de la cohesión.

A P E N D I C E

II

REPRESENTACIONES ESTEREOGRAFICAS

1. CONCEPTOS BASICOS

A continuación se definen los conceptos básicos principales de representaciones gráficas empleadas en proyecciones estereográficas:

1. DIAGRAMA DE BLOQUE

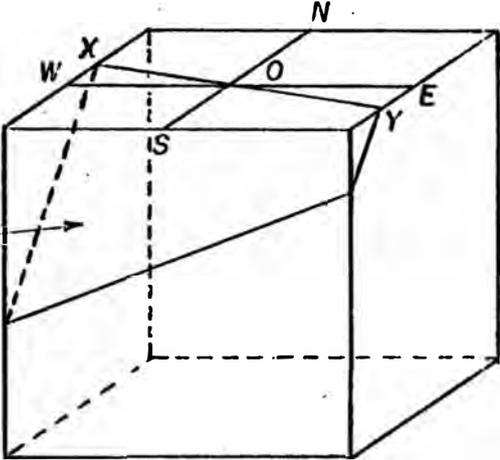
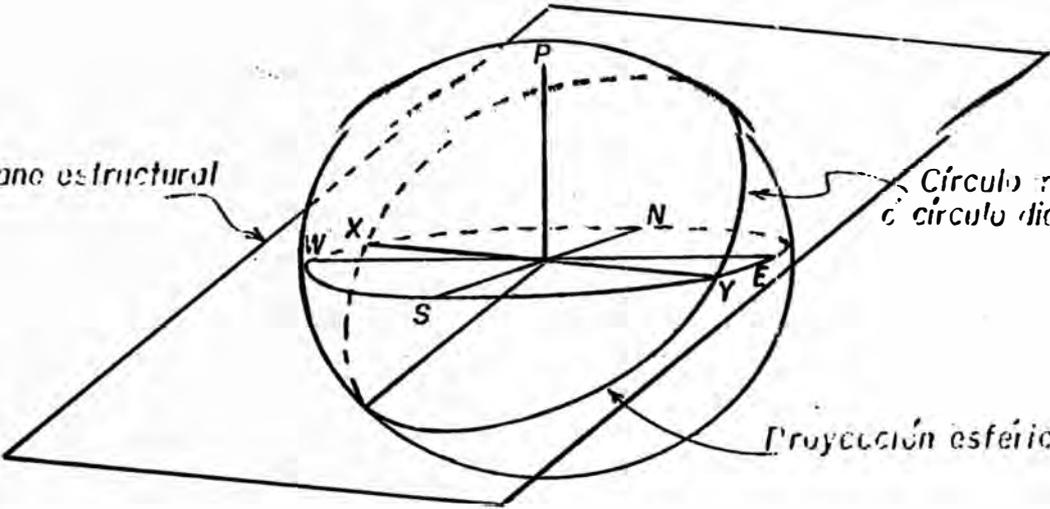
Es la representación esquemática de una estructura geológica en tres dimensiones, definiéndola en el espacio y tomando como referencia un bloque (sólido geométrico) idealizado, Fig.(II-1).

2. ESFERA DE REFERENCIA

Es la esfera a la cual se remiten ó trasladan todas las estructuras geológicas para su representación, y analizar de este modo las relaciones que existen entre ellas, Fig.(II-2).

3. HEMISFERIO DE REFERENCIA

Sirve para representar la orientación espacial de las líneas y/o planos y las relaciones entre ellos. Las líneas ó planos son imaginados a encontrarse en una posición tal que el centro del *hemisferio inferior*, usado por convención, se convierte en un punto localizado sobre él, Fig.(II-3).

| | | |
|--|----------------------|---------------|
| TESIS INGENIERO DE MINAS APENDICE II | DIAGRAMA DE BLOQUE | Figura (II-1) |
| <div style="text-align: center;">  <p data-bbox="188 779 440 813"><i>Plano estructural</i></p> <p data-bbox="300 1059 1157 1133"><i>Diagrama de bloque de un plano con dirección XY y buzamiento SW.</i></p> </div> | | |
| TESIS INGENIERO DE MINAS APENDICE II | ESFERA DE REFERENCIA | Figura (II-2) |
| <div style="text-align: center;">  <p data-bbox="196 1525 448 1559"><i>Plano estructural</i></p> <p data-bbox="1134 1525 1377 1599"><i>Círculo máximo o círculo diámetro</i></p> <p data-bbox="986 1783 1302 1816"><i>Proyección esférica</i></p> </div> | | |

4. PLANO ESTRUCTURAL

Es la superficie plana que, en forma idealizada, representa una característica estructural y que corta a la esfera de referencia, Fig.(II-2).

5. CIRCULO MAXIMO O DIAMETRAL

Es el constituido por la intersección de la esfera con el plano que pasa por el centro de la esfera, Fig.(II-2).

6. CIRCULO MENOR O PARALELO

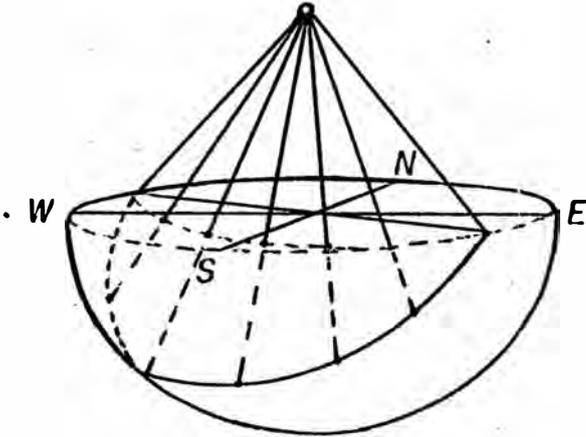
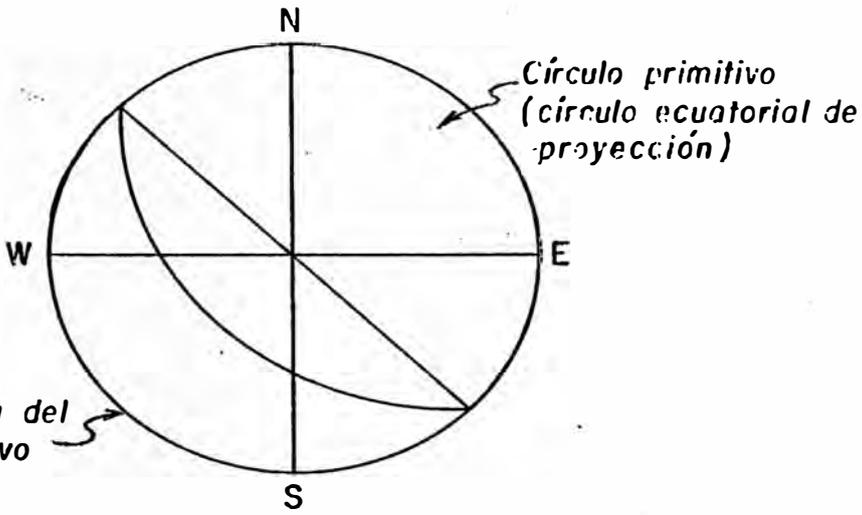
Es la intersección de la esfera con un plano paralelo al círculo ecuatorial; es decir, es el círculo horizontal que no pasa por el centro de la esfera, Fig.(II-5).

7. CIRCULO MAYOR O MERIDIANO

Es el círculo máximo vertical, Fig.(II-5).

8. PROYECCION ESFERICA

Es el círculo máximo de un plano que corta a la esfera, Fig.(II-2).

| | | |
|---|---------------------------|---------------|
| TESIS INGENIERO DE MINAS APENDICE II | PROYECCION ESTEREOGRAFICA | Figura (II-3) |
| <div style="text-align: center;"> <p><i>Punto cenital</i></p>  <p><i>Hemisferio de referencia</i></p> </div> | | |
| TESIS INGENIERO DE MINAS APENDICE II | ESTEREOGRAMA | Figura (II-4) |
| <div style="text-align: center;">  </div> | | |

9. PROYECCION ESTEREOGRAFICA

Es la obtenida en un plano ecuatorial de la esfera, uniendo todos los puntos del semicírculo de la unidad inferior del círculo máximo de la Fig.(II-3) con el cenit P de la esfera, y marcando las intersecciones de estas uniones con el plano ecuatorial.

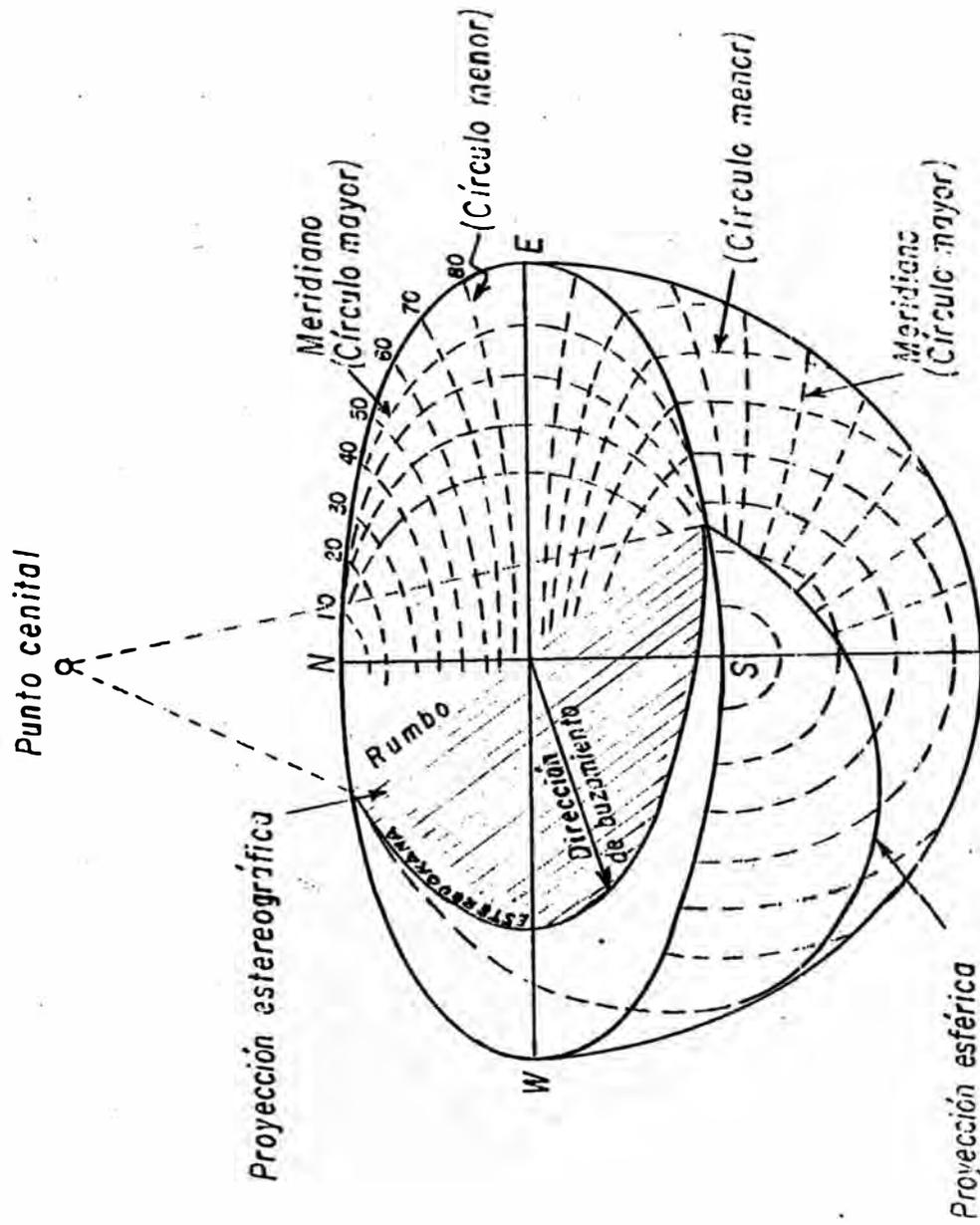
10. ESTEREOGRAMA

Es la proyección resultante de la proyección estereográfica, Fig.(II-4).

11. RED ESTEREOGRAFICA MERIDIONAL O RED DE WULFF

Cuando se proyecta un círculo diametral, la curva que resulta de la proyección, Fig.(II-4) es siempre un arco de círculo. Esta *propiedad* permite construir una red de curvas meridionales (círculos máximos) como el de la Fig.(II-6) donde se han trazado planos cada 10° de buzamiento desde la horizontal hasta la vertical.

Construyendo con los centros Norte y Sur de la esfera original una serie de círculos menores de radio cada vez mayor su proyección estereográfica produce pequeños arcos circulares que gradúan los círculos máximos meridionales al cruzarlos constituyéndose así la *red estereográfica meridional ó red de wulff*.



Se pueden usar varios tipos de redes estereográficas atendiendo al ángulo ó área de proyección, la más comúnmente usada y la que utilizamos aquí es la *proyección de igual área*, llamada también Proyección de Lambert ó Red de Schmidt que en forma Polar y Ecuatorial es mostrada en las Figs.(II-7) y (II-8).

12. METODO CICLOGRAFICO

Es el método de representación por el cual cada plano estructural está representado en el estereograma por una traza que corresponde a un círculo máximo, Fig.(II-10).

13. METODO DE POLOS O POLAR

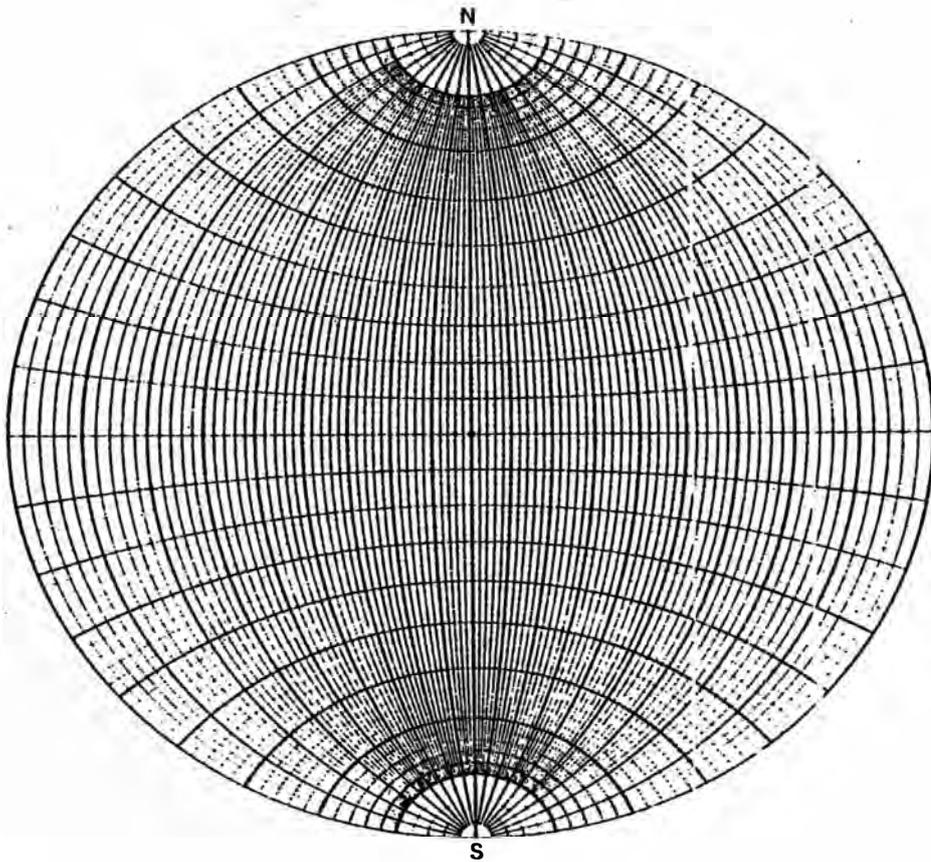
La posición de un plano en el espacio también se define por la orientación de su perpendicular. Los dos puntos opuestos en los que esta perpendicular corta a la esfera son los *polos* ó Diagramas de Punto, del plano. Y si proyectamos estereográficamente el polo situado en el hemisferio inferior hemos desarrollado una *proyección polar*, Fig.(II-10). Esta presenta una buena evaluación estadística del conjunto de datos analizados.

En el sentido estricto y formal solo las proyecciones polares son estereográficas.

