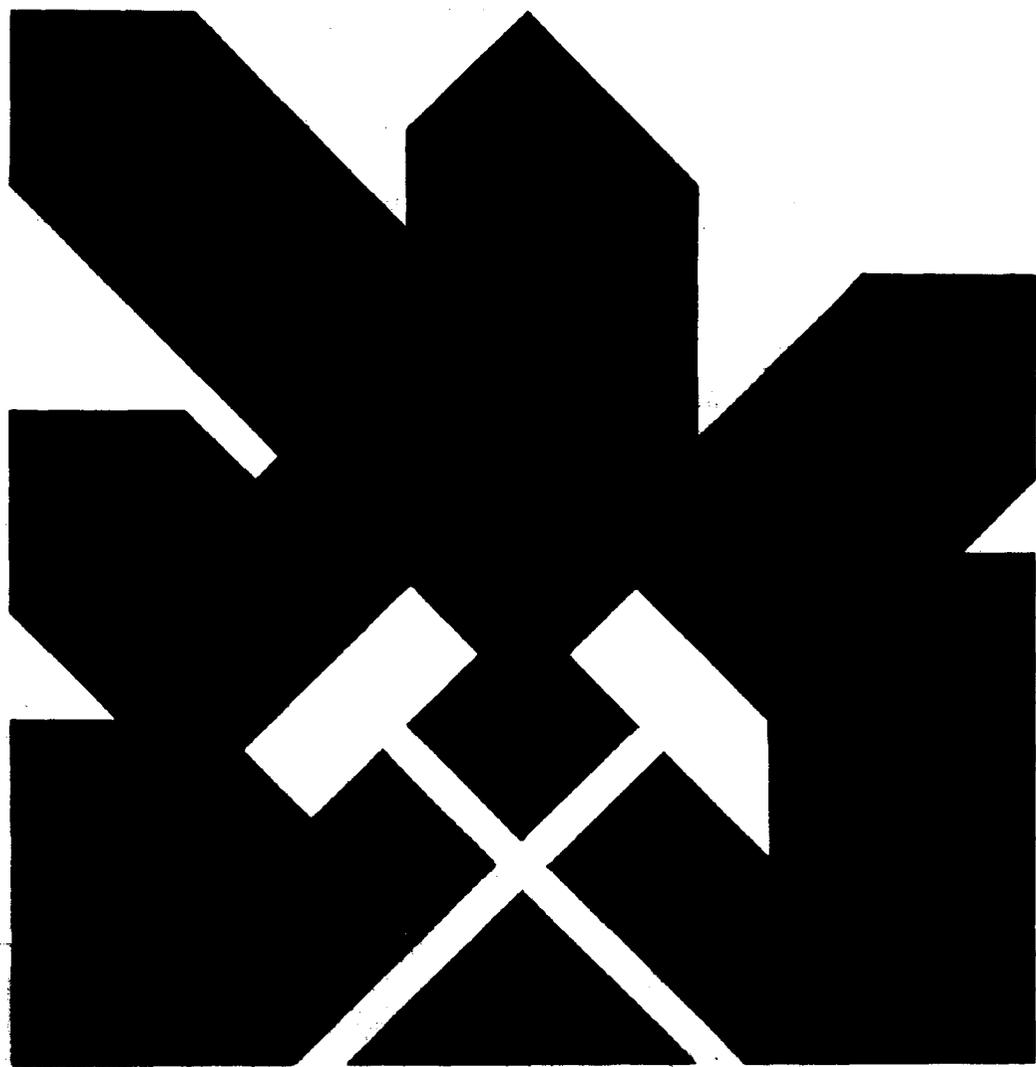


MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA  
COMISARIA DE LA ENERGIA Y RECURSOS MINERALES

PROYECTO PARA LA DETERMINACION DE ASPECTOS  
GEOMECANICOS EN LA ENTIBACION DE GALERIAS  
Y TAJOS EN MINAS DE CARBON



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

00682

## I N D I C E

	<u>Págs.</u>
1.- INTRODUCCION GENERAL AL PROYECTO .....	1
2.- SUMARIO .....	7
3.- ANALISIS ESTRUCTURAL DE ROCAS .....	13
3.1.- INTRODUCCION .....	14
3.2.- LINEA DE INTERSECCION DE DISCONTINUIDADES EN ROCA. SU RELACION CON EL EJE $\sigma_2$ Y CON EL PLANO $\sigma_1 - \sigma_2$ .....	16
3.3.- SISTEMA DE TOMA DE DATOS ESTRUCTURALES EN GALERIAS .....	21
4.- PROGRAMA DE EXPLORACION ESTRUCTURAL SUBTERRANEA EN MINA INNOMINADA .....	
4.1.- OBJETIVOS .....	24
4.2.- LA SERIE ESTRATIGRAFICA .....	27
4.3.- MACROESTRUCTURA .....	28
4.4.- ANALISIS DE DISCONTINUIDADES .....	31
4.5.- INTERPRETACION ESTRUCTURAL DE LAS DISCONTI NUIDADES .....	33
4.6.- CAMPOS DE ESFUERZO REGIONAL SUFRIDO POR LAS ROCAS EN EL PASADO .....	34
4.7.- CONCLUSIONES .....	35
5.- TRATAMIENTO COMPUTARIZADO DE LA INFORMACION GEOLO GICO-ESTRUCTURAL .....	37
5.1.- INTRODUCCION .....	38
5.2.- PROCESO DE DATOS .....	38
5.3.- PROGRAMA DE PROYECCIONES POR COMPUTADORAS .	39
5.4.- FRACTURA UNIDAD. FACTOR DE PESO .....	41

	<u>Págs.</u>
5.5.- VALORACION DE DATOS POR COMPUTADORAS .....	41
5.6.- RECOMENDACIONES .....	48
6.- EXPLORACION GEOSIFICO-SISMICA PARA LA DETERMINA CION DE CARACTERISTICAS GEOMECANICAS EN EL TAJO S-2 .....	51
6.1.- INTRODUCCION .....	52
6.2.- METODOLOGIA .....	53
6.3.- CALCULO DE LAS VELOCIDADES POR IMPACTO EN LA SUPERFICIE Y GEOFONO EN POZO .....	55
6.4.- CASO DE UN AUMENTO LINEAL DE LA VELOCIDAD CON LA PROFUNDIDAD .....	57
6.5.- TECNICAS DE CAMPO .....	60
6.5.1.- Instrumentación .....	60
6.5.2.- Toma de datos .....	60
6.6.- TRATAMIENTO E INTERPRETACION .....	62
6.7.- CONCLUSIONES .....	83
7.- PROGRAMA DE INSTRUMENTACION Y CONTROL DE PRESIO- NES Y DEFORMACIONES .....	85
7.1.- INTRODUCCION .....	86
7.2.- ESTACIONES DE CONVERGENCIA .....	88
7.3.- CELULAS DE PRESION .....	91
7.4.- CONCLUSIONES .....	92
8.- PROGRAMA DE ANALISIS ESTATICO DE ESTRUCTURAS TRI- DIMENSIONALES .....	97
8.1.- INTRODUCCION .....	98
8.2.- ECUACIONES DE EQUILIBRIO PARA SISTEMAS ES TRUCTURALES COMPLEJOS .....	99
8.2.1.- Método directo de rigidez .....	99
8.2.2.- Condiciones de contorno .....	102
8.3.- ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL PROGRAMA DE ANA LISIS ESTATICO DE ESTRUCTURAS TRIDIMENSIONA LES .....	103