TESIS INGENIERO
DE MINAS
APENDICE II

RED ESTEREOGRAFICA MERIDIONAL O
RED DE WULFF

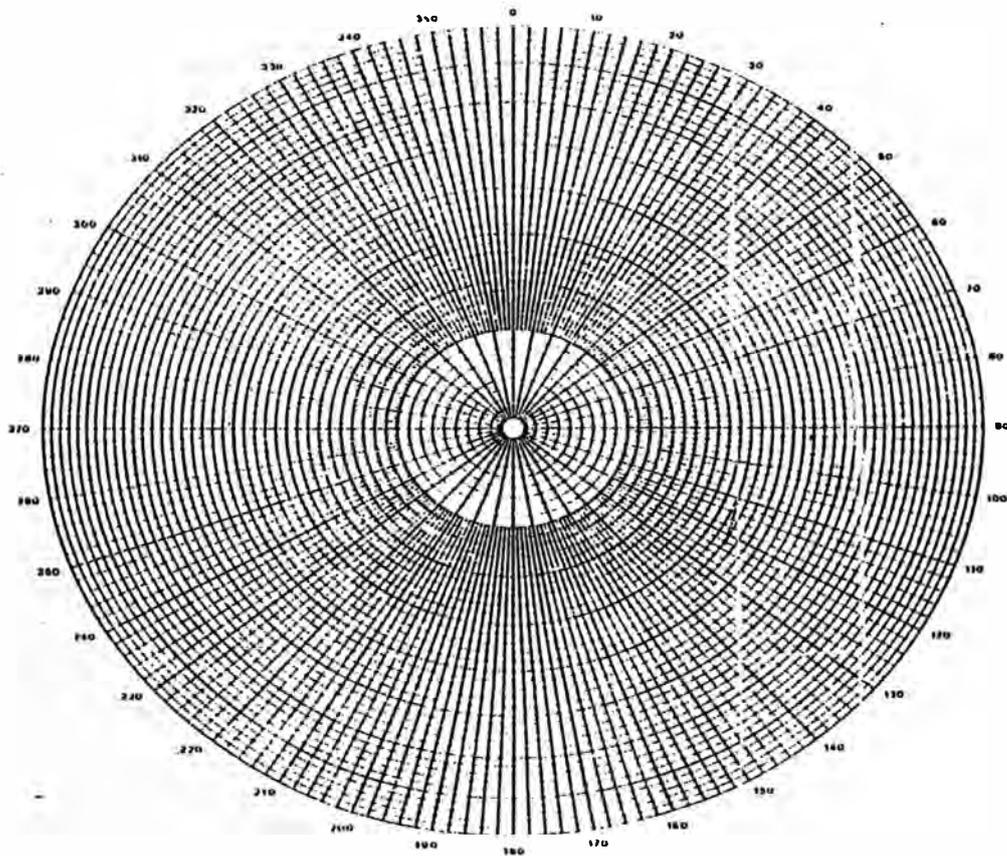
Figura (II-6)



TESIS INGENIERO
DE MINAS
APENDICE II

PROYECCION DE IGUAL AREA, DE LAMBERT
O RED DE SCHMIDT: FORMA POLAR

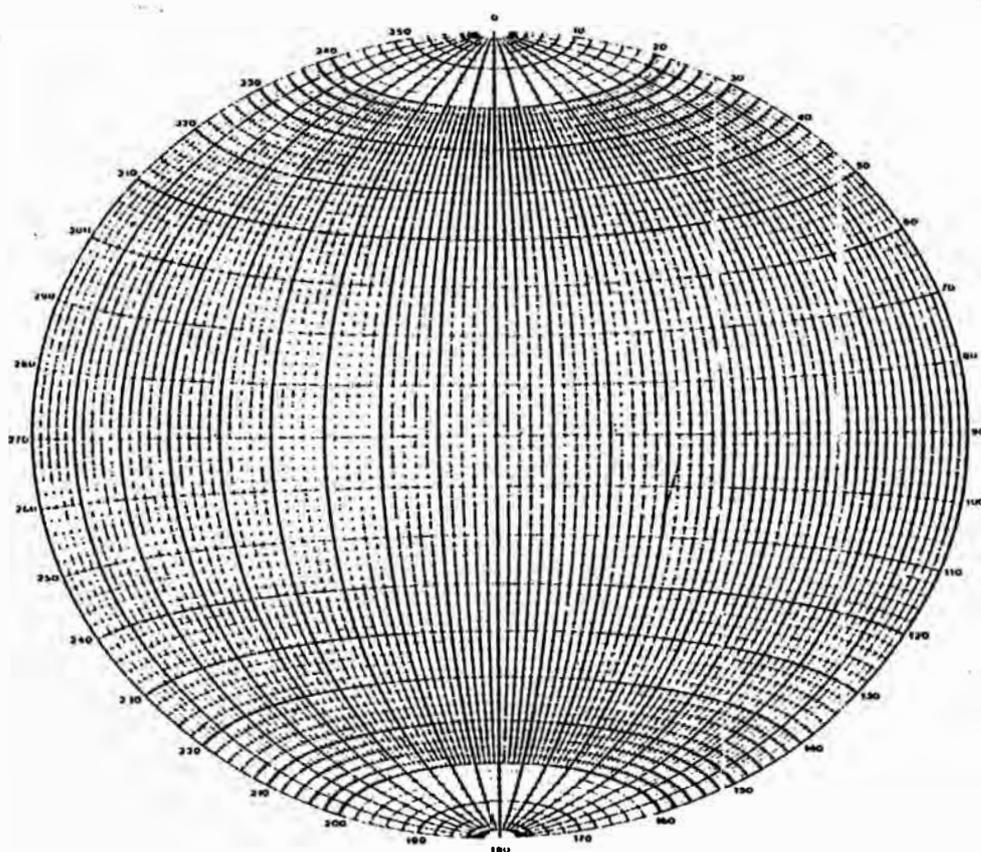
Figura (II-7)

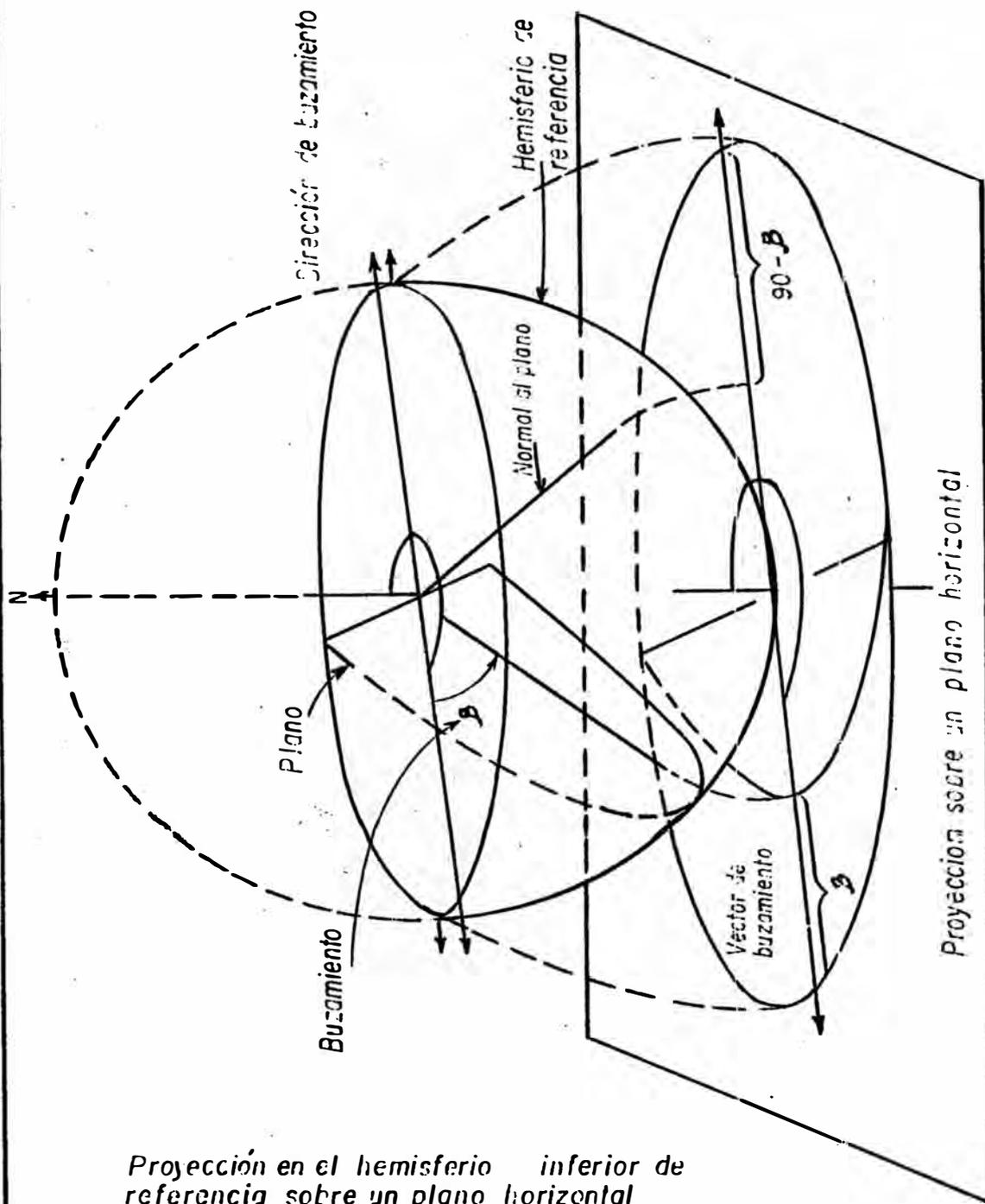


TESIS INGENIERO
DE MINAS
APENDICE II

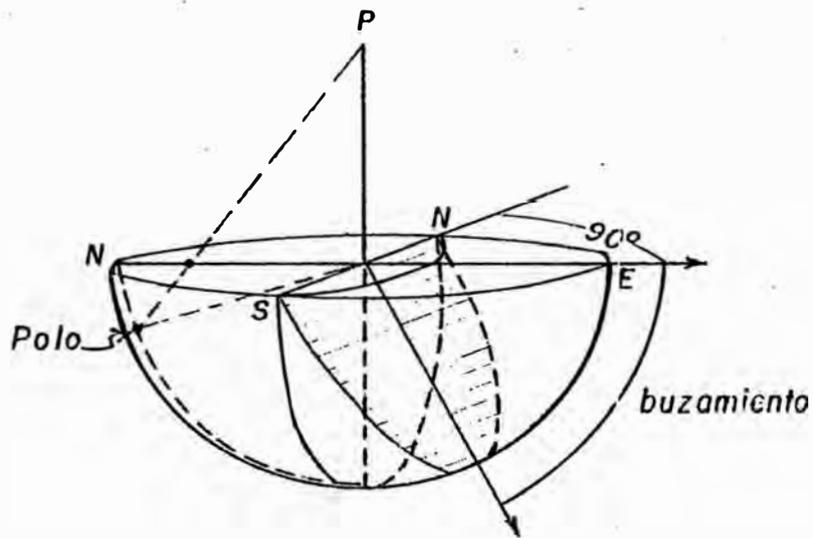
PROYECCION DE IGUAL AREA, DE LAMBERT
O RED DE SCHMIDT: FORMA ECUATORIAL

Figura (II-8)

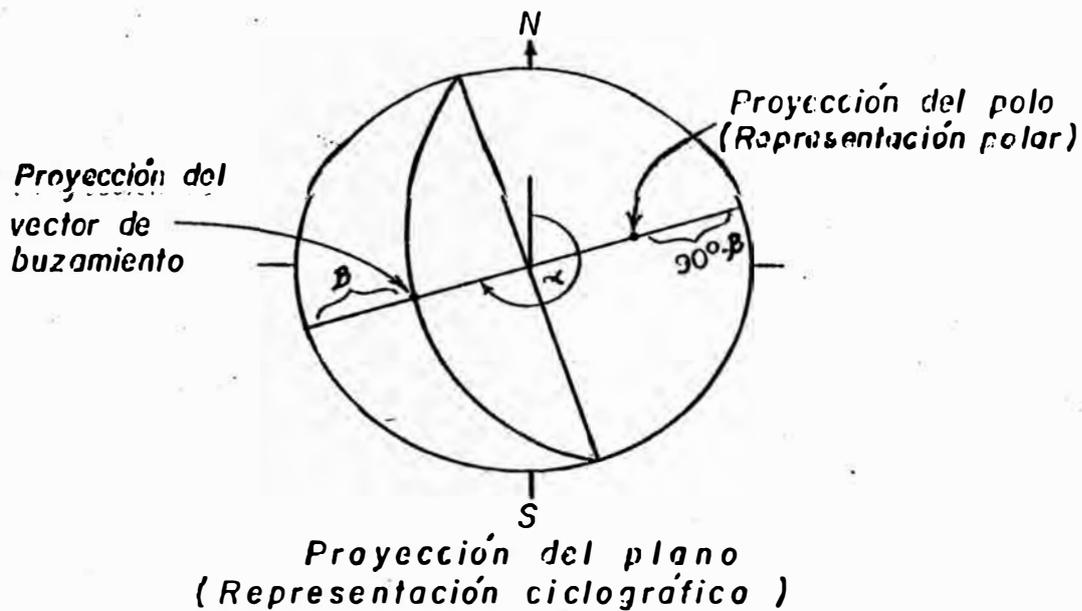




| | | |
|--|--|------------------------|
| <p>TESIS INGENIERO DE MINAS APENDICE II</p> | <p>PROYECCION CICLOGRAFICA Y POLAR DE UN PLANO</p> | <p>Figura (II-10A)</p> |
|--|--|------------------------|



| | | |
|--|--|------------------------|
| <p>TESIS INGENIERO DE MINAS APENDICE II</p> | <p>REPRESENTACION CICLOGRAFICA Y POLAR DE UN PLANO SOBRE UNA RED</p> | <p>Figura (II-10B)</p> |
|--|--|------------------------|



2. ANALISIS ESTEREOGRAFICO

Las consideraciones básicas, enumeradas a continuación, para efectuar el análisis estereográfico, son mostradas en forma esquemática y práctica en los gráficos de las Figs.(II-11) a (II-14):

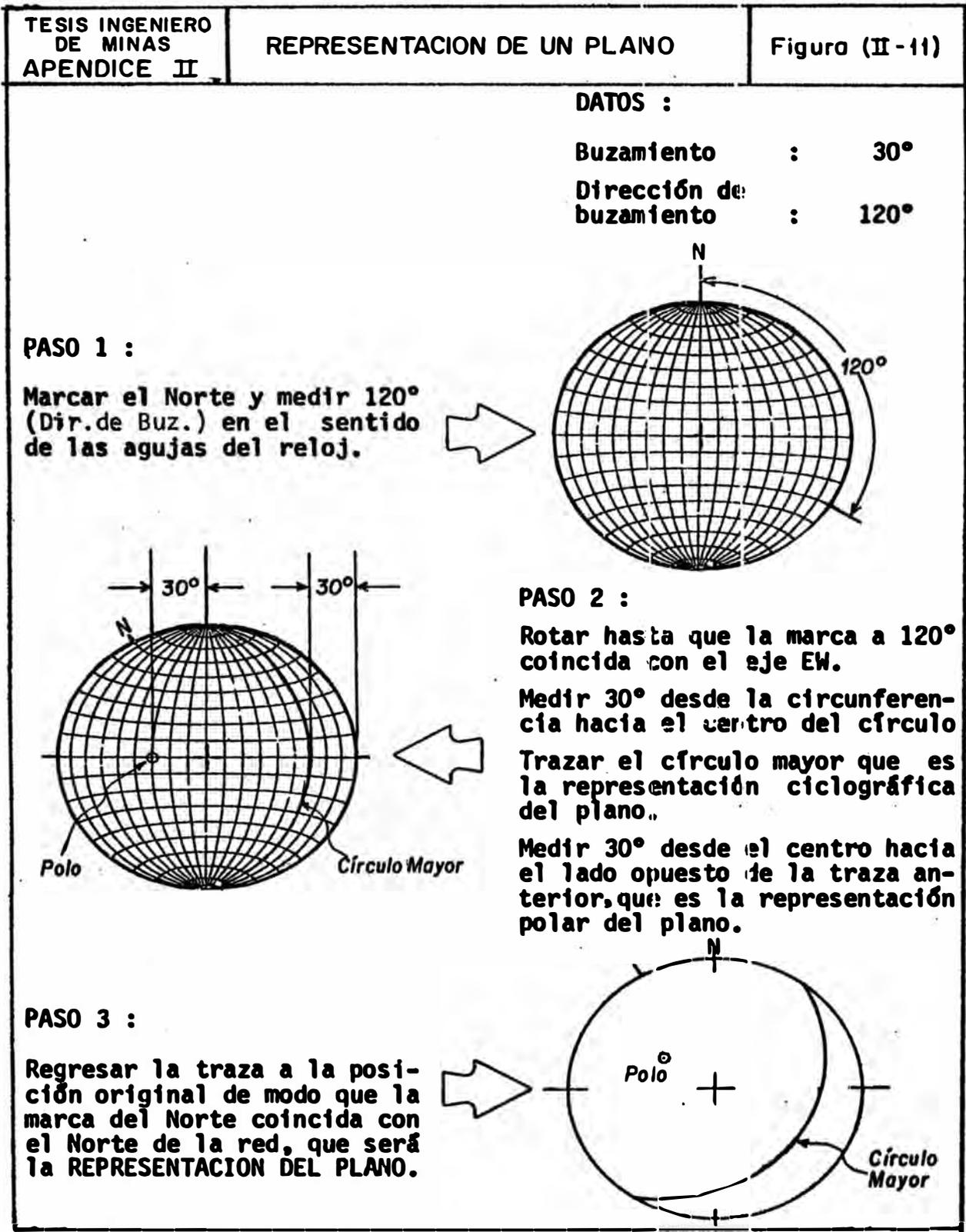
- a. Representación de un plano.
- b. Intersección de dos planos.
- c. Determinación del ángulo entre dos líneas específicas.
- d. Determinación de orientaciones preferidas de juegos de discontinuidades.

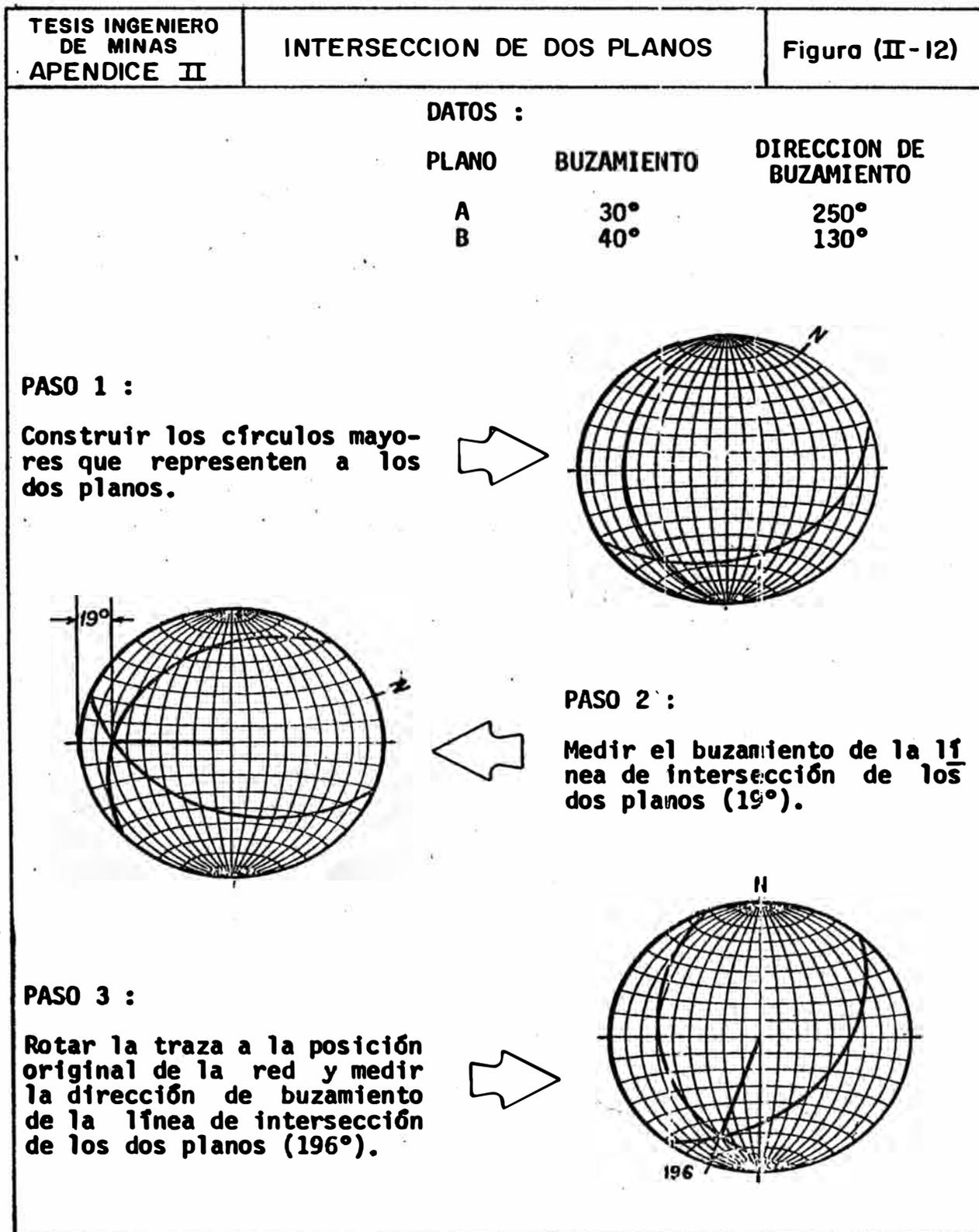
3. EVALUACION DE PROBLEMAS POTENCIALES DE FALLA

3.1 CONCEPTO DEL CONO DE FRICCION

Si consideramos un bloque de peso W que descansa sobre un plano inclinado como el de la Fig.(II-15) el deslizamiento del bloque ocurrirá si la fuerza disturbadora es mayor que la fuerza resistente R_f ó si:

$$W \text{ Sen } \psi_p > W \text{ Cos } \psi_p \text{ tg } \phi$$



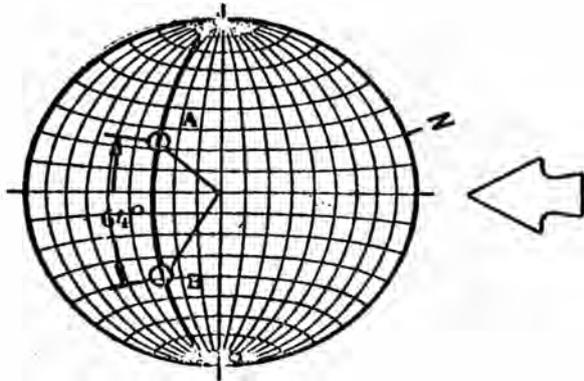
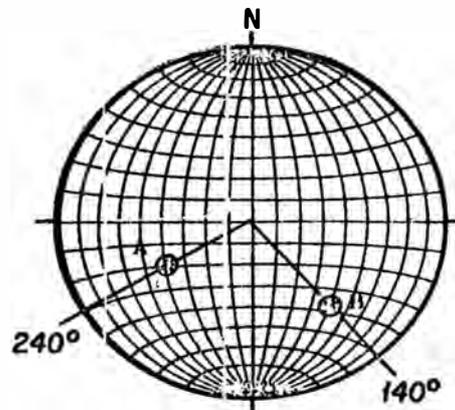
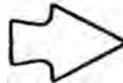


DATOS :

| LINEA | BUZAMIENTO | DIRECCION DE BUZAMIENTO |
|-------|------------|-------------------------|
| A | 54° | 240° |
| B | 40° | 140° |

PASO 1 :

Marcar en el estereograma los puntos A y B que definen las dos líneas.



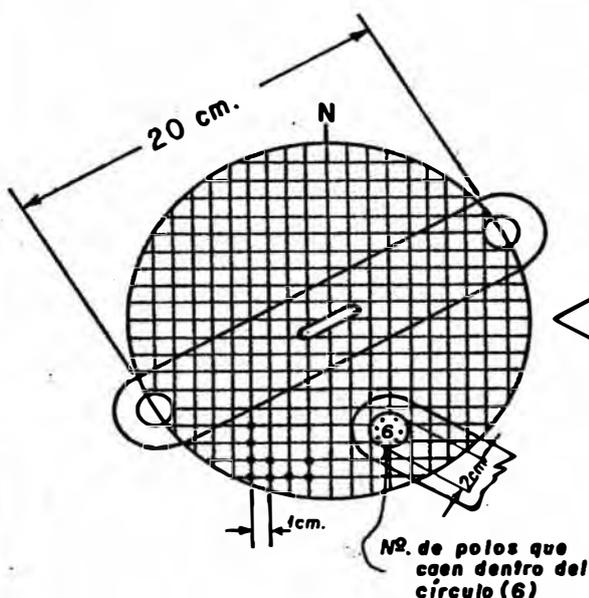
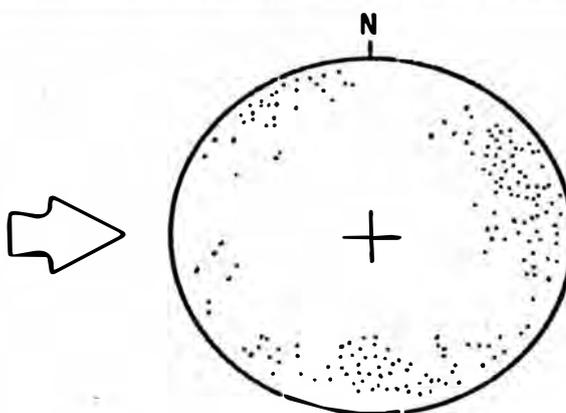
PASO 2 :

El círculo mayor sobre el que caen A y B define el plano que contiene estas dos líneas de modo que la magnitud en grados (64°) entre A y B es el **ANGULO ENTRE LAS DOS LINEAS**, y el buzamiento y la dirección de este plano 60° y 120° , respectivamente.

REGLA :

EL POLO DE UN PLANO QUE PASA A TRAVÉS DE LOS POLOS DE OTROS DOS PLANOS DEFINE LA LINEA DE INTERSECCION DE ESOS PLANOS.

Para graficar la gran cantidad de información de campo es conveniente usar la representación polar, por que, con la ciclográfica cuando el número de observaciones excede a más o menos 10 puede haber mucha confusión por la gran cantidad de círculos mayores, de modo que el gráfico presenta el siguiente aspecto:

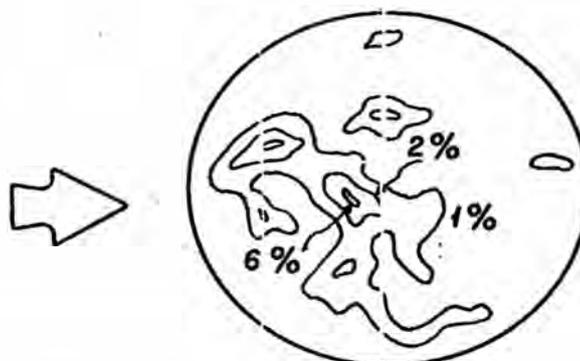


Para identificar la orientación preferida de los sistemas de discontinuidades estructurales se utilizan técnicas de conteo y utilizando un reticulado con divisiones de igual área y un contador como se muestra en la figura.

LINEAS DE CONTORNO :

Las líneas de contorno se determinan uniendo los porcentajes de contorno que tienen igual valor, ejemplo:

| | | | |
|----|-----------------------------|---|-----|
| Si | Nº total de polos | : | 134 |
| | Nº de polos dentro de ciclo | : | 8 |
| | % de contorno | : | 6% |



que simplificando da: $\psi_p > \phi$ como condición de deslizamiento.

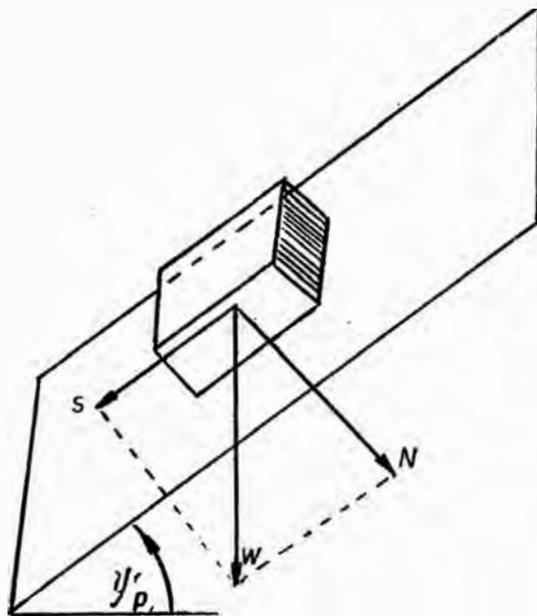
Como la fuerza resistente R_f actúa uniformemente sobre la superficie entre el bloque y el plano podemos imaginarnos el *cono de fricción* alrededor de la fuerza normal N , como se muestra en la Fig.(II-16). Este cono tiene una base circular de radio R_f , una altura vertical N y un ángulo semiesférico. La condición para el deslizamiento es satisfecha si el peso W cae fuera del cono de fricción.

El método de construcción de la proyección del cono de fricción en la red estereográfica es mostrado en la Fig.(II-17). Debe notarse que en el caso en que uno de los puntos a graficarse caiga fuera de la red, será graficado en el lado opuesto, desplazado en 180° como se muestra en los diagramas (d) y (e).

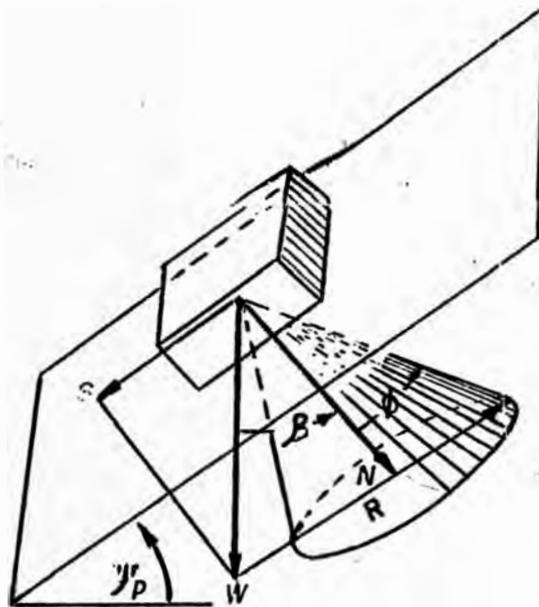
3.2 EXTENSION DEL CONCEPTO DE CONO DE FRICCIÓN A LA COHESION

La fuerza de resistencia al deslizamiento de la cohesión de un bloque ó cuña que descansa sobre un plano inclinado está dada por $R_c = c.A$, donde c es la resistencia de la cohesión de la superficie A y debe agregarse a la fuerza de fricción R_f , de modo que resultará un cono con una base circular de radio $R_f + R_c$ de altura N y un ángulo ϕ_a de fricción aparente será determinado por la relación:

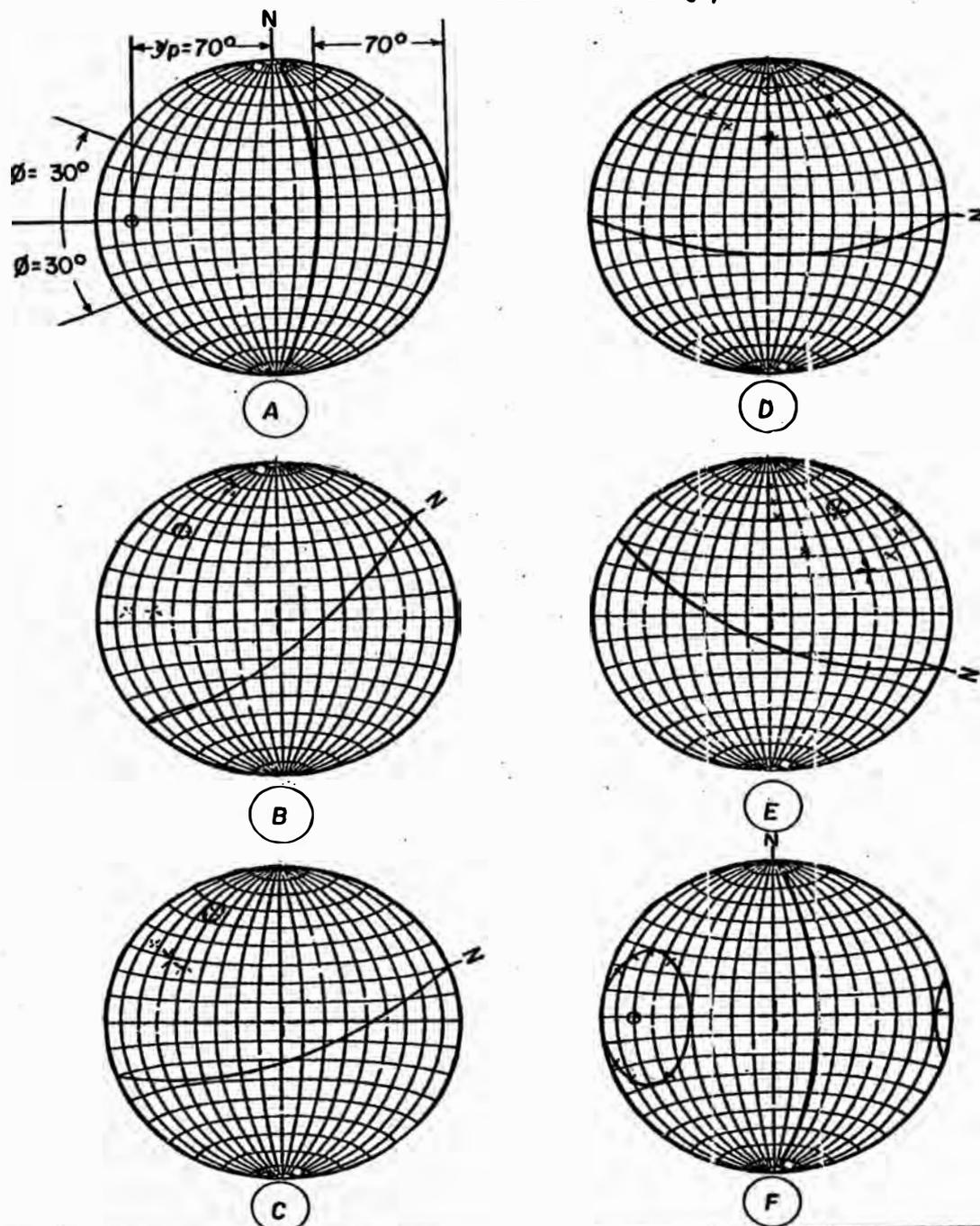
| | | |
|--|---|-----------------------|
| <p>TESIS INGENIERO DE MINAS APENDICE II</p> | <p>BLOQUE QUE DESCANZA SOBRE UN PLANO INCLINADO</p> | <p>Figuro (II-15)</p> |
|--|---|-----------------------|



| | | |
|--|---|-----------------------|
| <p>TESIS INGENIERO DE MINAS APENDICE II</p> | <p>DESLIZAMIENTO DE UN BLOQUE DERIBO A SU PROPIO PESO</p> | <p>Figuro (II-16)</p> |
|--|---|-----------------------|



Ejemplo: Angulo de fricción $\phi = 30^\circ$
Buzamiento $\psi_p = 70^\circ$



$$\operatorname{tg} \phi_0 = \frac{R_f + R_c}{N} = \operatorname{tg} \phi + \frac{cA}{W \cos \psi_p}$$

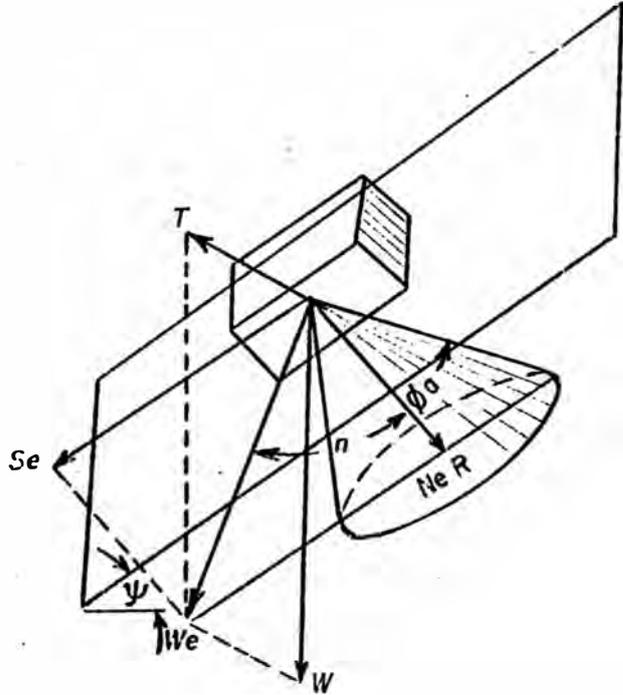
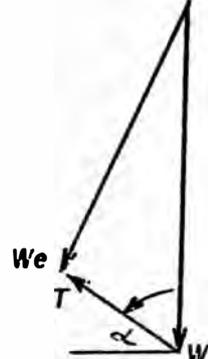
que puede ser analizado gráficamente como el acápite anterior.