	<u>Págs.</u>
8.3.1.- Elemento lineal "Truss" .....	103
8.3.2.- Elementos viga ("beam") .....	106
8.3.3.- Elementos sólidos .....	106
8.3.4.- Elementos placa y curvos de poco es pesor ("thin shells") (membranas) .	112
8.3.5.- Elementos contorno ("Boundary Ele- ments") .....	112
8.4.- ORGANIZACION DEL PROGRAMA .....	114
8.4.1.- Solución de las Ecuaciones .....	115
8.4.2.- Formación de las Ecuaciones de Equi librio .....	116
8.4.3.- Datos de entrada de nodos y grados de libertad .....	116
8.4.4.- Cálculo de las matrices de rigidez del elemento .....	117
8.4.5.- Valoración de tensiones elementales	117
9.- CONCLUSIONES FINALES Y RECOMENDACIONES .....	120
ANEXO I - DATOS DE BASE .....	127
ANEXO II - REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE LAS MEDI DAS EN EL INTERIOR DE LA MINA .....	153
A. REPRESENTACION DE DISCONTINUIDADES POR ESTACIONES .....	154
B. RESUMEN DE LAS MEDIDAS POR GALERIAS ..	178
ANEXO III - REPRESENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES MEDIDAS EN SUPERFICIE .....	187
ANEXO IV - PROGRAMA DE ANALISIS ESTRUCTURAL .....	192
ANEXO V - COMENTARIO AL INDICE .....	203
ANEXO VI - MEDIDAS DE CONVERGENCIA Y PRESIONES ....	206
ANEXO VII - LISTADO PROGRAMA 3D-SOLID SAP .....	216
BIBLIOGRAFIA .....	243

1.- INTRODUCCION GENERAL AL PROYECTO

Hasta la fecha y en nuestro país el problema de aumentar la producción con una alta mecanización en los tajos en la minería del carbón, y el efecto que tiene sobre el grado de deformación e inestabilidad de las galerías en capa que sirven al tajo, no ha sido analizado ni estudiado de forma racional y lógica y con una metodología probada, que si bien no nos vá a dar unos - valores totalmente ajustados y exactos sobre el dimensionamiento de los tajos y galerías, así como de las características especificas y detalladas sobre la entibación, fortificación, técnicas de avance y arranque, secuencias de excavación, etcétera; si nos podrá definir aquellos factores que más incidan en cada caso y mina en particular, en la optimización del conjunto galerías-tajo, de forma tal de que el operador de la mina y de las unidades de explotación disponga de un arma que le permita a él desarrollar una serie de programas de ensayos y pruebas encauzados en un mucho más estrecho campo de factores variables, evitándole así el desarrollar una labor de pruebas sin una orientación definida, en el sentido de cuales son los factores que en el tajo o en las galerías más afectan a la optimización técnico-económica de la producción de los tajos y mantenimiento de galerías, manteniendo los costos de producción por debajo de unos topes previamente predefinidos; labor esta larga, pesada y en la mayoría de los casos conducentes a soluciones eventuales y quizás con complicaciones mucho más peligrosas, en el futuro de las operaciones y labores mineras.

El tema es un problema geomecánico intrinsecamente incidente en la producción de las minas de carbón y en los costos de

la misma, que creemos de total necesidad de ser analizados y resueltos de forma racional, lógica y sistemática y no sujeto a opiniones subjetivas e individualistas, siempre expuestas a personalismos, que nos han llevado en muchos casos a decisiones quizás rápidas pero erróneas, cuando los errores hoy en día, en el campo energético, pueden llevarnos a efectos de caracter catastrófico. Es necesario decidir con el menor riesgo posible, y con soluciones buenas, el tema energético en nuestro país y en todo el mundo, hoy en día así lo requiere.

Problemas de este tipo llevan en sí de forma intrínseca el profundizar en el conocimiento y comportamiento geomecánico de las galerías en capas de carbón y el avance de los tajos a que estas galerías sirven; junto con el tipo de entibación y fortificación usados tanto en las galerías como en el tajo.

El conjunto constituye todo un sistema, que no puede separarse y al que hay que tratar como toda una única unidad, en la que los avances de los tajos, formas de arranque, entibación, tipo de hundimiento o relleno, etcétera, van a influir de forma totalmente incisiva en la sección, entibación, secuencia de excavación y técnicas de avance de las galerías, y éstas a su vez en los tajos, de forma que el conjunto deba de ser optimizado técnico-económicamente, con el fin de que los tajos den la máxima producción posible, sin que ello obligue a un mantenimiento de las galerías de capa que hagan disparar en un momento dado los costos de producción.

Proyectos de este tipo tienen hoy por hoy, una incidencia brutal en los planes de actividades del PEN y sus objetivos para el próximo futuro.

La producción nacional de carbón en 1977 fue de 12 Mtec, la cual tuvo que ser complementada con una importación de 4 Mtec, aproximadamente, para alcanzar los 16 Mtec. que demandó en aquel año el consumo de combustibles sólidos (antracita, hulla y lignitos). La producción de carbón constituyó aquel año el 42% de la producción total nacional de energía. El consumo de carbón alcanzó, sin embargo, el 16% del total consumido en 1977 en nuestro país; lo cual indica nuestra fuerte dependencia en el consumo de energía de los crudos petrolíferos importados (66% de nuestro consumo energético nacional).

El PEN prevé alcanzar en 1987 una producción nacional de carbón de 20 Mtec., esto es un aumento de casi el 70% sobre la producción de 1977; sin embargo la contribución de esta cifra al total de la energía producida en España será del 31%, inferior a la de 1977; ello debido al fuerte impulso que se le piensa dar a la energía de origen nuclear. En cualquier caso se seguirán necesitando unas 5 Mtec. de carbón importado para consumir en 1987 y que seguirán constituyendo al igual que en 1977 el 16% de la energía total consumida en España.

El aumento de producción de combustibles sólidos, de casi el 70% recaerá, precisamente en la producción de lignitos para la generación de energía eléctrica en centrales térmicas. Se pretende pasar de 2 Mtec. de lignitos producidos en 1977 a 8 Mtec. en 1987, esto es un aumento de la producción de lignitos del 170%; mientras que el incremento en la producción de hullas y antracitas será sólo del 30%, esto es de 9 Mtec. en 1977 a 12 Mtec. en 1987.

Estas breves cifras indican pues la gran responsabilidad recogida por la industria carbonera española dentro del marco del PEN, y con características especiales la relacionada con la producción de lignitos, tanto pardos (minería a cielo abierto) como negros (minería subterránea).