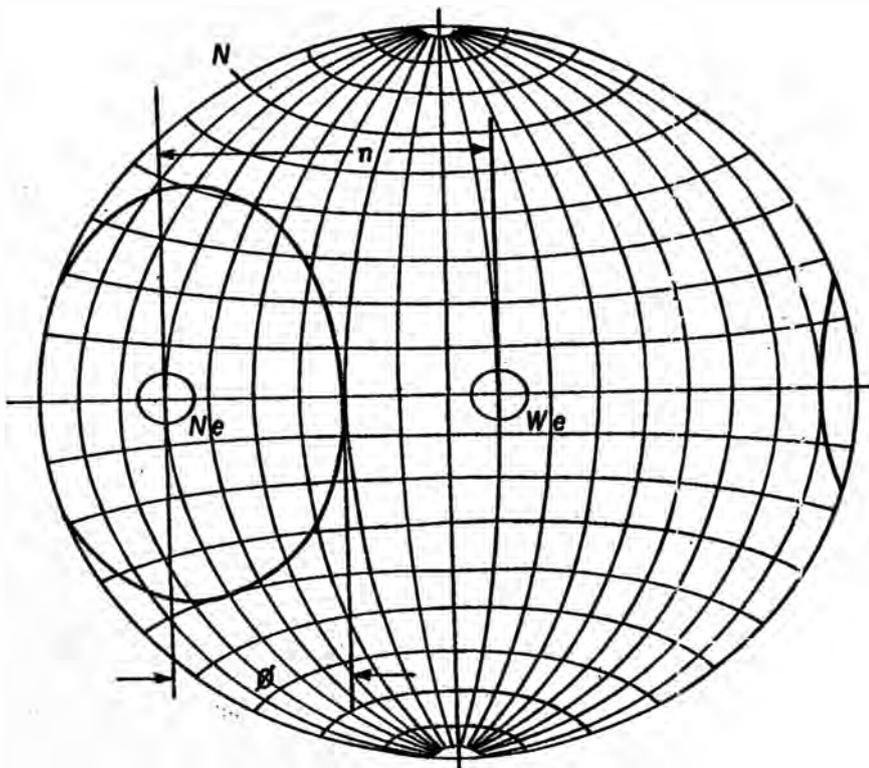
3.3 DETERMINACION GRAFICA DEL FACTOR DE SEGURIDAD

Considerando los gráficos de las Figs.(II-18) y (II-19) el factor de seguridad de un plano que descansa sobre un plano inclinado es:

$$F = \frac{R}{S_0} = \frac{W_e \cos \eta \operatorname{tg} \phi_0}{W_e \sin \eta} = \frac{\operatorname{tg} \phi_0}{\operatorname{tg} \eta}$$

La determinación de los ψ , ϕ_0 y η en la dirección potencial de deslizamiento, se efectúa rotando la traza hasta que los puntos N_e y W_e estén situados en el eje $W-E$ de la red estereográfica como se muestra en la Fig.(II-20)

| | | |
|---|---|-------------------------|
| TESIS INGENIERO DE MINAS AFENDICE II | INFLUENCIA DE UNA FUERZA EXTERNA T SOBRE UN BLOQUE QUE SE DESLIZA SOBRE UN PLANO INCLINADO | Figura (II - 18) |
|  <p>The diagram shows a 3D perspective of a rectangular block on an inclined plane. A vertical dashed line represents the weight vector W. A vector T is applied to the top of the block, pointing upwards and to the left. The normal force vector Ne is perpendicular to the inclined surface. The reaction force vector R is parallel to the inclined surface, pointing downwards. A vector Se is shown along the horizontal base of the block. The weight vector W is decomposed into a component We acting vertically downwards and a component Wp acting parallel to the inclined surface. The angle between the inclined plane and the horizontal is α, and the angle between the weight vector W and the vertical dashed line is ψ.</p> | | |
| TESIS INGENIERO DE MINAS AFENDICE II | DIAGRAMA DE FUERZAS PARA LA ACCION DE LA FUERZA EXTERNA T | Figura (II - 19) |
|  <p>The diagram is a 2D force triangle. It shows a vertical vector W pointing downwards. A vector T is applied to the top of W, pointing upwards and to the left. A vector We is shown as a horizontal vector pointing to the left from the top of W. A vector R is shown as a horizontal vector pointing to the right from the bottom of W. The angle between W and T is α.</p> | | |



Factor de seguridad: $F = \text{tg } \varnothing_0 / \text{tg } n$

4. PROGRAMA COMPUTARIZADO PARA EL ANALISIS ESTEREOGRAFICO DE DISCONTINUIDADES GEOLOGICAS

4.1 GENERALIDADES DEL PROGRAMA

El programa de análisis estereográfico es una herramienta práctica, que por medio de la computadora reproduce matemáticamente las técnicas manuales de la preparación de estereogramas, partiendo de las relaciones matemáticas básicas. Este programa fué desarrollado para proveer un rápido, preciso y económico medio de analizar la orientación de las discontinuidades, originalmente fué escrito en *Fortran IV* para usarse en un computador IBM 1130 con un ploteador 1627 para graficar los diagramas, pero se ha convertido y actualmente se procesa en cualquier computador personal.

El sistema se usa para analizar los sistemas de discontinuidades, y la relación que existe entre ellas para evaluar las zonas potenciales de falla mediante los modelos matemáticos de planos o cuñas de fallas.

4.2 APLICACION

Los métodos manuales, expuestos anteriormente, de estereogramas estadísticos son tediosos y susceptibles a error de la persona que efectúa el análisis. Este programa fué escrito para obviar estas dificultades. El programa efectúa matemáticamente y en forma repetitiva las técnicas manuales de preparación de estereogramas y graficación de estructuras. Los estereogramas resultantes son

presentados, ya sea en forma polar ó de igual área, según los requerimientos del análisis.

El programa reduce el tiempo de por lo menos un día en el gráfico manual, al tiempo que toma digitar la información de entrada en disquetes y unos cuantos minutos para que el computador ejecute el programa. Una de las grandes ventajas que ofrece es que una gran cantidad de información puede ser suprimida, analizada ó reactualizada, que por los métodos normales sería sumamente tedioso efectuar y tomaría mucho tiempo.

Como ejemplo se muestra los gráficos de salida obtenidos de una corrida efectuada para la Mina 5 de Marcona, utilizando como datos de entrada los del formato (I-2) del Apéndice anterior, Figs. (II-21) y (II-22)

4.3 CONCEPTOS TENIDOS EN CUENTA EN LA ELABORACION DEL PROGRAMA

4.3.1 SIMBOLOS USADOS EN EL ESTEREOGRAMA

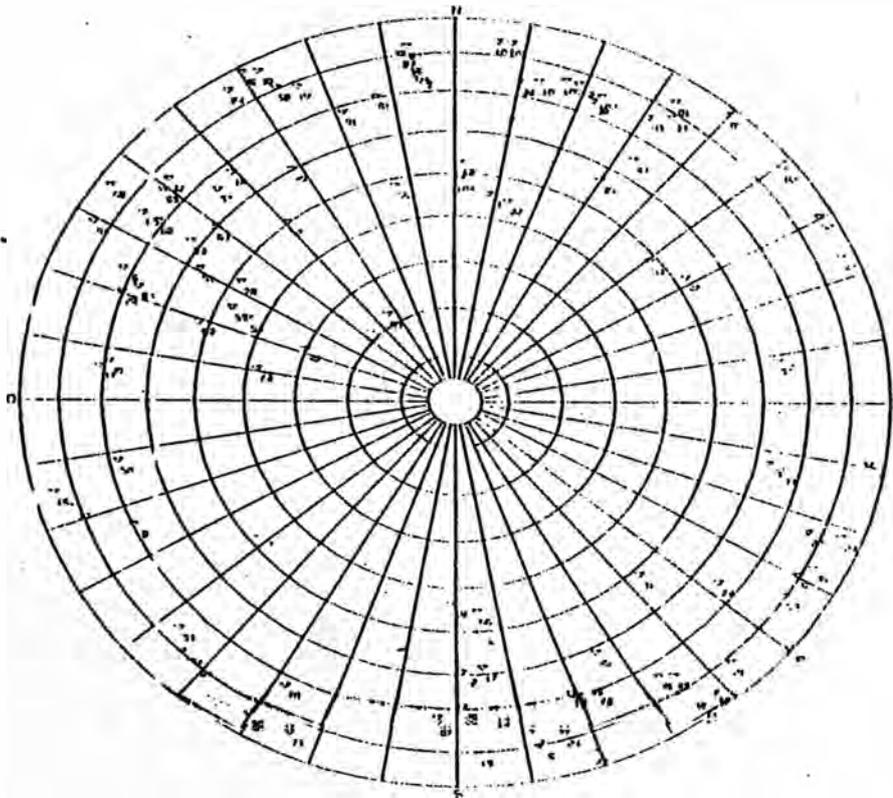
Para identificar cada una de las discontinuidades se han usado los siguientes símbolos:

| DISCONTINUIDAD | SIMBOLO |
|----------------|---------|
| 1. Diaclasa | + |
| 2. Estrato | x |

TESIS INGENIERO
DE MINAS
APENDICE II

ESTEREOGRAMA POLAR
MINA - 5 TALUD NW

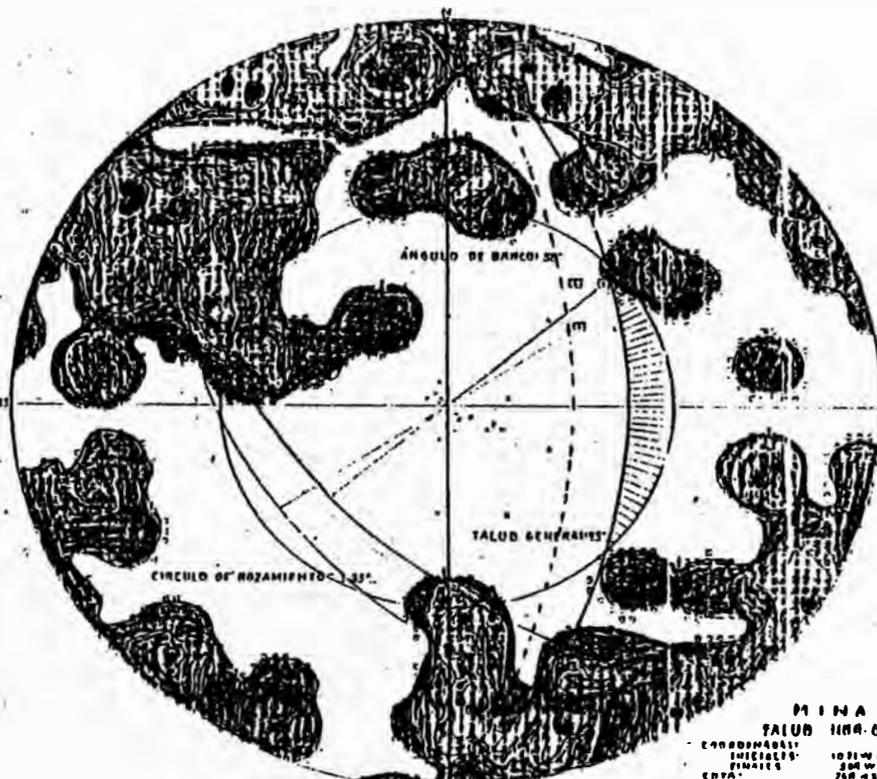
Figura (II -21)



ESTEREOGRAMA SINTEIT DE AREAS IGUALES
DIAGRAMA DE PUNTO
CONCENTRACION SEGUN SU COORDENADO

MINA S TALUD NW
PUNTO 104 SEPTIEMBRE 15, 1973

MINA 5
TALUD NOR-OESTE



| | | | | | | | |
|--------|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|
| PITCH | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 4.0 | 10.0 | 10.0 | 7.0 |
| PLANES | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| CUÑAS | 2 | | | | | | |
| PLANOS | 0 | | | | | | |

FALLAS DE CUÑAS PLANOS

**MINA 5
TALUD NOR-OESTE**

COORDENADAS: 10 11 W - 28 20 N
 ELEVACION: 200 M - 270 M
 CUÑA: 700 M - 800 M

CIRCULO DE CONTACTO: 33°
 ANGULO DE TALUD: 33°
 ANGULO DE BANCO: 30°

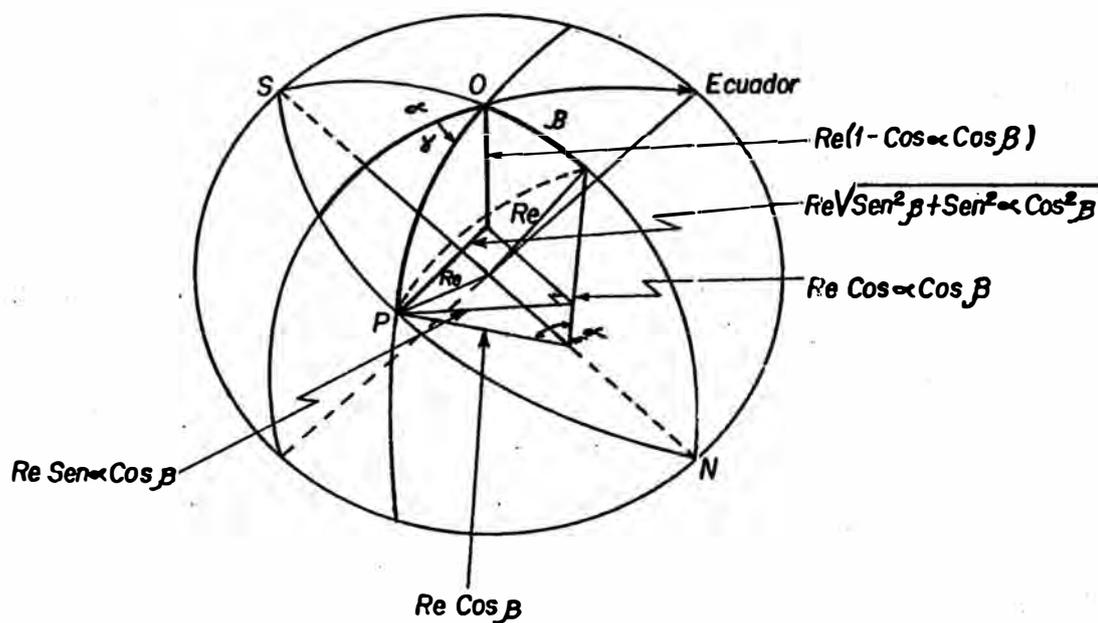
RESULTADO: TALUD ESTABLE
 BANCO ESTABLE
 PLANEAMIENTO: SIMA

MINA: 5 TALUD: NW
 ESTADISTICA: 100% 100% 100% 100% 100%

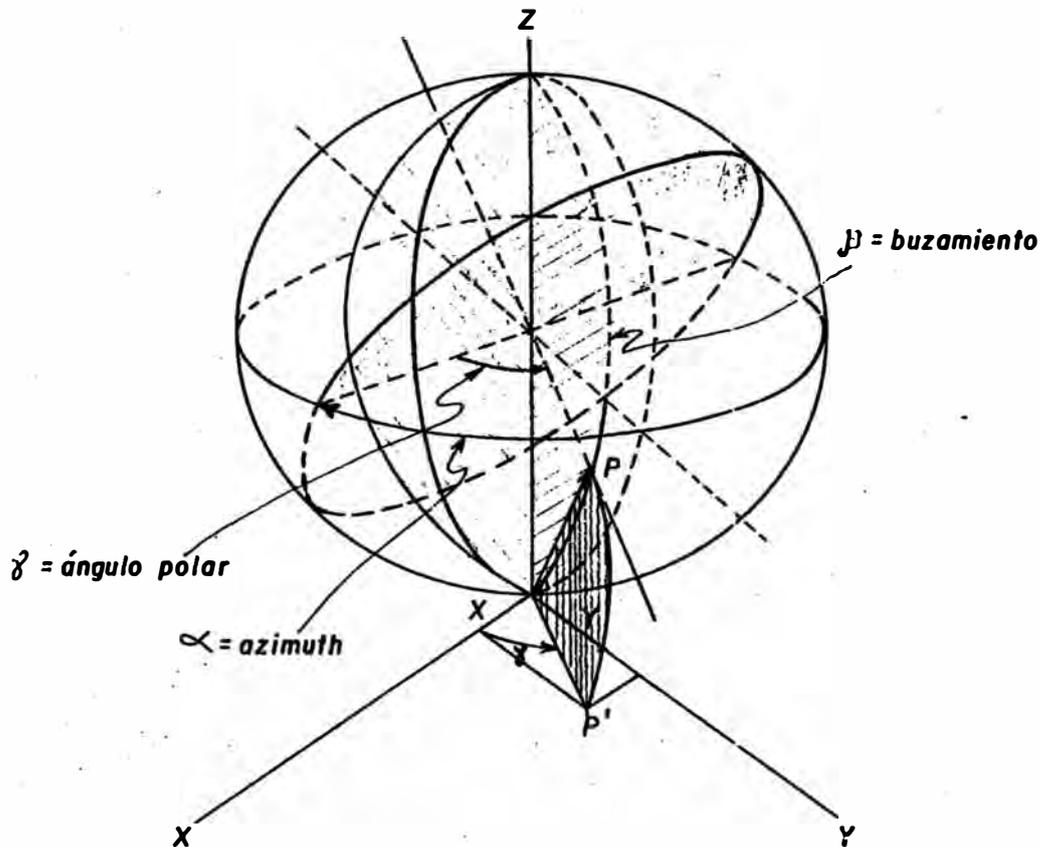
| DISCONTINUIDAD | SIMBOLO |
|----------------|---------|
| 3. Shear | ▷ |
| 4. Falla | ▽ |
| 5. Foliación | △ |
| 6. Dique | ◁ |
| 7. Otros | ✱ |

4.3.2 RELACIONES MATEMATICAS

Son mostradas en los gráficos y sirvieron para elaborar las sentencias del programa, Fig. (II-23).



- $\alpha = \text{longitud} \} P$
- $\beta = \text{latitud} \} P$
- $Re = \text{radio de la esfera}$
- $R = \text{radio del estereograma} \} R = Re\sqrt{2}$
- $\gamma = \text{ángulo polar}$
- Cuerda $\overline{OP} = R\sqrt{1 - \cos \alpha \cos \beta}$



COORDENADAS DE LOS POLOS EN LA ESFERA (X, Y, Z):

$$X = R \operatorname{Sen} \beta \operatorname{Cos} \gamma ; Y = R \operatorname{Sen} \beta \operatorname{Sen} \gamma ; Z = R \operatorname{Cos} \beta$$

COORDENADAS DE LOS POLOS EN LA PROYECCION (X, Y, Z):

$$\left. \begin{aligned} X &= \sqrt{2} R \operatorname{Sen} (\beta / 2) \operatorname{Cos} \gamma \\ Y &= \sqrt{2} R \operatorname{Sen} (\beta / 2) \operatorname{Sen} \gamma \\ Z &= 0 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Coordenadas para graficar} \\ \text{el estereograma polar variando:} \\ \gamma = \text{ángulo polar (horizontal)} \\ \beta = \text{buzamiento} \end{array}$$

A P E N D I C E

III

**ANALISIS PRELIMINAR DE ESTABILIDAD DE PENDIENTES
EN LAS MINAS DE MARCONA**

MINA 5

EMPRESA MINERA DEL HIERRO DEL PERU

" HIERRO - PERU "

1. UBICACION

1.1 SITUACION GEOGRAFICA

Las minas de Marcona están situadas en el Departamento de Ica, Provincia de Nazca, en el extremo Sur del Distrito del mismo nombre, cerca al mar y a una distancia de 450 Kms. al S.E. de Lima, Fig.(III-1). Los yacimientos se encuentran sobre una meseta a 800 Mts. de altura s.n.m.