Es por esta causa por la que el Instituto Geológico y Mi  
nero de España propuso un estudio y análisis geomecánico de los  
problemas de entibación de la minería carbonera subterránea y  
consideró oportuno y adecuado a las circunstancias, el direccio  
nar y concentrar este problema a la minería subterránea de los  
lignitos negros de la provincia de Teruel en la localidad de  
Andorra, por estimar que las explotaciones de la citada zona reu  
nen las condiciones idóneas para el estudio que se pretende. En  
esta zona se realiza una explotación a base de tajos largos me  
canizados, quizás el más alto nivel de mecanización de la mine  
ría subterránea nacional del carbón.

El estudio se realizó en Mina Innominada, una de las tres  
minas del área de Andorra operadas por ENDESA, de las cuales se  
espera que suministren combustibles a una central térmica recien  
temente acabada.

La central tiene una potencia de 1.050 Mw, lo cual le ha  
rá consumir 3 Mt de lignitos de 3.500 Kcal/kg (30% cenizas) al  
año. Esta producción debe ser alcanzada mediante la puesta a  
punto de una serie de tajos, que explotarán una capa de 15 m de  
potencia máxima a unos 300 - 350 m de profundidad en Innominada,  
mediante cinco pasadas de 3 m de espesor. Actualmente los Tajos  
largos han sido sustituidos en un buen número por Tajos cortos  
explotados por "soutirage". La pendiente de la capa es de unos  
20° como valor medio.

En principio y como ensayo piloto, se equipó un tajo en  
la mina Oportuna, con arranque mediante cepillo Westphalia y en  
tibación marchante por pilas-escudos BS con ciertas modificacione  
nes de la misma firma alemana. El sistema de transporte del car  
bón por panzers en los tajos y galerías en capa, junto con las  
dimensiones de los trenes de energía del cepillo y pilas de los

tajos, ha hecho necesario el recurrir a galerías en capas de más de 14 m<sup>2</sup> de sección, nunca hasta ahora utilizadas en las explotaciones de Andorra.

La capa carbonífera de Andorra, se encuentra encajada en rocas de caja arenosas y arcillosas de muy poca solidez, en especial el techo inmediato, formado por arenas arcillosas de poca consistencia, seguidas por arenas albenses (Utrillas) muy sueltas. Por encima del techo de los tajos e intercalándose en las rocas arcillosas y en las arenas albenses, aparecen estratos poco potentes de areniscas bien cementadas y consolidadas que se suponen que hayan sido las causantes de ciertos golpes de techo que se han venido observando en estas explotaciones.

Los resultados que se pretenden conseguir de un proyecto así, es tener dispuesta una metodología probada sobre un caso concreto y que nos permita en cualquier caso poder definir a priori, antes de iniciar una serie indefinida de costosos ensayos y pruebas, de la forma más adecuada, indicando directrices de actuación sobre los factores de mayor incidencia en la optimización de la entibación de galerías de gran sección, técnicas de avance, arranque y dimensionamientos del sistema de galerías en capa-tajos de explotación en la minería del carbón.

2.- SUMARIO

El tajo S-2 de la mina Innominada operada por ENDESA en la localidad de Andorra, Teruel, fue elegida de acuerdo con el IGME y ENADIMSA, para el desarrollo de un programa de estudios de Mecánica de Rocas, con el objeto de llegar a definir el tipo de entibación y factores que inciden más decisivamente en la estabilidad de las galerías de carbón o niveles de los tajos y frentes de explotación de dicha operación minera de lignitos.

La decisión de empezar los tajos y los estudios se dió el 7 de Octubre de 1980, comenzándose inmediatamente las gestiones con las casas de instrumentación y los primeros trabajos de exploración geólogo-estructurales y de determinación de características y parámetros geomecánicos de los materiales geológicos existentes y que afectan de forma más decisiva en la explotación en estudio.

Durante el mes de Noviembre se realizaron las instalaciones de ocho estaciones de convergencia en el nivel de pie de dicho tajo S-2, asistido con celulas de presión.

La explotación de la capa de carbón de potencia variable entre 8 y 10 m pudiendo llegar hasta 12 y 15 m, se hace mediante tajos con "soutirage" habiéndose venido haciendo hasta muy recientemente con tajos largos en retroceso de 120 m de anchura, arranque mecanizado con cepillo o rozadora, y entibación marchante autodesplazable (pilas-escudos). Las capas en la zo

na bajo estudio tajo S-2 tienen una pendiente de alrededor de los 10°, estando el techo inmediato formado por pizarras-arenosas, seguidas por potentes estratos arenosos del albense (Utrillas) con pequeñas intercalaciones areniscosas y el resto hasta la superficie por materiales margosos. EL muro de la capa lo forman, pizarras arenosas de forma inmediata, seguidas por calizas compactas más o menos fisuradas y arcillosas (margas). Todos estos detalles geológicos así como los litológicos y estructurales a nivel regional, zonal y local, dentro y en los alrededores del tajo S-2, se exponen, estudian y comentan en el estudio estructural de este informe.

El estudio estructural se ha enriquecido con la aplicación y puesta a punto de un programa por ordenador para el tratamiento de datos estructurales y definición a partir del mismo de las orientaciones más importantes de las líneas de intersección de las principales familias de diaclasas, zonas de cizalladura, esquistosidad, exfoliación, etc., así como de los dominios tenso-estructurales asociados a los aspectos geo-estructurales.

El programa codificado en la Universidad de Waterloo, Ontario, Canadá; en FORTRAN IV ha sido puesto a punto en los sistemas de IBM-Madrid.

De forma semejante el estudio estructural se ha realizado un estudio geofísico in situ en sustitución de los ensayos de laboratorio para la definición de las características geomecánicas de los materiales geológicos, dada la imposibilidad de realización de sondeos mecánicos, por peligro de fuertes entradas de agua. Los ensayos realizados, análisis de los datos recogidos y resultados se exponen en el capítulo de exploración geofísica que forma también parte de este proyecto.

Por último, y como ya hemos señalado, se realizó una cam  
paña de instalación de estaciones de convergencia a distinta dist  
ancia del frente del tajo. Cada estación contaba con siete puntos de  
control sobre los cuales se estableció un programa de medic  
iones de la forma que se expone en el capítulo dedicado a instru  
mentación, convergencia y células de presión de este informe.

Desafortunadamente, las mediciones se vieron interrumpidas  
a mediados de Enero, debido a un golpe de techo ocurrido en el  
tajo S-2, acompañado por una entrada de agua y arena en los ni  
veles de dicho tajo, por lo que fue necesario cesar todas las  
medidas de convergencia y la recuperación de la instru  
mentación.

De forma análoga ocurrió con las células Glötzl, insta  
ladas en el nivel al pie del tajo, así como con la bomba, panel  
de control, sistema hidráulico de distribución, etc., que son  
inherentes a las células.