Las coordenadas geográficas de la mina; según la hoja 31-M de la Carta Nacional son:

- Longitud : 75° 08' 15" Oeste,
- Latitud : 15° 20' y
- Altitud : 800 Mts. s.n.m.

1.2 CLIMA

El clima es el típico de la costa peruana, bastante seco, desértico con flora y fauna casi nulas, aunque a 25 Kms. hacia el Sur de las minas surge en invierno una vegetación que desaparece con el cambio de estación.

De la información del SENAMHI se infiere que la temperatura promedio en invierno es de 15.1°C (Agosto). La precipitación promedio en verano es de 0.1 milímetros (Marzo) y en invierno de 1.7 La presión atmosférica promedio anual 1,012.8 milibares.

TESIS INGENIERO
DE MINAS
APENDICE III

LOCALIZACION DEL DISTRITO
MINERO DE MARCONA

Figuro (III-1)



La velocidad de los vientos es de 9.8 Km/hr para los vientos del Sur y de 12.9 Km/hr cuando se trata de los vientos del S.E.

1.3 SISMOLOGIA

Según Ocola y Espejo en el Perú, se pueden distinguir dos zonas sísmicas principales:

Una faja costera (Occidental) estrecha (100 a 150 km de ancho) y bien delimitada, que bordea la costa del N.O. hasta el S.E.; está ubicada en la mesa continental en la zona N. y en la costa en la zona S. Se caracteriza por una alta actividad sís mica cuyos centros más activos son, de S. a N.: Arica, Arequipa, Acarí, Lima, Ancash y Tumbes, Fig. (III-2)

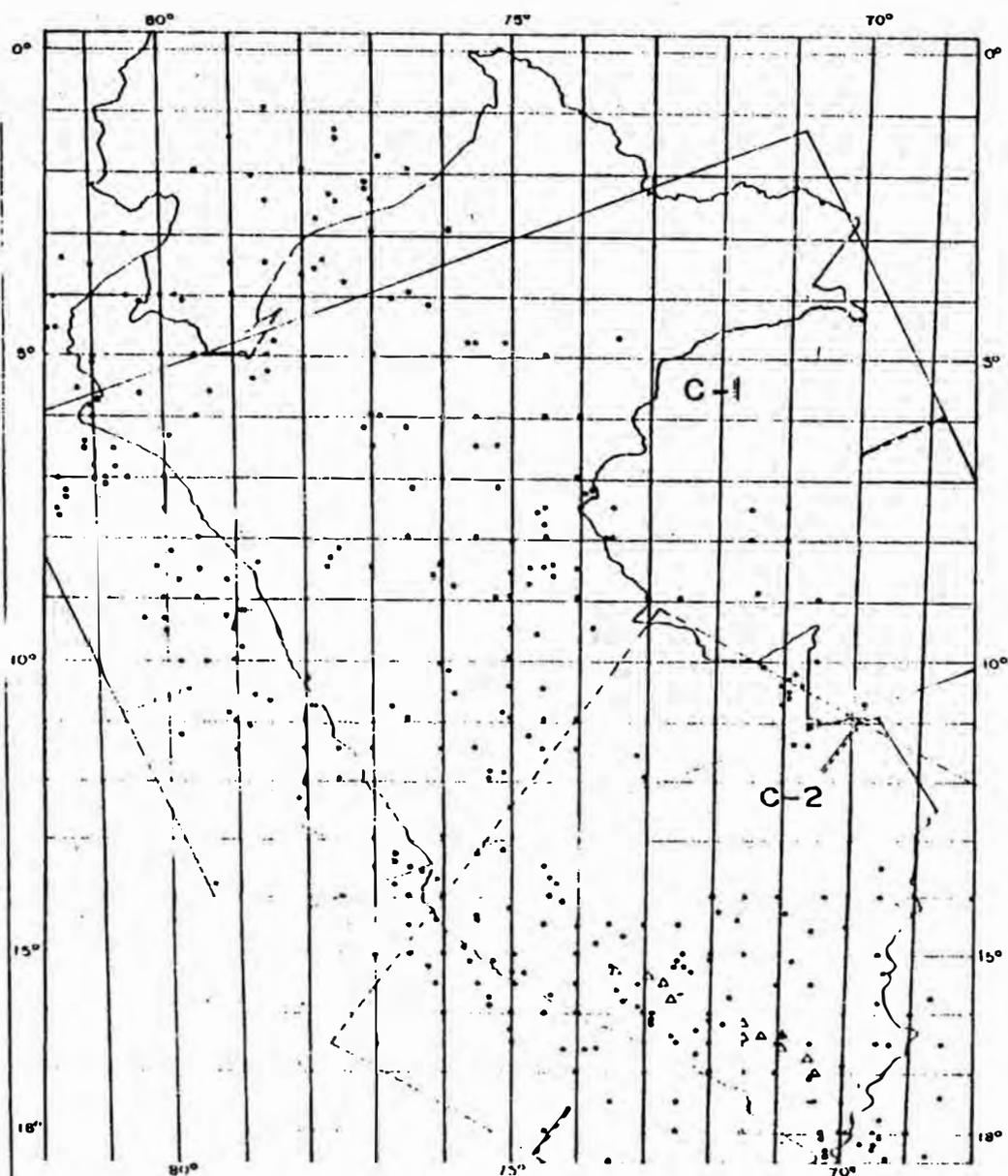
- Una faja continental (Oriental) ancha e interrumpida de N. a S. por una discontinuidad geográfica de latitud 13°.

Las minas de Marcona se encuentran en la primera faja y son influenciadas por los sismos cuyo centro de actividad es Acarí, las Figs. (III-2 y 3) muestran que esta zona es particularmente afectada por los sismos, como lo confirma el sismo registrado en 1,942 de intensidad 9, con epicentro en San Juan.

TESIS INGENIERO
DE MINAS
APENDICE III

EPICENTROS SISMICOS REGISTRADOS
DE ENERO DE 1949 A JULIO DE 1963

Figura (III-2)

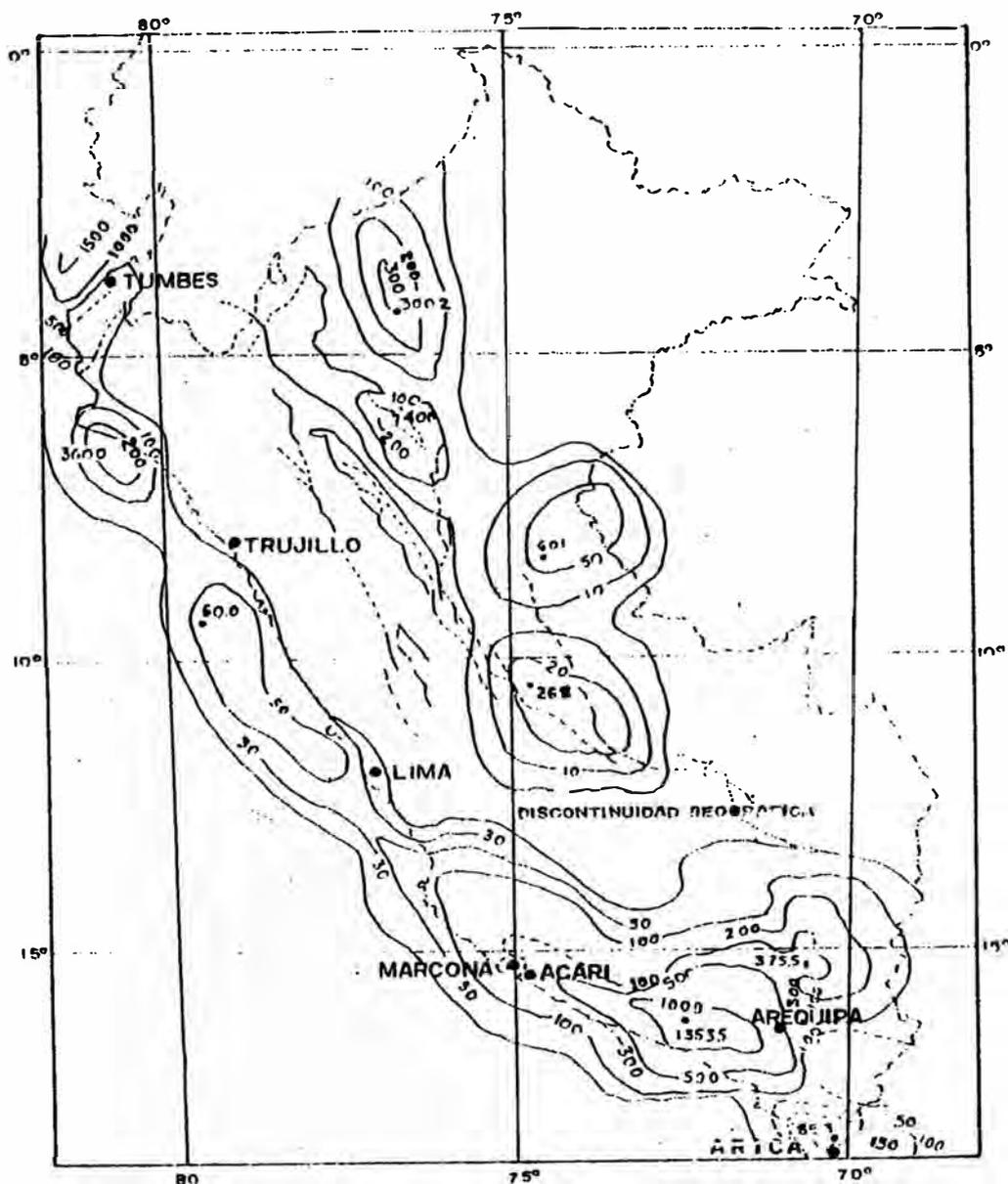


Tomado del Informe
("Earthquake activity of Perú"
Por Leonidas Gcole)

TESIS INGENIERO
DE MINAS
APENDICE III

CURVAS ISOENERGETICAS DE LOS SISMOS
REGISTRADOS DE ENERO 1949 A JULIO 1963

Figura (III-3)



(Tomado del Informe
"Earthquake activity of Perú"
Por: Leonidas Ocola)

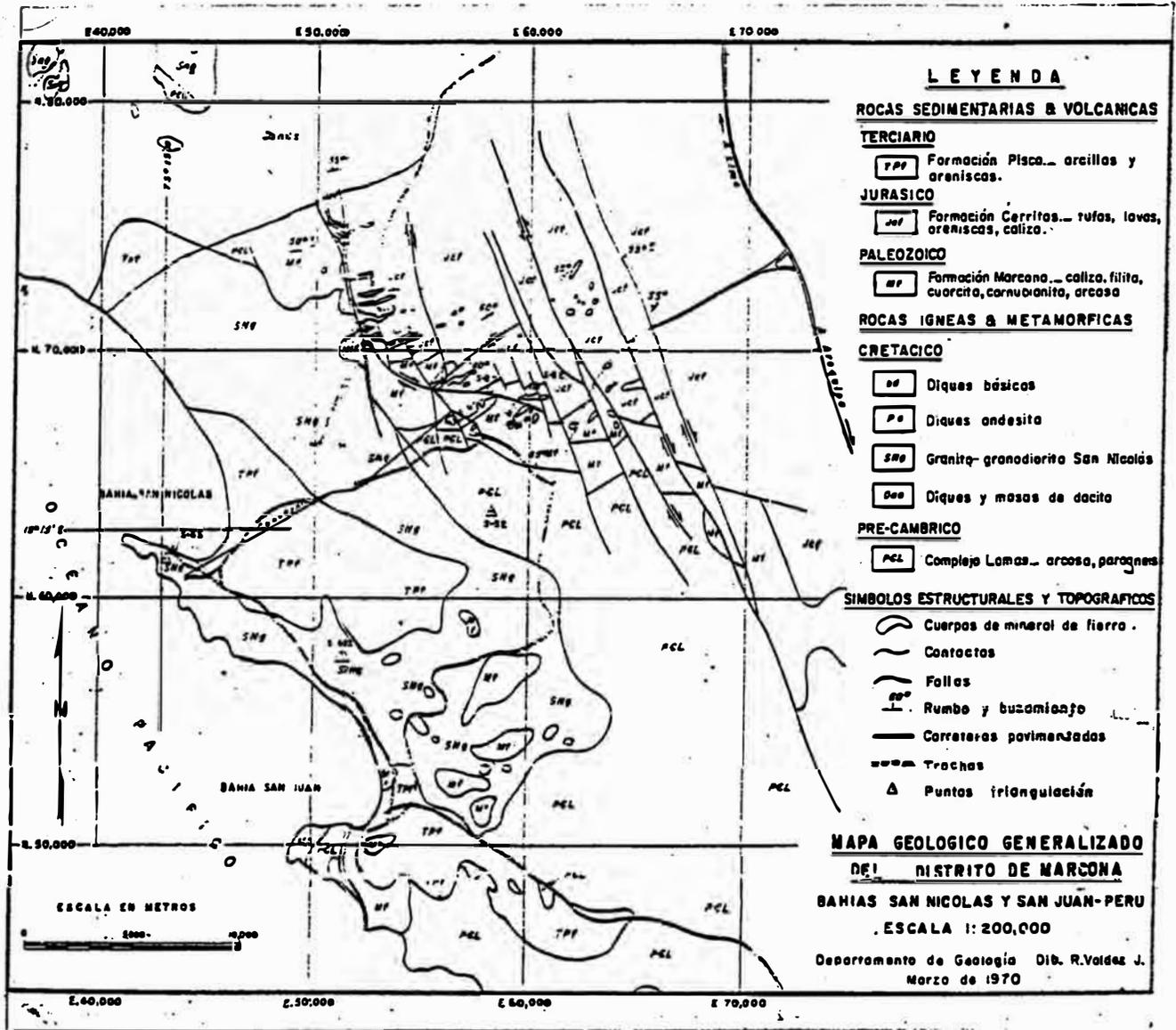
1.4 HIDROLOGIA

Se han hecho y se vienen haciendo búsquedas de aguas subterráneas para alimentar las instalaciones y resolver problemas técnicos de concentración de minerales, los estudios resultantes y la práctica de las operaciones mineras demuestran la ausencia de aguas subterráneas y como las lluvias son de baja intensidad y frecuencia, la influencia del agua sobre la estabilidad de las pendientes es insignificante, pudiendo eliminarse como factor de análisis.

2. GEOLOGIA

2.1 GEOLOGIA GENERAL

El área en estudio se encuentra en una extensa meseta esculpida que forma parte de la cadena costanera muy erosionada, hacia el Oeste se encuentran 27 terrazas litológicas, producidas por movimientos en el terciario superior y durante el cuaternario de sollevamientos intermitentes continentales y posibles fallamientos que son los que limitan la zona por el lado del mar. Por haber sido región de sedimentación no presenta irregularidades topográficas notables, más bien es una penillanura ondulada con colinas de poca elevación y cubiertas por encapado aluvial no consolidado de cantos rodados, gravas, arenas, restos fósiles recientes, fragmentos pulidos de minerales de fierro, como consecuencia de las inundaciones marinas por los levantamientos intermitentes y también por la



fuerte acción eólica.

La zona pertenece a la Cordillera de la Costa formada por el gran batolito de granodiorita del cretácico superior que intruyó, principalmente, a: metamórficos precámbricos; meta-sedimentos marinos paleozoicos del carbonífero inferior, meta-sedimentos continentales y meta-volcánicos mesozoicos del jurásico, todos los cuales están muy metamorfisados.

Además se encuentran tufos con sedimentos del cretácico inferior y superior, sedimentos terciarios con poca inclinación y no muy consolidados.

Se presentan también otras intrusiones como diques, derrames tabulares que cruzan y cortan todas las formaciones, siendo la mayoría de estas intrusiones post-mineral, aunque con menor incidencia se presentan también pre-mineral, factor que con el fallamiento y los movimientos orogénicos andinos del cretácico superior y terciario inferior, presentan estructuras complejas.

2.2 LITOLOGIA

2.2.1 ESTRATIGRAFIA

La secuencia de formaciones, que van desde el precámbrico hasta el cuaternario presentan disconformidades y discordancias entre ellas, siendo las determinadas a la fecha las siguientes:

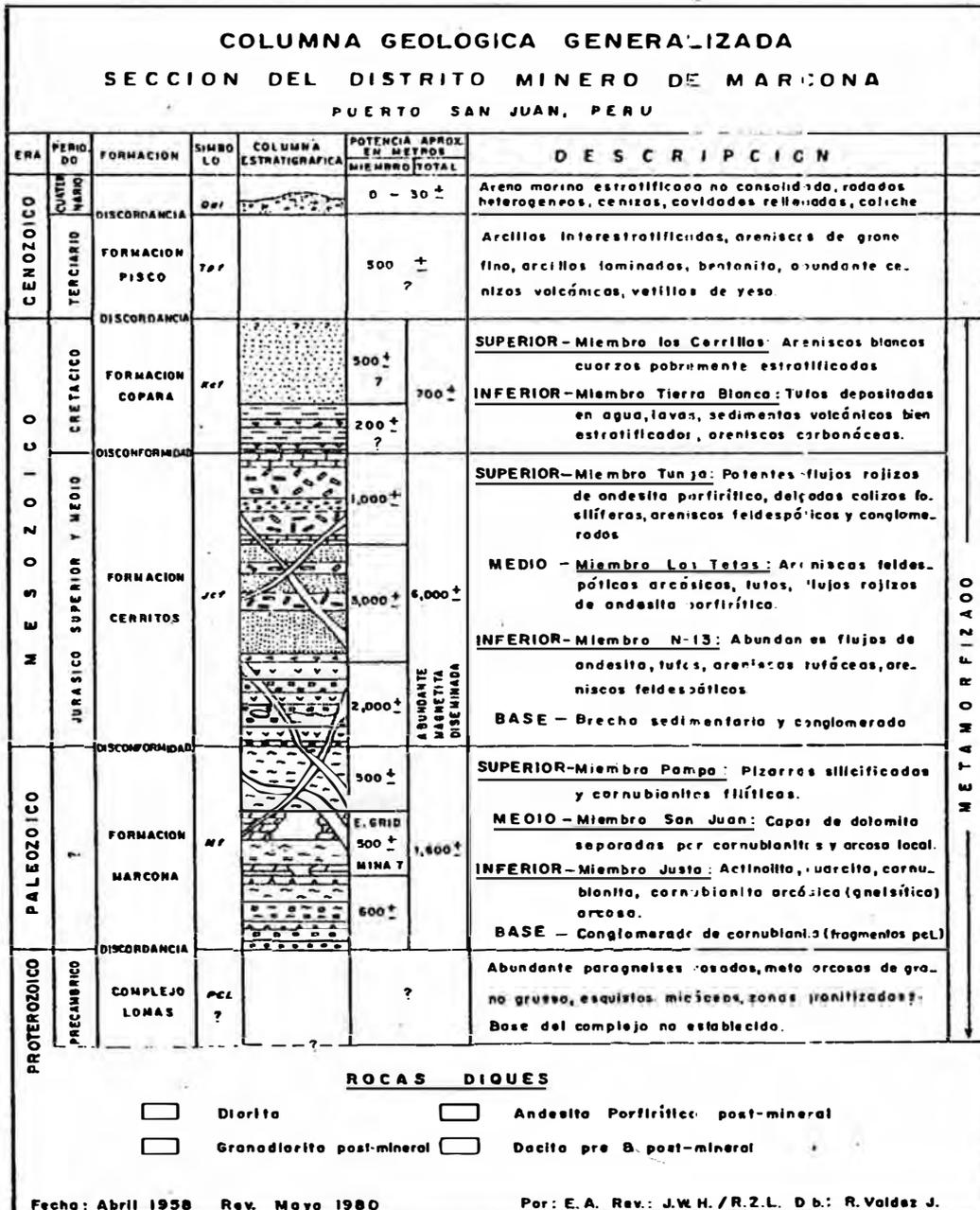
- *Complejo Lomas.*- Pertenece a una formación precámbrica metamórfica constituida por arcosas y meta-arcosas rosadas de grano grueso, gneisses, orthogneisses, paragneisses, esquistos micáceos y migmatitas; los afloramientos se inician al Sur del área minera.

- *Formación Marcona.*- En discordancia con la formación anterior, pertenece al paleozoico del carbonífero inferior, consta principalmente de meta-sedimentos marinos: cornubianitas silicificadas y filíticas, dolomitas, cuarcitas, cornubianitas arcólicas y conglomeráticas.

En esta formación, de un espesor aproximado de 1,600 Mts., se encuentran los principales yacimientos orientados en el sentido general Noreste - Suroeste.

- *Formación Cerritos.*- En discordancia con la anterior, es la más potente, aproximadamente 6,000 Mts. con abundante diseminación de magnetita principalmente en el miembro inferior formado por brechas sedimentarias y conglomeráticas, así como flujos andesíticos, tufos, areniscas tufáceas y feldespáticas, conteniendo fósiles llamados Rhynchonella del jurásico medio; en este miembro inferior se encuentran zonas de baja ley de hierro y alto azufre

Los miembros superiores muestran actividad volcánica intensa con gran espesor y sedimentación de calizas fosilíferas, sedimentos tufáceos, brechas



- volcánicas, tufos andesíticos y areniscas feldespáticas - arcóscas.
- *Formación Copara.*- Encima de la anterior, presenta en discordancia rocas del cretácico inferior, basada en fósiles vegetales, consistente de arcillas interestratificadas y abigarradas, sedimentos calcáreos, areniscas carbonáceas y tufos. Con potencia aparente de 700 Mts. y sin interés económico.
 - *Formación Pisco.*- Por encima de una superficie de discordancia angular y de erosión, presenta rocas sedimentarias del terciario de mares pelágicos consistente de arcillas bentoníticas, yesíferas, finas areniscas fosilíferas, cenizas volcánicas, con ángulos de inclinación muy bajos a horizontales.
 - *Aluvión.*- Sedimentos marinos cuaternarios, estratificados, no consolidados de arena, rodados heterogéneos, grava, fósiles marinos de varias especies similares a las vivientes y una costra dura de yeso, sales de magnesio, sodio y carbonato de calcio (*caliche*).

2.2.2 ROCAS INTRUSIVAS

Existe variedad de edad, composición, tamaño y textura de las rocas plutónicas del área, existen dos batolitos principales al Este y al Oeste, estrechamente relacionados. Así tenemos:

- *Granodionita de San Nicolás.*- Aflora al Sur-Oeste y al Norte de la mina, del cretáceo superior, parece que junto con los primeros plegamientos de la Cordillera Andina subió el magma granodiorítico, contiene rocas que varían desde dioritas a sienitas y granodioritas.

- *Dacita.*- Ligeramente porfirítica, se presenta como diques, capas intrusivas ó masas de contacto muy irregulares y sinuosas, así como de buzamientos muy variables. Es probable que hayan habido varios períodos de inyección dacítica y así se tendría secuencias pre-mineral y post-mineral.

- *Diques Básicos.*- De textura ligeramente porfirítica y otras más afaníticas. Existen básicos pre-mineral como los basáltico-doleríticos que abarcan áreas irregulares, con contactos muy sinuosos, con poco ángulo de inclinación y formando delgadas capas horizontales, a menudo mineralizadas, escapan a un buen control geológico y aparecen sorpresivamente. Los post-minerales son básicos, andesíticos-dioríticos que forman diques regulares, continuos vinculados a pequeñas fallas.

- *Andesita.*- Es post-mineral, se presenta en diques bien definidos y regulares en su continuidad, de textura porfirítica con grandes fenocristales de plagioclasas. Mayormente tienen orientación Norte-Sur, Noroeste y Sureste y han intruído a lo largo de las zonas débiles de fallamiento.

- *Granodiorita.*- Son post-mineral, ligeramente más joven que la andesita. Se ha formado a lo largo de zonas débiles de fallamiento de orientación Nor-te-Sur y Noroeste. Se presenta como delgados diques y masas intrusivas pequeñas de textura equi granular fina.

2.2.3 METAMORFISMO

En general las rocas principales han estado sujetas a varios tipos de procesos que las han alterado, así han estado sometidas a:

- *Metamorfismo Regional ó Dinámico.*- Deformándose y alterándose las texturas primitivas, donde el factor principal ha sido la presión dirigida ó presión simultánea en toda dirección determinando la formación de fillitas.
- *Metamorfismo de Contacto.*- Donde el cambio de temperatura es el factor principal por la presencia de cornubianitas.
- *Metasomatismo.*- El factor principal ha sido el cambio de composición por introducción y remoción de materiales por medio gaseoso ó acuoso, por la presencia de gneiss.
- *Metamorfismo Dinámico Térmico.*- Los factores predominantes son el aumento de la presión dirigida y la temperatura con cambios de composición subordi-

nados, resultando esquistos y gneisses, y finalmente

- *Metamorfismo Plutónico ó Migmatización.*- Por inyección de materiales del magma granítico en rocas foliadas (gneiss), la refusión parcial permite que la roca sea deformada viscosamente. Es posible también una granitización.

2.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Todo el conjunto estratificado, se encuentra determinando la estructura de un homoclinal de rumbo S.O. y N.O. con buzamiento que oscila entre 35° y 65° al N.E. A escala regional los sedimentos tienen rumbo N.O. e inclinaciones al N.E. formando un anticlinal actualmente erosionado. Esta simple estructura se muestra bastante compleja por las intrusiones, participando también los movimientos tectónicos periódicos.

2.3.1 FALLAMIENTO

En las formaciones encontradas en las minas existen fallas principales que conforman tres sistemas que se han relacionado por sus rumbos y buzamientos más ó menos iguales; el movimiento a lo largo de ellas ha sido horizontal y vertical. Estas familias de fallas son las siguientes:

- *Fallas Pista.*- Las más antiguas y menos desarrolladas. Son fallas normales gravitacionales, tie

nen un rumbo de N. 65° O. y un buzamiento de 60° N.E. a 74° O.

- *Fallas de Repetición.*- Son tensionales-compresionales, **inversas** o sea producidas por fuerzas de tensión, combinadas a un sistema opuesto de compresión. Tienen un rumbo de N. 47° E. y buzamiento de 65° N.O.
- *Fallas la Huaca.*- Son las más recientes y desarrolladas, paralelas a la Cordillera de los Andes. El plano de falla determina una rotura y desplazamiento de tipo normal. Tienen rumbo de N. 25° O. y buzamiento de 60° N.E. a 80° S.O.

Estos sistemas van acompañados por innumerables clasas, shear, etc., con fuertes cambios de los ángulos normales de buzamiento y bruscas terminaciones de rumbo. Sus características de cara, regularidad, espaciamiento, origen, tipo de relleno y de espesor de falla son muy variables.

2.4 CUERPOS DE MINERAL

En las formaciones de Marcona el mineral se encuentra en yacimientos de forma tabular con contactos tajantes con el terreno encajonante pero con bordes sinuosos.

MINERALES PRINCIPALES:

Hematita, (Fe₂ O₃).- Masiva, ligeramente porosa,

muy dura.

Martita, ($Fe_2 O_3$).- También masiva y dura.

- *Limonita*, ($Fe_2 O_3 \cdot H_2O$).- Amorfa y suave.

- *Magnetita*, ($Fe_3 O_4$).- Masiva, finamente criptocristalina, suave a muy dura y magnética.

EFFECTOS DE INTEMPERISMO:

Se pueden distinguir tres zonas de alteración con características diferentes:

- *Zona de Oxidación y Lixiviación*.- Es la más cercana a la superficie y presenta a menudo una laminación ó fracturamiento horizontal. Profundiza hasta un promedio de 30 Mts.

- *Zona de Transición*.- Formada por los aportes de los productos de lixiviación. Su espesor es de unos 10 Mts.

- *Zona de Sulfuros Primarios*.- Es la más profunda y

3. FORMA Y METODOS DE INFORMACION

Para un área extensa fué necesario un sistemático planeamiento de exploración en cuya secuencia de actividad

des se usó lo siguiente:

- Levantamiento geofísicos.
- Mapeos geológicos: Con auxilio de fotografías aéreas, métodos de plancheta, determinaciones petrográficas de laboratorio.
- Perforación de percusión.
- Perforación diamantina.
- Piques y galerías - cruceros.
- Mapeo de minas por bancos.

3.1 METODOLOGIA APLICADA

Se ha buscado, de definir los elementos representativos de las condiciones topográficas, litológicas, estructurales y geotécnicas necesarias, para esto se consultaron los documentos geológicos existentes.

El análisis de esos documentos ha permitido definir las características litológicas y estructurales de la zona de Marcona y determinar zonas homogéneas que han sido completadas por observaciones *in-situ* de los taludes.

Se ha realizado un análisis estructural rápido de cada una de las zonas con la ayuda de formularios de levantamiento de fracturas como el mostrado en la Fig.(III-6).

Este análisis estructural dió lugar a un estudio estadístico de la fracturación cuya secuencia de trabajo se expone seguidamente.

3.1.1 METODO DE CAMPO

Como la magnetita tiene fuertes propiedades magnéticas, no se pudo emplear la brújula, de modo que se empleó el método que se describe a continuación.

3.1.1.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO

Se siguieron los siguientes pasos:

- a. Se efectuó un reconocimiento de los puntos de control (puntos de triangulación y auxiliares) para establecer la secuencia de poligonales con teodolito y/o plancheta en las zonas accesibles.
- b. Luego se colocaron clavos de cinco pulgadas en la parte inferior de las paredes de los bancos cuidando de que estuvieran en la misma cuota y su espaciamento no excediera de 40 Mts. (para evitar la catenaria).
- c. Se efectuó el levantamiento topográfico de los planos y su graficación en los planos respectivos.

3.1.1.2 MEDICION DE ESTRUCTURAS

En el mapeo se empleó una brújula Brunton para medir la inclinación de las estructuras, una wincha de metal de 50 Mts. de longitud, una escuadra de quijada para medir el ángulo entre el rumbo de la estructura y la wincha.

En la identificación de las estructuras se tuvo en cuenta las siguientes características: traza superficial, la persistencia, efectos transitorios, grado de fracturamiento y alteración de la roca.

Los datos fueron recogidos en el formato de la Fig. (III-6A).

3.1.1.3 MUESTREO DE ROCAS

Se extrajeron bloques de 40 x 40 x 15 Cms. para determinar algunas propiedades físicas que se analizaron en el Laboratorio de Mecánica de Rocas de la Universidad Católica del Perú.

Se efectuaron las siguientes pruebas:

- a. Peso específico.
- b. Porosidad aparente.
- c. Resistencia a la compresión.
- d. Resistencia a la tracción.

e. **Módulo de elasticidad**

Los resultados se muestran en la Tabla (III-1).

3.1.2 METODO DE GABINETE

3.1.2.1 GRAFICACION DE ESTRUCTURAS

Los datos de mapeo contenidos en el Formato A, Fig. (III-6A), fueron graficados en el plano respectivo.

Se calculó el rumbo de cada estructura y se corrigió la orientación de la inclinación.

Con los datos anteriores se calculó el azimut de la inclinación para lo cual se usó el Formato B, Fig.(III-6B).

3.1.2.2 PROYECCIONES ESTEREOGRAFICAS - ANALISIS GRAFICO DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Con el propósito de facilitar el análisis, las características estructurales mapeadas fueron ploteadas en representaciones estereográficas, para lo cual se desarrolló el sistema mecanizado ya expuesto en el Apéndice II.

El análisis gráfico de la estabilidad de los taludes se ha efectuado primeramente siguiendo los principios gráficos expuestos en el Apéndice II. Para eso se han definido las condiciones estructurales representativas de zonas geológicamente homogéneas susceptibles de análisis, des

| TESIS INGENIERO DE MINAS APENDICE III | | PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE MUESTRAS DE LAS MINAS DE MARCONA | | | Tabla (III - 1) |
|---|------|--|--------------------------------|--------------------------------|--|
| MUESTRA No. | P.e. | P.A. (%) | R_c (Kg/cm ²) | R_t (Kg/cm ²) | $E \times 10^5$ (Kg/cm ²) |
| 1 | 2.62 | 0.79 | 728.53 | 88.42 | 0.899 |
| 2 | 2.84 | 0.23 | 2,490.25 | 224.25 | 1.087 |
| 3 | 2.66 | 0.14 | 1,118.81 | 66.10 | 3,448 |
| 4 | 2.73 | 0.40 | 346.58 | 258.86 | 0.430 |
| 5 | 2.68 | 0.24 | (*) | 118.51 | (*) |
| 6 | 2.79 | 0.30 | 2,114.91 | 257.17 | 3.175 |
| 7 | 2.66 | 0.20 | 622.44 | 119.65 | 1.628 |
| 8 | 2.74 | 0.80 | 1,068.04 | 213.20 | 2.128 |

(*) La muestra No. 5 presentaba un fuerte fracturamiento, lo cual no permitió obtener testigos suficientemente largos como para someterlos a un ensayo de compresión.

PRUEBAS EFECTUADAS EN EL LABORATORIO DE MECANICA DE ROCAS DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

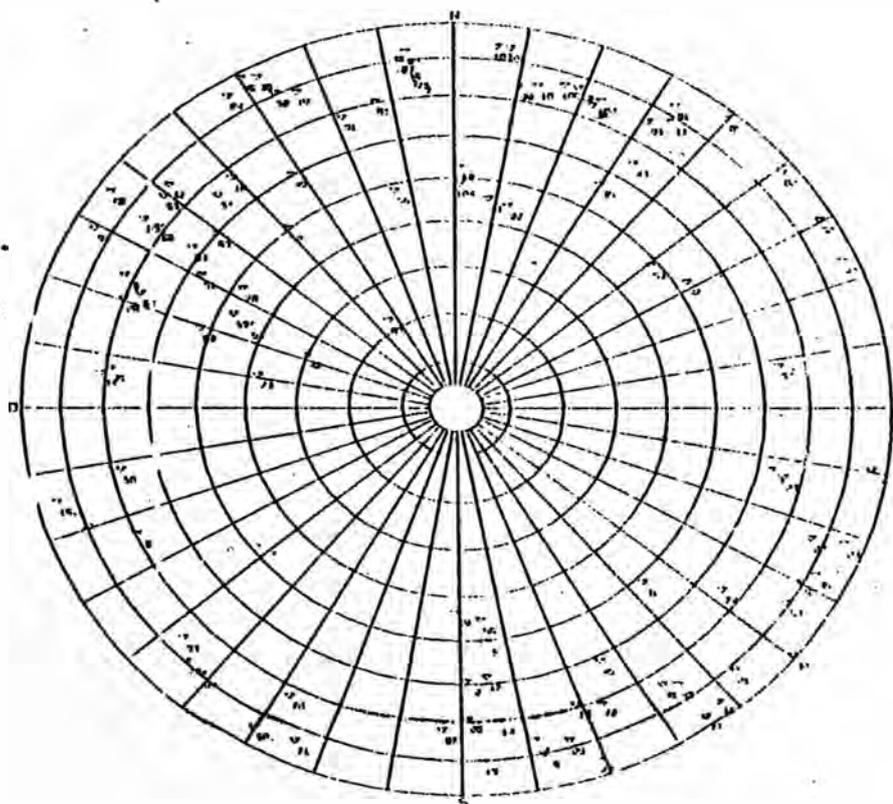
NOMENCLATURA

P.e. = Peso específico
P.A. = Porosidad aparente
 R_c = Resistencia a la compresión
 R_t = Resistencia a la tracción
E = Módulo de elasticidad

TESIS INGENIERO
DE MINAS
APENDICE III

ESTEREOGRAMA POLAR
MINA - 5 TALUD NW

Figuro (III-7)