Los resultados hasta ahora recogidos, aunque muy limita-  
dos y como analizamos más adelante, parecen indicar tanto por  
los datos de distribución de cargas sobre la entibación, como  
las deformaciones observadas en las secciones de las galerías  
sometidas a control de convergencia, que el campo de esfuerzos  
y tensiones que actúan sobre los materiales geológicos en don-  
de está abierto el nivel, adopta una disposición asimétrica, no  
vertical, dando lugar a deformaciones de la galería y de los  
cuadros en el sentido de que éstas adopten una configuración -  
geométrica aproximada y groseramente elíptica, esto es de elip-  
se inclinada. La actitud y disposición geométrica de las preci  
siones del terreno sobre los niveles, adopta como veremos una

orientación asimétrica y cambiante, que guarda relación con las anomalías geofísicas detectadas, con la interacción del efecto tensional inducido por el tajo y por la ordenación espacial de las principales familias de diaclasas y líneas de máxima intersección de las mismas así como con los planos de estratificación y principales discontinuidades.

El hecho de que el problema se presentase de la forma que aquí se ha planteado con esfuerzos y presiones actuando sobre direcciones asimétricas y variables según la sección del nivel y su distancia al tajo, así como de la posibilidad, sujeta a una mayor comprobación, de que estos esfuerzos pudieran no estar actuando sobre un plano perpendicular al eje de la galería, hacen de que el análisis numérico de la fortificación de galerías deba de plantearse desde una óptica que considere un análisis estructural estático tridimensional, capaz de tratar materiales anisótropos (materiales sedimentarios), y con capacidad para la utilización de elementos estructurales que se adapten a los diversos tipos de entibación y fortificación que aparezcan en los problemas mineros (arcos metálicos, bulones, gunitado, cemento, etc.). Considerando estos hechos, es por lo que hemos elaborado un programa numérico por ordenador de análisis estructural tridimensional utilizando el Método de los Elementos Finitos. El programa utilizado fue codificado en el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de California, Berkeley bajo la dirección de los Profesores E.L. Wilson y R.W. Clough. La formulación y realización del programa, fue financiada en contrato con el U.S. Bureau of Mines, Denver Mining Research Center, U.S. Department of The Interior, y puesto a punto con los Servicios de Informática de ENADIMSA y de IBM - Madrid, Castellana nº 4.

Creemos que la puesta a punto de este programa de Análisis Estructural Estático (SAP) por el Método de Elementos Finitos es vital y totalmente necesario dadas las características observadas en la deformación y transferencia de presiones sobre los niveles en carbón de los materiales geológicos del tajo S-2 de Mina Innominada, Evidentemente el sistema metodológico aquí presentado, y la Técnica de Diagnóstico puede en líneas generales ser aplicable a cualquier ámbito de la cuenca lignífera de Andorra; y con ciertas reservas y variaciones a otras cuencas carboníferas. La terapéutica aplicada es totalmente variable y depende de los datos, información y características peculiares del problema en particular recogidas en la fase de diagnóstico.

### 3.- ANALISIS ESTRUCTURAL DE ROCAS

### 3.1.- INTRODUCCION

El análisis estructural de la masa rocosa es uno de los parámetros más importantes y de mayor influencia en el estudio de estabilidad de estructuras en rocas, tanto en superficie como en profundidad. Hasta hace poco tiempo, poca atención por no decir ninguna se le había dado a esta faceta en el estudio de control y estabilidad en rocas, dado que la mayoría de los investigadores se habían concentrado en el estudio de modelos ideales. Ahora con el uso del estudio de la estructura de la roca que analiza las características geométricas y mecánicas de diaclasas, zonas de cizalladura, fallas y demás formas geológicas estructurales, es posible un estudio más realista y aproximado de la masa rocosa discontinua e inhomogénea.

El análisis estructural puede ser definido como la "distribución espacial de las superficies de fracturas generadas por la deformación de la masa rocosa más allá de su límite elástico". La estabilidad de un terreno puede ser valorada mediante un estudio tridimensional de las superficies de fracturas, haciendo uso de la proyección estereográfica en gráficos circulares conocidos como redes estereográficas, red de Schmidt o red de igual área "equal area net".

Previos investigadores han descubierto que las diaclasas siguen una ordenada distribución espacial que las hace posible referirlas a tres ejes ortogonales que ellos denominaron a, b y c, quedando el eje b definido por la línea de intersección de

los sistemas de diaclasas más prominentes de la masa rocosa.

Se encontró que estas definiciones sobre las diaclasas podrían ser representadas estadísticamente en redes estereográficas del tipo Schmidt. De esta forma se observó que muchas de las fracturas se interceptaban en un área restringida de la red, y que muchas más de estas intersecciones caían a lo largo de una franja que pasaba por la zona restringida. De esta forma se decidió definir el centro del área restringida como eje b y a la franja como plano a - b del sistema estructural.

Cuando sólo un sistema de diaclasas prevalecen en la masa de roca, el anterior eje b y plano a - b, pueden ser considerados como la dirección de la tensión principal de campo intermedia ( $\sigma_2$ ) y como el plano principal de tensiones  $\sigma_1$ - $\sigma_2$  plano que contiene las tensiones principales máxima e intermedias existentes dentro del dominio estructural con la misma distribución tridimensional de fracturas y diaclasas y generalmente limitado por zonas de cizalladura "shear zones" o por formas geológicas de mayor importancia, (fallas, zonas de contacto) superficies de separación de capas o estratos de diferentes características litológicas, etc.).

En el campo, en la aplicación práctica de estos problemas, uno encuentra situaciones donde las fallas y su movimiento hacen que los sistemas estructurales de la roca se desplacen unos con otros. Tales situaciones son menos complicadas de lo que parecen en principio, debido a que la actitud espacial de las fracturas puede resultar de una sola época deformacional. La complejidad surge por las siguientes causas:

- 1) La deformación ocurre en una masa que ha ido fracturándose periódicamente.

- 2) La deformación se ajusta o se acomoda en una serie o familia de fracturas hasta que el sistema queda tan confinado que ninguna otra deformación puede tener lugar en este sistema de fracturas y un segundo sistema oblicuo al primero tiene que desarrollarse para acomodar la inevitable deformación.
- 3) La deformación a lo largo de la segunda serie de fracturas alivia el confinamiento a que estaba sometido el primer sistema permitiendo desplazamientos en este primer "set". Esta secuencia de acontecimientos puede ser repetitiva y dar lugar a una historia deformacional de la masa rocosa de tipo controvertido.