ESTEREOGRAMA S. PLOT DE AREAS IGUALES
DIAGRAMA DE PUNOS
CONCENTRACION SEGUN SU EIZAMIENTO

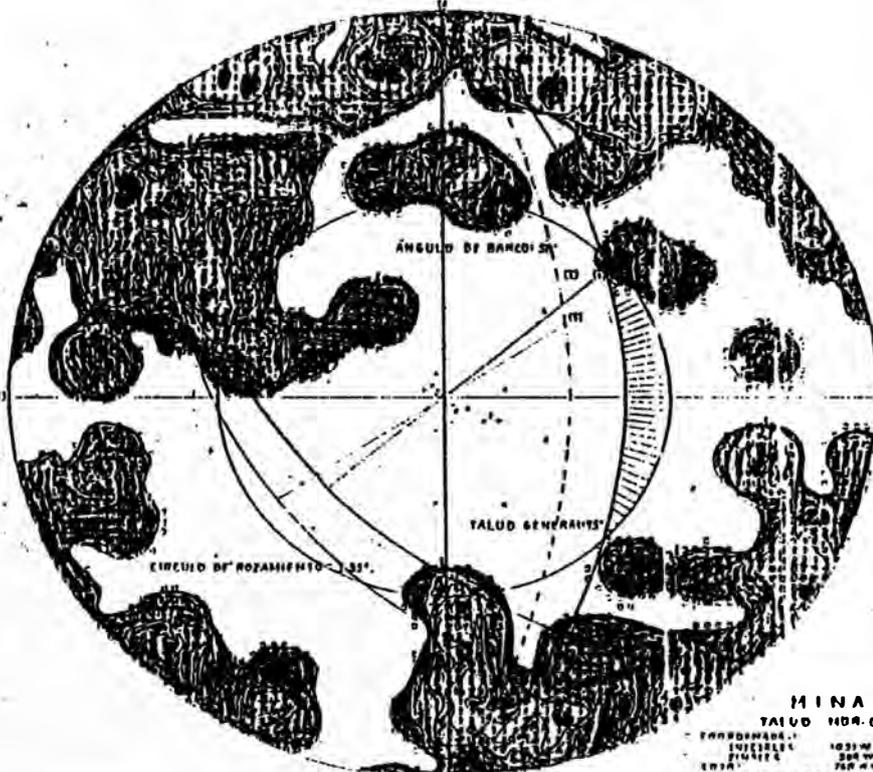
MINA S TALUD NW
PUNOS 104 SEPTIEMBRE 15, 1979

TESIS INGENIERO
DE MINAS
APENDICE III

ESTEREOGRAMA ECUATORIAL
MINA-5 TALUD NW

Figuro (III-8)

MINA 5
TALUD NOR-OESTE



| | | | | | | | |
|--------|-----|------|------|------|------|-------|-------|
| ESCALA | 1:0 | 1:10 | 1:20 | 1:40 | 1:80 | 1:160 | 1:320 |
| PLANOS | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| CUÑAS | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| PLANOS | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

MINA 5
TALUD NOR-OESTE
ELEVACION: 1000 M. 880 M
ANCHURA: 200 M. 250 M
CIRCULO DE ROZAMIENTO: 35°
ANGULO DE TALUD: 45°
ANGULO DE BANCOS: 50°
TALUD ESTABLE
BANCOS INESTABLES

MINERA TALUD NW
ESTEREOGRAMA ECUATORIAL

pués los riesgos de rotura sobre los estereogramas construídos en los diagramas de Schmidt. No se ha tenido en cuenta en el análisis el efecto funesto que pueden tener los sismos sobre la estabilidad global de los taludes al aportar una aceleración horizontal que puede ser mayor a la de la gravedad, por la ausencia de análisis precisos del riesgo sísmico.

4. ANALISIS PRELIMINAR DE MINA 5

4.1 PRESENTACION GENERAL

La mina 5 está ubicada al N.O. de la zona minera (Plano III-1) dentro de una zona de contacto entre las formaciones Marcona y Cerritos. El cuerpo mineralizado tiene un rumbo promedio de N. 60° y buzamiento al N.E.; se desarrolla sobre una longitud de 900 Mts. y tiene un ancho máximo de 170 Mts. en la superficie, con una profundidad máxima de 204 Mts.

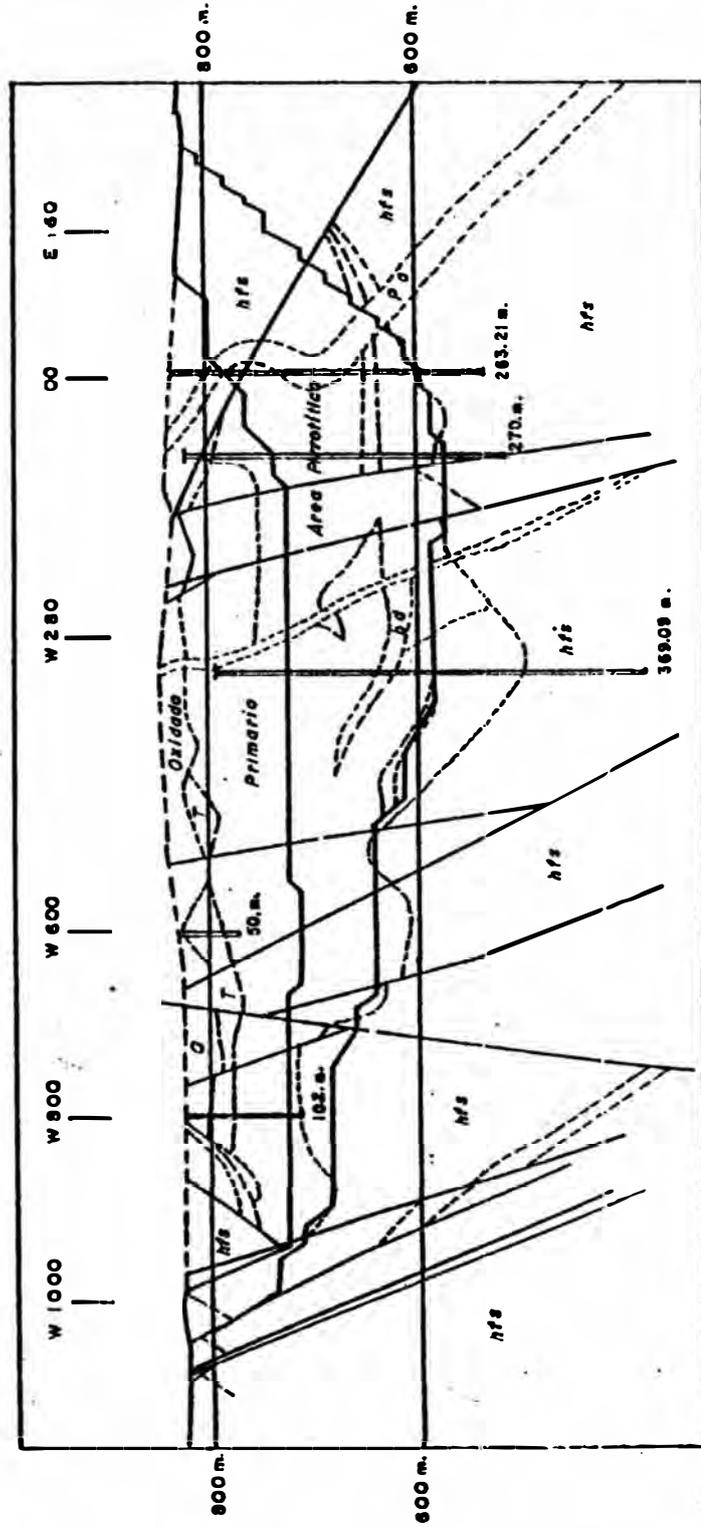
La pendiente general del talud oscila entre 42° y 52°, excepto el talud S.O. que sigue el contacto mineral roca encajonante con una pendiente de más ó menos 31°.

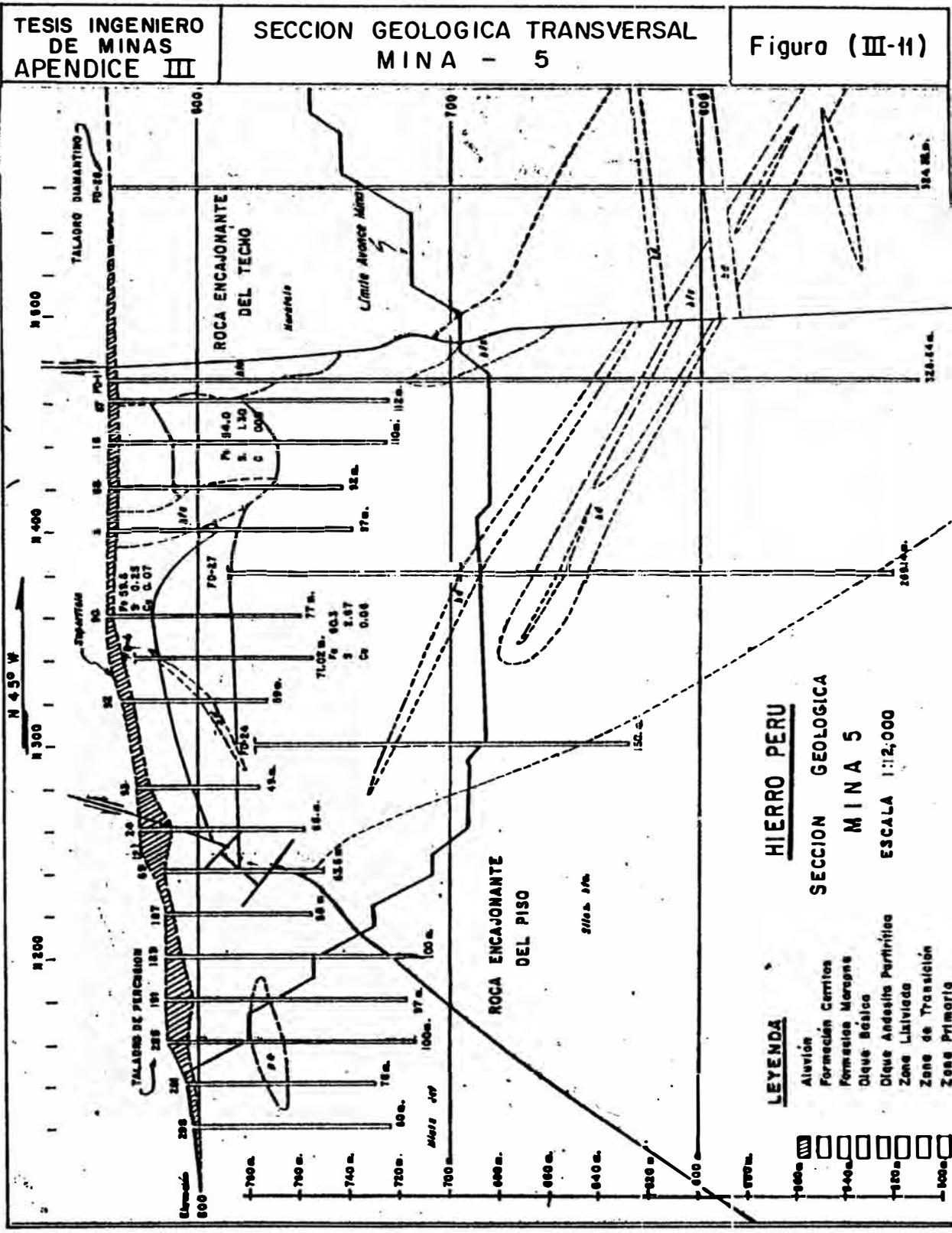
El cuerpo mineralizado está limitado al S. por una falla inversa de Repetición buzando hacia el S. que lo pone en contacto con una mineralización de tipo Cerritos. Fallas pertenecientes al sistema la Huaca limitan esta mineralización al E. y al O. Las rocas encajonantes en el techo y en el piso son cornubianitas (hornfels) silificadas. Filones de dacitas, pórfidos andesíticos y diques

TESIS INGENIERO
DE MINAS
APENDICE III

SECCION GEOLOGICA LONGITUDINAL
MINA - 5

Figura (III-10)





básicos recortan el conjunto. Un dique de granodiorita recorta igualmente la parte E. del cuerpo mineralizado, en el cual se encuentran capas de cornubianitas.

El conjunto está bastante fracturado por fallas y fracturas asociadas a los sistemas la Huaca y Repetición. La estratigrafía (Bedding) no constituye una familia de discontinuidades muy marcadas. Por presentar la zona O. de la mina una densidad de fracturamiento mayor que la zona E. se han distinguido dos zonas homogéneas en los taludes N.O. y S.E., Fig.(III-9); luego se han analizado las condiciones de estabilidad de seis zonas diferentes:

- Talud N.O. Zona 1 (lado E.) techo
- Talud N.O. Zona 2 (lado O.) techo
- Talud S.E. Zona 1 (lado E.) piso
- Talud S.E. Zona 2 (lado O.) piso
- Talud N.E. Terminación E.
- Talud S.E. Terminación O.

4.2 ESTABILIDAD DE LOS TALUDES

Los resultados de los análisis efectuados en cada una de las zonas mencionadas han permitido construir los estereogramas presentados en las Figs.(III-12) a (III-17), siendo los resultados del análisis de estabilidad los siguientes:

| TALUD | N.O. TECHO | S.E. PISO | O. | E. |
|-------------|---------------|--------------|-----|-----|
| ZONA 1 (E.) | 60° | 50° | 40° | 55° |
| ZONA 2 (O.) | 53° | 62° | | |

4.2.1 TALUD N.O. - TECHO

Este talud tiene la misma orientación que las fallas Repetición, que presentan un fuerte buzamiento. Por eso se observan pequeñas caídas de bloques en las cimas de los bancos, consecutivas a una apertura de las fracturas paralelas a esta familia. Este fenómeno no representa peligro para la estabilidad global de los taludes. La estabilidad es afectada solamente por la presencia local de fracturas que no pertenecen a uno de los sistemas encontrados en las minas de Marcona.

Luego se puede pensar que si se dá una pendiente general de 53° al conjunto de este talud, la estabilidad global está asegurada siempre y cuando no haya variaciones importantes de la orientación del fracturamiento con la profundización de la mina.

4.2.2. TALUD S.E. - PISO

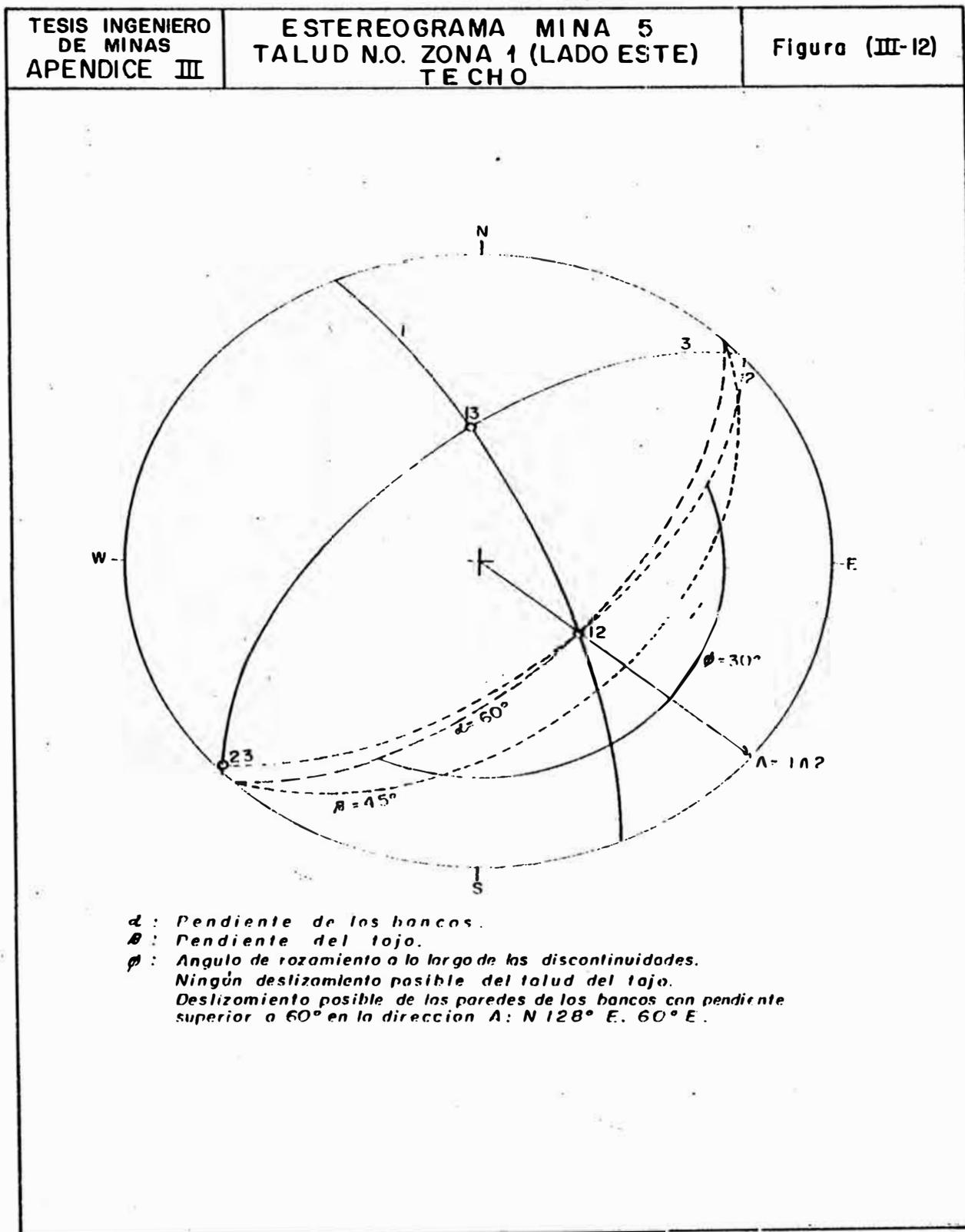
Por tener este talud la misma dirección que la estratificación, tiene una importancia decisiva en la estabilidad general, toda vez que la pendiente del talud debe ser a lo más igual al buzamiento de la estratificación; sin embargo, esta familia de discontinuidades está poco desarrollada en la mina 5 y en particular sobre este talud, lo que constituye un factor de seguridad. De cualquier modo con una pendiente general de 50° en la parte E. del talud la estabilidad global parece asegurada.

4.2.3 TALUD O. - TERMINACION S.O.

La estabilidad en este talud está afectada principalmente por las fracturas del sistema la Huaca, que como sigue el contacto mineral-cornubianitas según una pendiente de más de 30° , no hay problema de estabilidad en este talud.

4.2.4 TALUD E. - TERMINACION N.E.

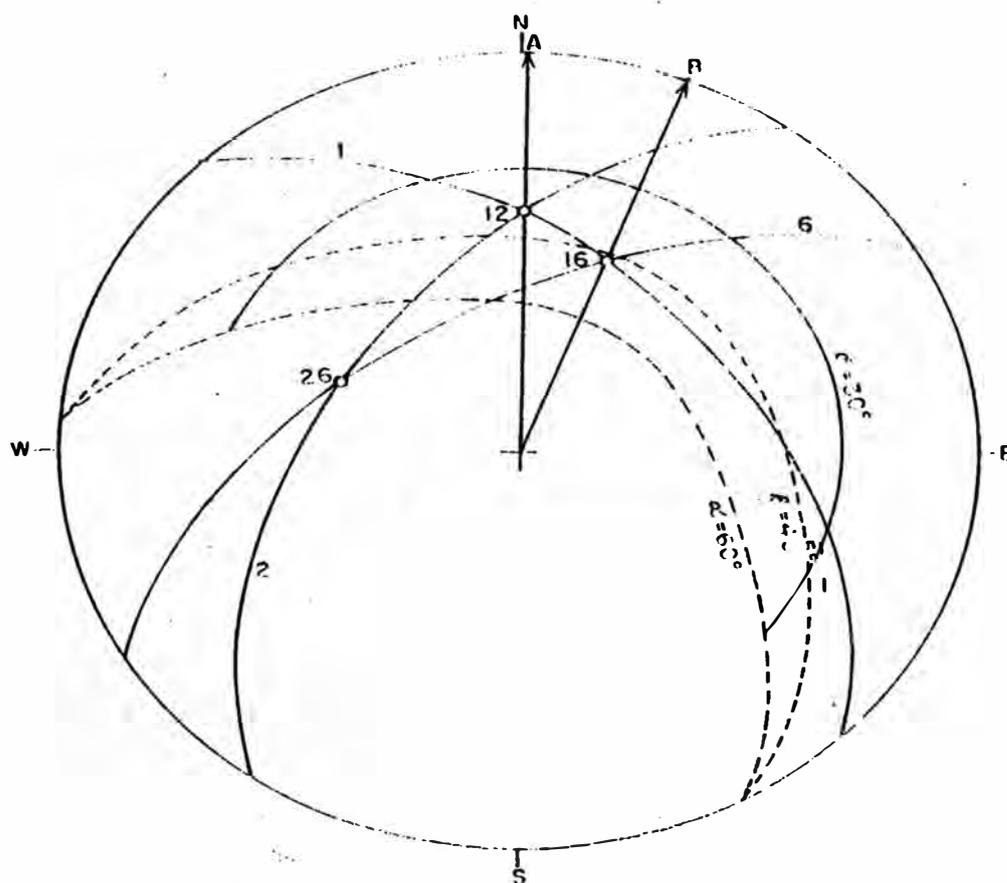
Este talud presenta una fracturación mediana y los riesgos de rotura por deslizamiento de cuñas rocosas limitadas por las fracturas de los sistemas la Huaca y Repetición se presentan solamente en la escala de los bancos. La estabilidad global del talud parece asegurarse con una pendiente general de 55° .



TESIS INGENIERO
DE MINAS
APENDICE III

ESTEREOGRAMA MINA 5
TALUD S.O.

Figura (III-13)



α : Pendiente de los bancos.

β : Pendiente del tajo.

ϕ : Angulo de rozamiento o la larga de las discontinuidades.

Deslizamientos posibles de los taludes en las direcciones: A: N 0° E. 40° N

B: N. 22° E. 47° N.

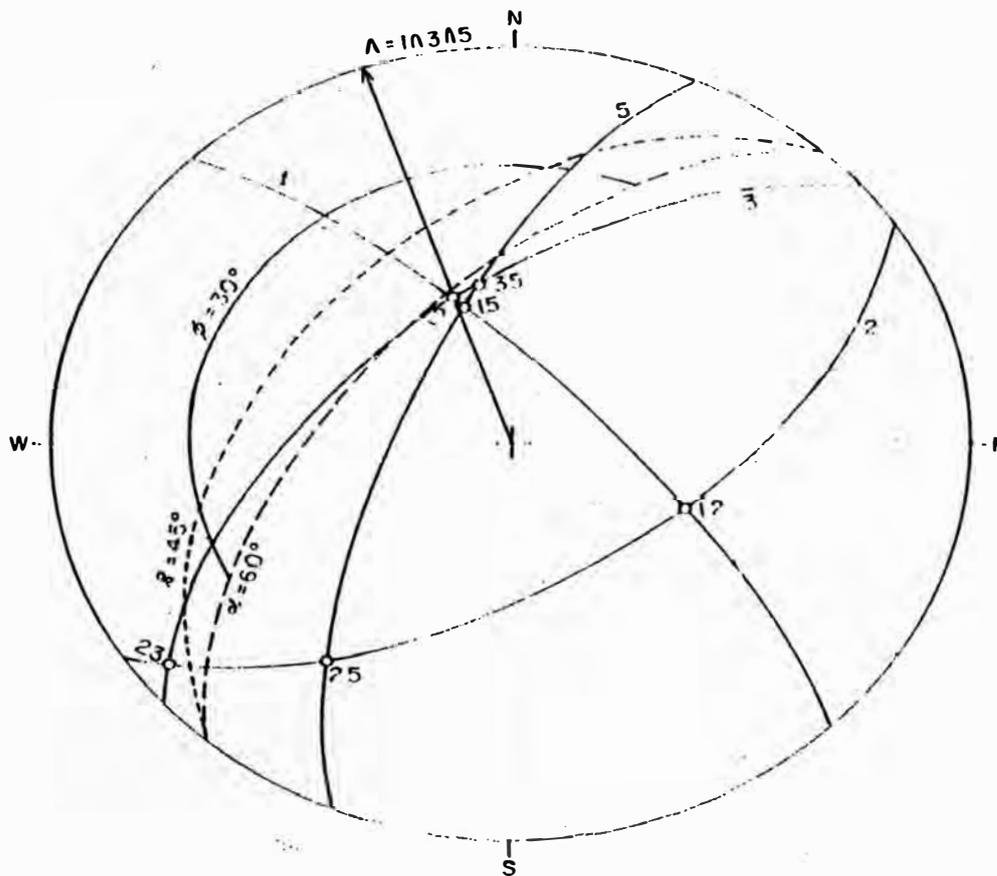
Para taludes con pendiente superior a 40°

Para asegurar la estabilidad, los taludes deben tener una pendiente inferior a 40°.

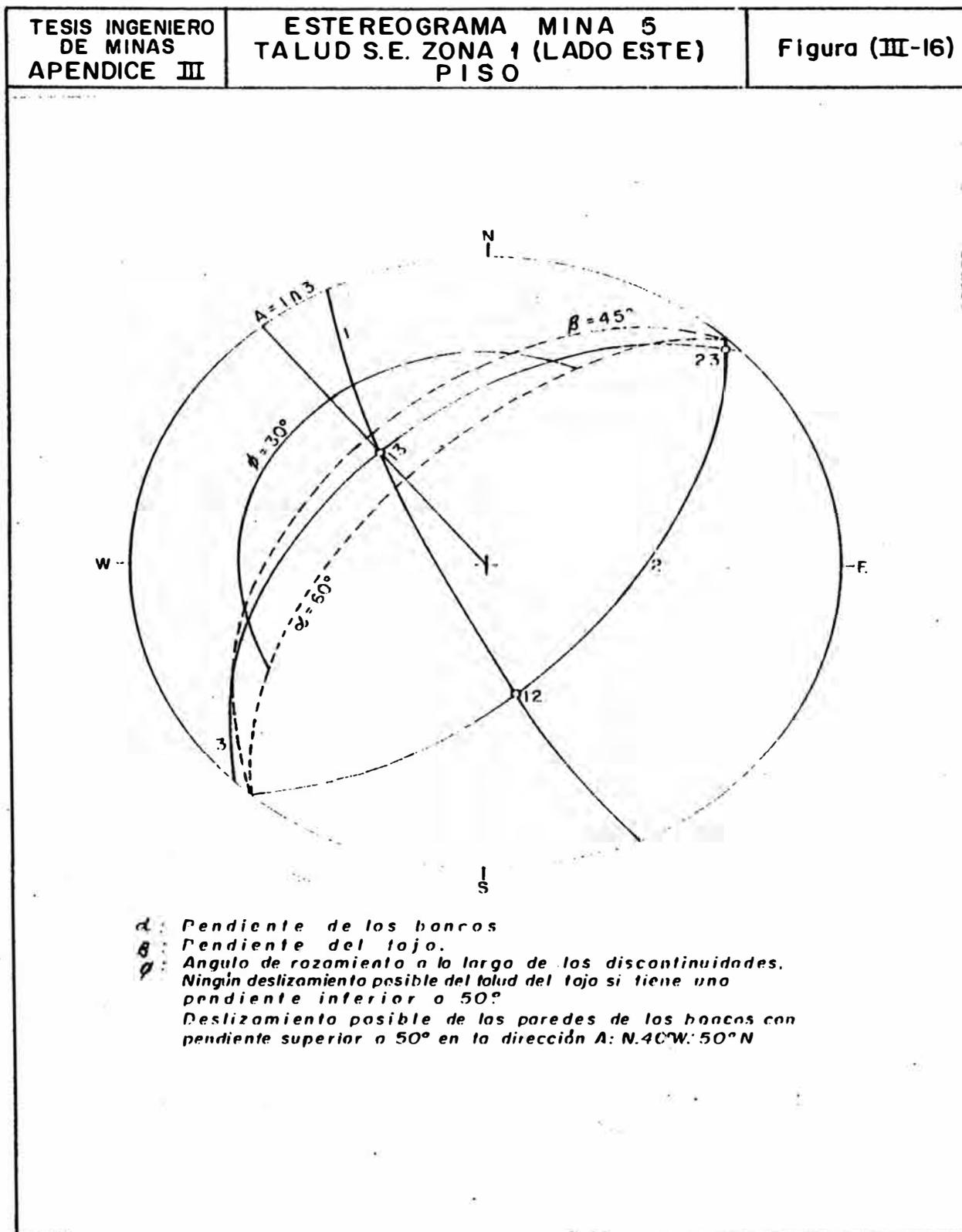
TESIS INGENIERO
DE MINAS
APENDICE III

ESTEREOGRAMA MINA 5
TALUD S.E. ZONA 2 (LADO OESTE)
PISO

Figura (III-14)



- α : Pendiente de los bancos
 β : Pendiente del tojo
 ϕ : Angulo de rozamiento a lo largo de las discontinuidades.
 Ningun deslizamiento probable de los taludes del tojo y de los bancos si tienen una pendiente inferior a 62°
 Deslizamiento posible de las paredes de los bancos con una pendiente superior a 62° en la direcci3n A: N 38° W. 58° N.



4.2.5 CONCLUSIONES

Las condiciones de estabilidad general de los taludes de la mina 5 parecen buenas. La estabilidad del talud O. que sigue el contacto mineral-cornubianitas con una pendiente general de 31° está perfectamente asegurada. Para los otros taludes se recomienda una pendiente general de 52° , teniéndose que limitar; sin embargo, esta pendiente ligeramente en la parte E. del talud S.E. (piso), teniendo en cuenta la orientación local de la estratificación.

A continuación se muestra las pendientes actuales y las que el estudio gráfico permite recomendar.

PENDIENTES ACTUALES Y RECOMENDADAS

| TALUDES | N.E. TECHO | S.E. PISO | N. | E. |
|-----------------------|---------------|--------------|------------|------------|
| ALTURA DE REFERENCIA | 120 Mts. | 100 Mts. | 120 Mts. | 65 Mts. |
| PENDIENTE ACTUAL | 48° | 47° | 31° | 44° |
| PENDIENTE RECOMENDADA | 53° | 50° | 31° | 52° |

5. RESULTADOS DEL ANALISIS

- a. En las minas de Marcona, las condiciones geológicas, topográficas y programas de minado difieren de un tajo a otro, por lo tanto se deben diseñar los taludes finales y los de trabajo en forma individual.
- b. En Marcona se deben aprovechar las condiciones de las estructuras rocosas en relación a la estabilidad como posición de estructuras, interacción de planos potenciales de falla, cuñas y orientación de los frentes en relación a la posición de las estructuras **notables**.
- c. La estabilidad en Marcona está determinada por los defectos (características) estructurales y no por la resistencia misma de la roca (propiedades mecánicas). Además de la estabilidad de taludes de rocas diacladas, estratificadas ó falladas, gran parte depende de la orientación de los defectos estructurales ó discontinuidades.
- d. Se ha efectuado una evaluación algo subjetiva sobre la interacción entre los sistemas de fallas predominantes y la interacción de estos con los taludes actuales.

En las representaciones estereográficas se han registrado los planos geológicos con la finalidad de:

- Facilitar la identificación y agrupación de discontinuidades en sistemas y de investigar el carácter

aleatorio de alguna de ellas.

Identificar el tipo de cuñas que se puedan formar.

- e. En el talud N. de la mina 5, que presenta fallas y sistemas de diaclasas notables, las fracturas, se abren cada vez más formándose a su vez nuevas fracturas por efecto de la energía remanente de los disparos que al ser liberada fractura el frente en una franja de 8 Mts. de ancho a partir de la cresta, acción facilitada por el hornfels filítico que es bastante frágil.
- f. De acuerdo a prácticas recientes de diseño, en las minas de Marcona se pueden emplear diseños de taludes más parados en los niveles superiores y taludes más echados en profundidad, ya que:
- El intemperismo es de poca intensidad.
 - El cuerpo mineral en profundidad tiende a tomar un ángulo de inclinación menor.
- g. En el estudio de estabilidad de taludes se considera que los esfuerzos tectónicos horizontales son los de mayor importancia y esto se debe a que estos esfuerzos liberan energía residual mediante la formación de estructuras pequeñas ó de la intensificación de otras mayores.

Las fallas del sistema Repetición son las que posiblemente tienden a liberar esfuerzos residuales, por

ser fallas compresionales; por lo tanto, se debe realizar un buen control de estas caras.

- h. Como es evidente los taludes de las minas están sufriendo pequeños movimientos por efecto del destonfinamiento producido por las operaciones, los defectos estructurales, y los factores dinámicos externos (disparos), lo cual implica un control mediante instrumentación como extensómetros.
- i. BACK ANALISIS.- Es el estudio estadístico de las apreciaciones visuales del ángulo de fallamiento efectivo (ocurrencias de deslizamientos), para determinar los parámetros de la resistencia al corte que maximizará la estabilidad.

En la Tabla (III-2) se observa que en la Mina 5 los taludes S. y O. son los más frágiles porque los pequeños deslizamientos se producen a partir de los 24 Mts. de altura con ángulos de talud de banco de 55° a 58°. En el talud S. se originan por la interacción entre los planos de estratificación y los sistemas Repetición y Pista. Si los derrumbes son de mayor volumen estos análisis permiten decidir con que altura y talud de banco y ancho de berma se debe trabajar para una mejor estabilidad.

6. CONCLUSIONES GENERALES

- a. Las condiciones geológicas generales encontradas en la mina 5 son bastante homogéneas globalmente.

| TALUD | ORIENTACION DE FAMILIA DE ESTRUCTURAS (NORTE GEOGRAFICO) | | LIMITES MINIMOS QUE PRODUCEN DERRUMBES | | | | OBSERVACIONES |
|-------|--|-------------|--|--------------------------|--|---------|---|
| | RUMBO | INCLINACION | ALTURA PROMEDIO DE BANCO | ANGULO PROMEDIO DE BANCO | CRESTA DE BANCOS QUE FALLAN CON FRECUENCIA | | |
| | | | | | COTA | ALTURA | |
| NORTE | N 9° E | 65° S E | 24 Mts. | 60° | 745.00 | 36 Mts. | Estas discontinuidades no se orientan con ningún sistema de fallas. Existen pocas estructuras que son paralelas al sistema Repetición, y la Huaca. |
| | N 88° O | 66° S O | | | | | |
| SUR | N 63° E | 51° N O (2) | 24 Mts. | 55° | 780.00 | 25 Mts. | Existe interacción entre la estratificación y los sistemas Repetición y Pista. |
| | N 23° O | 65° N E (1) | | | | | |
| | N 84° E | 70° N O | | | | | |
| ESTE | N 47° O | 30° N E (3) | 33 Mts. | 63° | 817.00 | 39 Mts. | Existe interacción entre los sistemas La Huaca y Repetición. |
| | N 16° O | 36° S O (3) | | | | | |
| | N 42° E | 44° S E (2) | | | | | |
| | N 60° O | 46° S O (1) | | | | | |
| OESTE | N 21° O | 56° N E (3) | 24 Mts. | 56° | 810.00 | 30 Mts. | Existe interacción entre sistemas La Huaca y Repetición. |
| | N 61° O | 48° S O (1) | | | | | |

Nota: (1) Sistema Pista (2) Sistema Repetición (3) Sistema La Huaca

- b. El mineral explotado se encuentra en la Formación Marcona bajo una forma tabular con cortantes tajantes con el terreno encajonante, pero con bordes sinuosos.
- c. Los horizontes mineralizados están orientados paralelamente a la estratificación general y recortados, como el conjunto de las formaciones sedimentarias, por numerosos filones intrusivos ligados a un gran batolito de granodioritas.
- d. Tres sistemas de fallas, cuyo desarrollo está más ó menos marcado localmente condicionan, con la estratificación la estabilidad de los taludes de la mina. Se trata de los sistemas: Pista, Repetición y Huaca.
- e. Las variaciones de orientación, extensión, densidad de fracturamiento provocan diferencias muy sensibles de estabilidad de los taludes de los tajos.
- f. Las principales conclusiones de análisis de estabilidad de la mina 5 son:

- Pendiente límite aceptable para los taludes.

| <u>TALUD</u> | <u>N.O. TECHO</u> | <u>S.E. PISO</u> | <u>O.</u> | <u>E.</u> |
|--------------|-----------------------|----------------------|-----------|-----------|
| ZONA E. | 60° | 50° | 40° | 55° |
| ZONA O. | 53° | 62° | | |

- Las condiciones de estabilidad global de los taludes son buenas, salvo en el talud 0. que sigue; sin embargo, el contacto mineral-material encajonante con un buzamiento inferior a 40° lo que asegura su estabilidad.

Para profundizar esta mina a más de 300 Mts. se debe efectuar un estudio más completo de la estabilidad de los taludes, a fin de precisar los coeficientes de seguridad para los taludes definitivos.

7. RECOMENDACIONES GENERALES

- a. Efectuar un análisis exhaustivo de las condiciones de estabilidad, que comprenderá un análisis estadístico de las discontinuidades.
- b. Definir las características mecánicas de las rocas mineralizadas.
- c. Un análisis estadístico de la topografía de las pendientes para determinar la cohesión global.
- d. Auscultación del lado N. donde han aparecido fracturas de tensión y el lado S.E. de la mina 5.