3.2.- LINEA DE INTERSECCION DE DISCONTINUIDADES EN ROCA. SU RELACION CON EL EJE  $\sigma_2$  Y CON EL PLANO  $\sigma_1-\sigma_2$

En todos los textos clásicos de Mecánica de Rocas, tales como el J.C. Jaeger-N.G.W.Cook, D.F. Coates, L. Obert-W.I. Duvall, K.G. Stagg-O.C. Zienkiewicz, Dreyer, etc., la relación entre el eje  $\sigma_2$  y la línea de intersección de los planos de fracturas ha sido perfectamente demostrada, basándose bien en el criterio de ruptura de Coulomb o en el criterio de Griffith, pero siempre en el caso de un sistema biaxial de tensiones ( $\sigma_1, \sigma_2 = \sigma_3$ ). El caso general tridimensional puede ser tratado de la siguiente forma:

Si  $\sigma$  y  $\tau$  (tensiones normal y tangencial en un plano  $I, m, n,$ ) (Fig. 1) son expresados en función de los cosenos de dirección del plano, respecto a los ejes  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ , tendremos:

$$(1) \sigma = l^2 \sigma_1 + m^2 \sigma_2 + n^2 \sigma_3$$

$$(2) \tau^2 = (\sigma_1 - \sigma_2)^2 l^2 m^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 m^2 n^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 n^2 l^2$$

Por otra parte la función que tenemos que maximizar es

$$|\tau| - \mu\sigma$$

en donde  $\mu$  es el coeficiente de fricción interna de la roca. Ahora bien,  $|\tau| - \mu\sigma$  es una función de tres variables  $l$ ,  $m$ ,  $n$ , de las cuales sólo son dos independientes; por tanto:

$$(3) |\tau| - \mu\sigma = f(l, m) = \left[ (\sigma_1 - \sigma_2)^2 l^2 m^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 m^2 n^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 n^2 l^2 - (1 - m^2 - l^2) + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 (1 - m^2 - l^2) \right]^{1/2} - [l^2 \sigma_1 + m^2 \sigma_2 + (1 - m^2 - n^2) \sigma_3] \mu$$

esta expresión es ahora una función de dos variables independientes,  $l$  y  $m$ , y por tanto las condiciones que dan a (3) un valor estacionario son:

$$(4) \frac{\delta[|\tau| - \mu\sigma]}{\delta l} = 0 \quad \delta$$

$$(5) \frac{\delta[|\tau| - \mu\sigma]}{\delta m} = 0$$

Derivando (3) respecto a  $l$  y  $m$ , obtendremos:

$$(6) \frac{\delta f(l, m)}{\delta l} = \frac{\delta[|\tau| - \mu\sigma]}{\delta l} =$$

$$= \frac{2[(\sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2 \sigma_3 - \sigma_1 \sigma_2) - \sigma_3^2] l m^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 (1 - 2 l^2)}{\left\{ 2[\sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2 \sigma_3 - \sigma_1 \sigma_2] - \sigma_3^2 \right\} l^2 m^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 m^2 (1 - m^2) + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 l^2 \left\}^{1/2}}$$

$$- 2l\mu(\sigma_1 - \sigma_3)$$

$$\begin{aligned}
 (7) \quad \frac{\delta f(l, m)}{\delta m} &= \frac{\delta [|\tau| - \mu \sigma]}{\delta m} = \\
 &= \frac{2[(\sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2 \sigma_3 - \sigma_1 \sigma_2) - \sigma_3^2] m l^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 m (1 - 2m^2)}{\left\{ 2[(\sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2 \sigma_3 - \sigma_1 \sigma_2) - \sigma_3^2] l^2 m^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 m^2 (1 - m^2) + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 l^2 (1 - l^2) \right\}^{1/2}} \\
 &\quad - 2m\mu (\sigma_2 - \sigma_3)
 \end{aligned}$$

Para anular (6) y (7) como lo requiere (4) y (5), podríamos tomar  $l=m=0$ , pero esto nos daría un eje principal de tensiones, donde los esfuerzos cortantes o tangenciales son nulos y por tanto no pueden ser un plano de fractura predicho por el criterio de Coulomb o de esfuerzos cortantes.

Por tanto tomamos sólo  $m=0$ , de forma que (7) se haga cero y (6) se transforma en:

$$(8) \quad \left[ \frac{\delta f(l, m)}{\delta l} \right]_{m=0} = \frac{(\sigma_3 - \sigma_1)^2 l (1 - 2l^2)}{[(\sigma_3 - \sigma_1)^2 l^2 (1 - l^2)]^{1/2}} - 2l\mu (\sigma_1 - \sigma_3)$$

$$(9) \quad \left[ \frac{\delta f(l, m)}{\delta l} \right]_{m=0} = \frac{(1 - 2l^2) - 2l\mu (1 - l^2)^{1/2}}{(1 - l^2)^{1/2}} (\sigma_1 - \sigma_3)$$

pero

$$\frac{\delta f(l, m)}{\delta l} = 0$$

por tanto

$$(10) \quad (1 - 2l^2) = 2l\mu (1 - l^2)^{1/2}$$

de esta expresión obtenemos:

$$1-2\cos^2 a = 2\cos a \cdot \mu (1-\cos^2 a)^{1/2} = 2\cos a \cdot \mu \cdot \sin a = \mu \sin 2a$$

$$1-2\cos^2 a = \sin^2 a - \cos^2 a = -\cos 2a$$

$$(11) \quad \mu = -\frac{1}{\operatorname{tg} 2a}, \quad \operatorname{tg} \varphi = -\cot 2a$$

siendo  $\varphi$  el ángulo de fricción interna

$$2a = 90 + \varphi$$

$$a = 45 + \varphi/2$$

en donde  $a = \arccos l =$  ángulo entre la normal al plano de fractura y el eje  $\sigma_1$ .

Las derivaciones y cálculos expuestos prueban que incluso en casos tridimensionales de tensiones, las superficies de fracturas pasan por el eje de la tensión principal intermedia y a un ángulo  $45-\varphi/2$  con la tensión principal máxima  $\sigma_1$ .

En el caso triaxial, las fisuras abiertas que postula la teoría de Griffith, llegan a cerrarse dando lugar a un fenómeno de fricción entre las paredes de las fisuras. De esta forma entramos en la ampliación de la teoría de Griffith en casos de altos estados de confinamientos, conocida por hipótesis Walsh-Mc Clintock. Esta hipótesis predice la formación de superficies de fracturas a un ángulo  $\beta$  dado por:

$$\beta = 1/2 \arccos 1/\mu = 1/2 \arccos \frac{1}{\operatorname{tg} \varphi} \quad \beta = 45-\varphi/2$$

ecuación idéntica a la postulada por la teoría de Coulomb.

En caso de esfuerzos a tensión el ángulo disminuye y tiende a valer cero. La variación del ángulo con la disminución gradual de estados de compresión a estados tensionales ha sido estudiada con detalle por Z.T. Beniaowski y L. Hoek.

Teniendo en cuenta todo lo hasta aquí expuesto, es fácil de comprender que si todas las superficies de fracturas tales como diaclasas, zonas de cizalladuras, etc., observadas durante una exploración estructural son representadas en una red estereográfica sin considerar los distintos orígenes de las fracturas (fracturas de tensión, fracturas de corte, aquellas producidas por expansión, foliación en estructuras plegadas, etc.), la intersección de todas estas superficies nos llevará a una zona restringida de la red que tenderá a ser paralela a la dirección de la tensión principal intermedia del estado tensional que las produjo. Por otra parte, la mayoría de las restantes líneas de intersección que caen fuera de la zona restringida tenderán a formar una franja limitada por dos círculos máximos. La tendencia del eje  $\sigma_2$  a oscilar a lo largo de la franja viene determinada por las oscilaciones sufridas por la dirección de  $\sigma_1$  en su inclinación por debajo o por encima de la horizontal al pasar por zonas de la masa rocosa con diferentes características mecánicas. Estas oscilaciones de  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$  son rotaciones con eje de rotación  $\sigma_3$  y nos sirven para delimitar la existencia en un plano vertical (plano de  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$ ) de zonas a compresión y a tensión.

Por otra parte las oscilaciones del eje  $\sigma_2$  a lo ancho de la franja de intersecciones viene determinado por variaciones en la inclinación de  $\sigma_3$ . Esta tensión principal como sabemos tiende a ser normal a las superficies de fallas y zonas de cizalladuras, por tanto sus oscilaciones nos indican variaciones en la inclinación de los planos de falla. El proceso que

puede ser considerado como rotaciones con eje  $\sigma_1$ , sirve para determinar zonas de compresión o dilatación en un plano horizontal. La posibilidad de determinar volúmenes a compresión y a tensión usando este sistema de análisis estructural es pues factible.

### 3.3.- SISTEMA DE TOMA DE DATOS ESTRUCTURALES EN GALERIAS

El sistema de toma de datos se realiza siguiendo los siguientes criterios o normas:

- 1) La línea central de cada galería, se toma como línea de referencia.
- 2) El lado izquierdo de cada galería fue considerado aquel a la izquierda de la línea central de la galería, cuando se camina hacia el frente de la misma, es decir alejándose del pozo de entrada.
- 3) El rumbo de cada discontinuidad fue anotado como el ángulo agudo entre la línea central de cada galería y el plano de fractura, medido en un plano horizontal.
- 4) La dirección de cada rumbo fue además definida como izquierda o derecha según tenga lugar en el hastial izquierdo o de recho.
- 5) Se consideró como inclinación al ángulo agudo formado por el plano de la diaclasa con un plano horizontal, medido en un plano vertical y perpendicular al rumbo.
- 6) La inclinación fue a su vez denominada como "a" o "r", según buzase hacia el frente de la galería, (adelante) o hacia atrás ("retroceso").

- 7) Las direcciones de desplazamientos o espejos de fallas, que daron definidos por el ángulo agudo entre la horizontal y la señal del desplazamiento, medido en el plano de fractura ("Rake"). Al igual que el buzamiento, la dirección de desplazamiento fue además definido por "a" o "r" según que su dirección indicase un desplazamiento hacia o en contra del frente de la galería.
- 8) En el caso especial donde el rumbo era de  $90^\circ$  con la línea central de la galería, las direcciones de desplazamientos se designaron D ó I, derecho o izquierdo.
- 9) De forma similar, en las juntas con rumbo  $0^\circ$ , las inclinaciones fueron designadas D ó I, según buzasen hacia el hastial derecho o izquierdo.

En la Fig. 2 se expresa de una forma gráfica el criterio de cartografía expuesto.

Además del rumbo, inclinación y direcciones de desplazamientos existentes en las superficies de fracturas, otras características de éstas y demás fenómenos geológico estructurales fueron observados y tenidos en cuenta en el análisis de esta zona, aspectos y características tales como, número de fracturas y diaclasas pertenecientes al mismo "set" o familia, zonas altamente alteradas y evidencia de movimientos complejos en una misma fractura.

- 7) Las direcciones de desplazamientos o espejos de fallas, que que daron definidos por el ángulo agudo entre la horizontal y la señal del desplazamiento, medido en el plano de fractura ("Rake"). Al igual que el buzamiento, la dirección de desplazamiento fue además definido por "a" o "r" según que su dirección indicase un desplazamiento hacia o en contra del frente de la galería.
- 8) En el caso especial donde el rumbo era de  $90^\circ$  con la línea central de la galería, las direcciones de desplazamientos se designaron D ó I, derecho o izquierdo.
- 9) De forma similar, en las juntas con rumbo  $0^\circ$ , las inclinaciones fueron designadas D ó I, según buzasen hacia el hastial derecho o izquierdo.

En la Fig. 2 se expresa de una forma gráfica el criterio de cartografía expuesto.

Además del rumbo, inclinación y direcciones de desplazamientos existentes en las superficies de fracturas, otras características de éstas y demás fenómenos geológico estructurales fueron observados y tenidos en cuenta en el análisis de esta zona, aspectos y características tales como, número de fracturas y diaclasas pertenecientes al mismo "set" o familia, zonas altamente alteradas y evidencia de movimientos complejos en una misma fractura.

- 7) Las direcciones de desplazamientos o espejos de fallas, que daron definidos por el ángulo agudo entre la horizontal y la señal del desplazamiento, medido en el plano de fractura ("Rake"). Al igual que el buzamiento, la dirección de desplazamiento fue además definido por "a" o "r" según que su dirección indicase un desplazamiento hacia o en contra del frente de la galería.
- 8) En el caso especial donde el rumbo era de  $90^\circ$  con la línea central de la galería, las direcciones de desplazamientos se designaron D ó I, derecho o izquierdo.
- 9) De forma similar, en las juntas con rumbo  $0^\circ$ , las inclinaciones fueron designadas D ó I, según buzasen hacia el hastial derecho o izquierdo.

En la Fig. 2 se expresa de una forma gráfica el criterio de cartografía expuesto.

Además del rumbo, inclinación y direcciones de desplazamientos existentes en las superficies de fracturas, otras características de éstas y demás fenómenos geológico estructurales fueron observados y tenidos en cuenta en el análisis de esta zona, aspectos y características tales como, número de fracturas y diaclasas pertenecientes al mismo "set" o familia, zonas altamente alteradas y evidencia de movimientos complejos en una misma fractura.

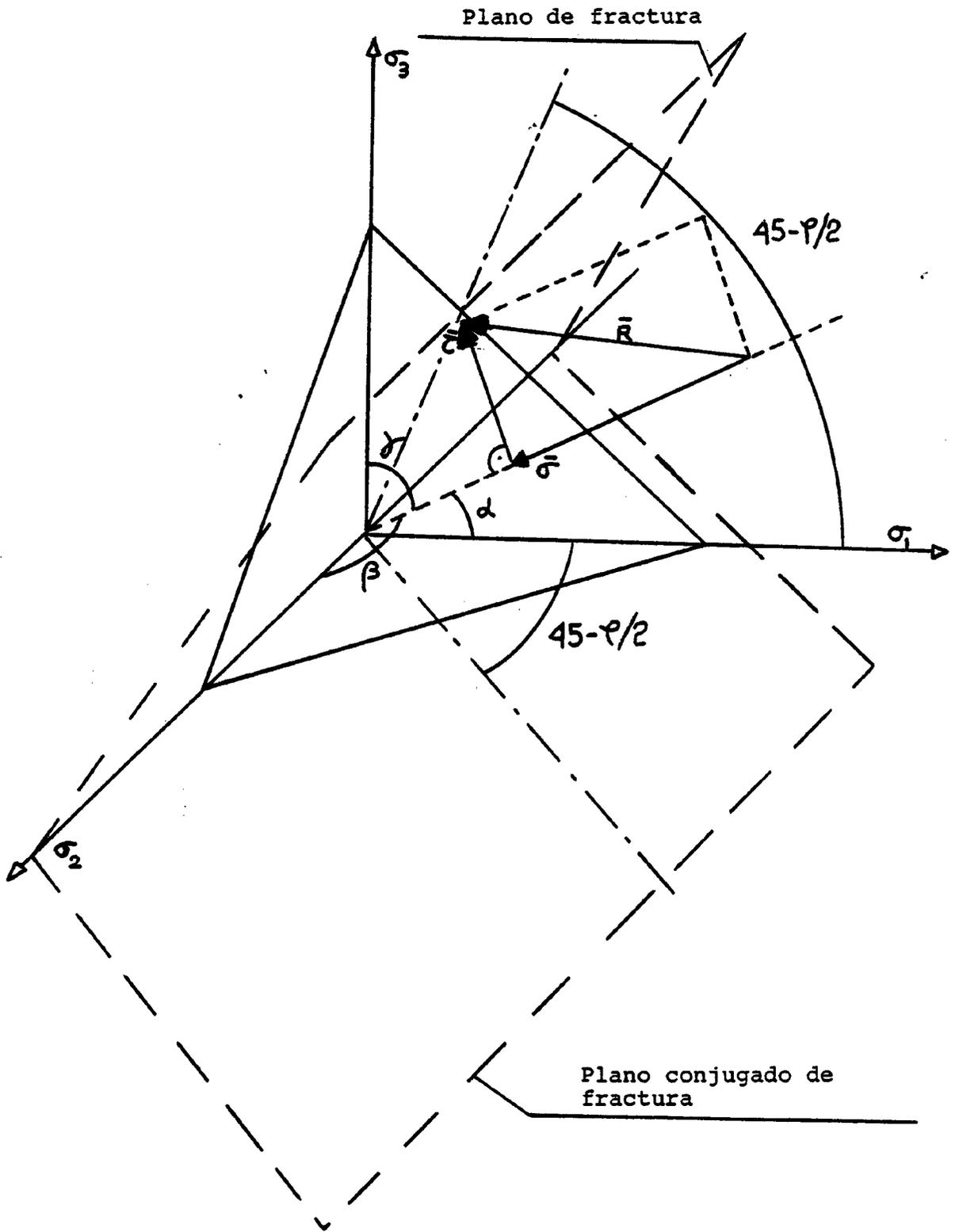
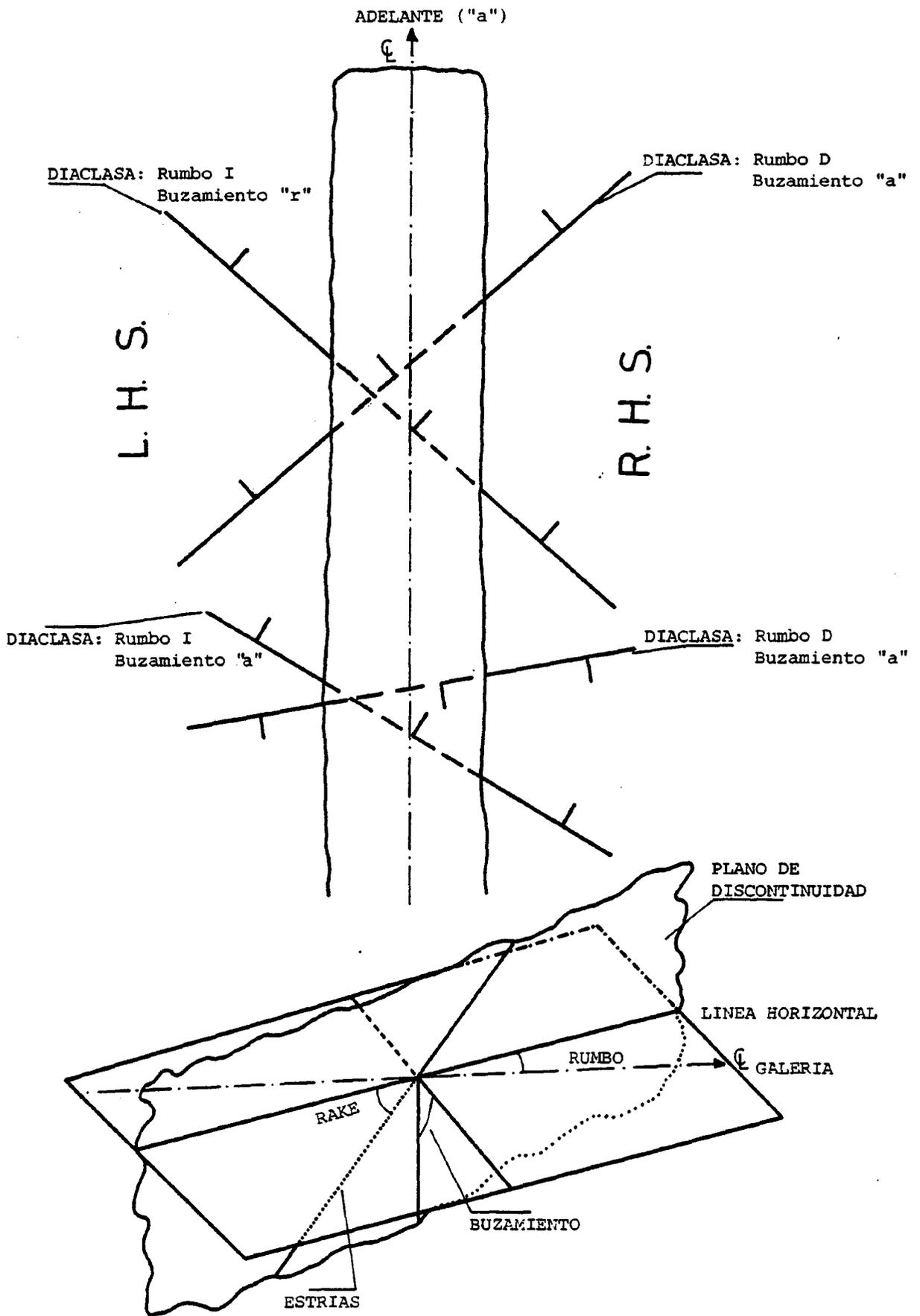


Figura 1.  
 Planos de Fracturas en un Sistema de Tensiones Tri-Dimensional



Criterios para la toma de datos  
 Figura 2.

4.- PROGRAMA DE EXPLORACION ESTRUCTURAL SUBTERRANEA EN  
MINA INNOMINADA

#### 4.1.- OBJETIVOS

Con objeto de proporcionar datos estructurales al modelo previsto en la investigación geomecánica del tajo S-2, abierto al SE del Recorte R-63 en la Mina Innominada, se ha realizado un estudio tectónico orientado hacia los siguientes aspectos:

- a) Definición geométrica de la microestructura, con vistas a determinar los espesores y disposición de las formaciones estratigráficas en el volumen de rocas situado en el tajo y en su vertical.
- b) Determinación de las familias de discontinuidad del macizo rocoso en el que se sitúa la explotación.
- c) Campos de esfuerzos tectónicos que las rocas han sufrido en el pasado geológico.

Para resolver el primer punto se ha contado con la información previa del Estudio Sísmico por el método Mini-sosie de la ampliación de Innominada, realizado para ENDESA por la Compañía General de Geofísica, S.A., y se han tomado datos estructurales en superficie para finalmente definir la estructura en un prisma cuadrangular de 500 m de lado en su base, alrededor del área del R-63.

El estudio de las discontinuidades se ha elaborado a partir de medidas de orientación de diaclasas y fallas menores tomadas en el interior de la mina y en superficie.

#### 4.2.- LA SERIE ESTRATIGRAFICA

A partir de las observaciones de campo y los datos de los sondeos realizados en los alrededores del área estudiada, se puede observar la siguiente serie estratigráfica generalizada de techo a muro.

Terciario: Areniscas de cemento calcáreo y conglomerados silíceos alternantes con arcillas de color pardo-rojizo. En la base presenta esta formación una capa de 1,7 m de caliza rojiza que termina a techo con 0,2 - 0,3 m de calizas grises tableadas. El espesor de esta formación en el área investigada oscila entre 0 y 65 m pero hacia el SW va aumentando.

Alboaptense: Arenas silíceas blancas y versicolores, con matriz arcillosa e intercalaciones de arcilla y de areniscas más o menos compactadas. En la base de la serie aparecen las capas de carbón (Grupo P) cuyo espesor oscila entre 3 y 15 m.

Sobre el grupo P aparecen 25 m de arenas y encima la capa de carbón 0.

A muro del carbón del grupo P se encuentran de 5 a 30 m de arcillas y margas lajosas y compactadas de color verde, con alguna capa de caliza.

Bedouliense

inferior : Es un paquete de calizas de 15 m de espesor situado a muro de las series anteriores. En este paquete se sitúan las galerías de arrastre de la explotación.

Lias super: Más de 100 m de margas.

Una sección típica de la serie estratigráfica en la zona de Mina Innominada y el tajo S-2, la podemos ver en la Fig. 3.

#### 4.3.- MACROESTRUCTURA

El Estudio Sísmico antes mencionado proporciona un mapa de Isohipsas del muro de la caliza aptense sobre el nivel del mar. Dicho mapa no cubre totalmente el área investigada pero pue de prolongarse por extrapolación con ciertas garantías.

Para completar la visión tridimensional de la estructura se ha elaborado otro mapa de isohipsas esta vez utilizando el muro de la caliza de base del Terciario. Como no existen sondeos en el área cuadrangular en que se centra este estudio, se han tomado datos estructurales de orientación de la estratificación y situación del contacto Terciario-Alboaptense (Fig. 4). Utilizando técnicas geométricas sencillas se han proyectado las isohipsas entre 560 y 480 m; estas curvas resultan ser una aproximación aceptable para la escala y los fines propuestos.

Con las curvas de la caliza aptense, las del contacto terciario-alboaptense y la topografía pueden trazarse secciones estructurales dentro del área del cuadrilátero ABCD, siendo el corte CI-CI' un ejemplo.

La estructura es en forma de homoclinal buzando entre 15 y 10° al SW.

Areniscas + conglomerados + pizarras

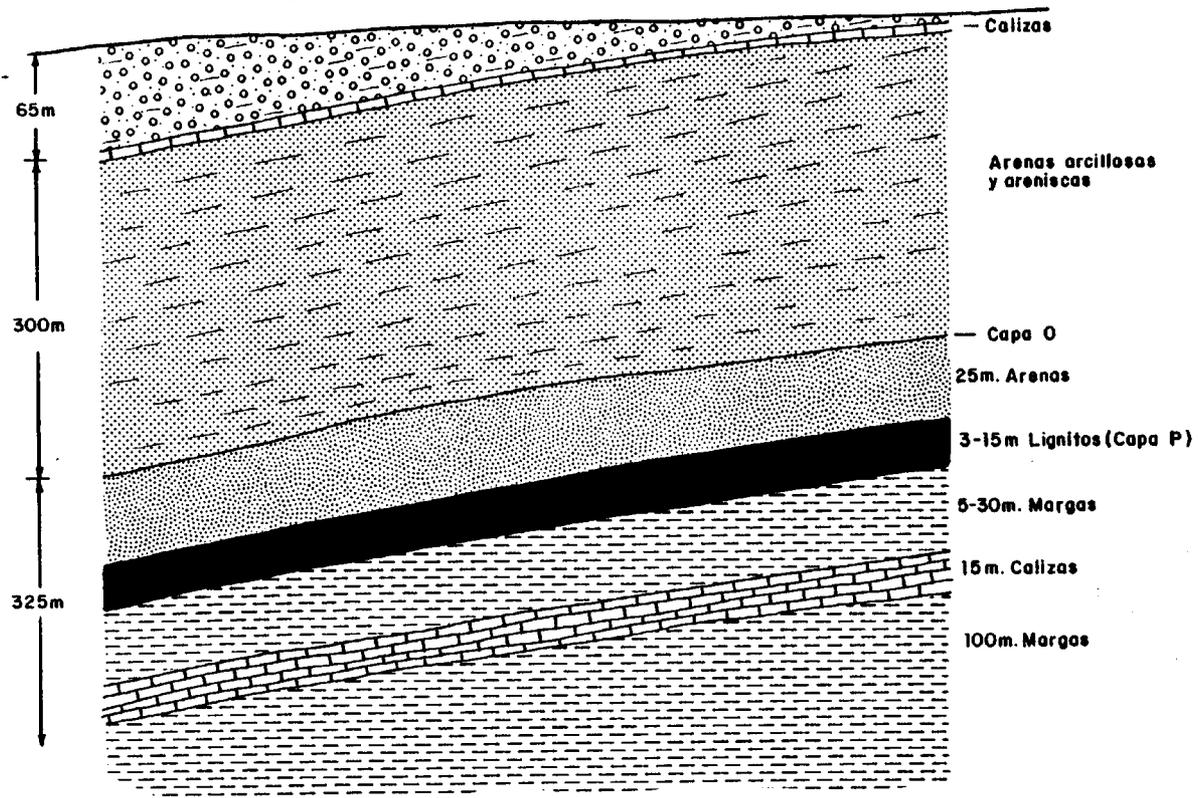
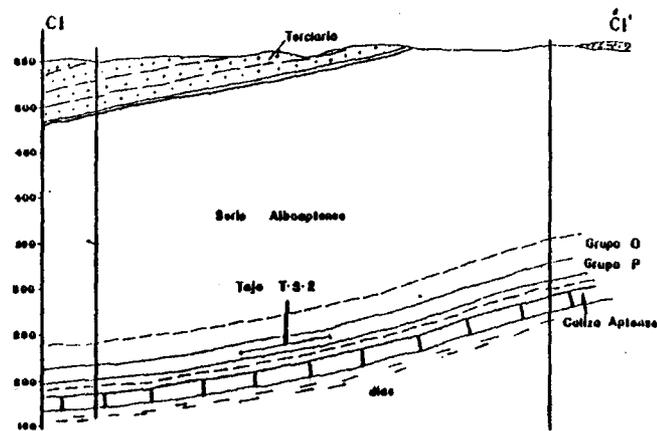
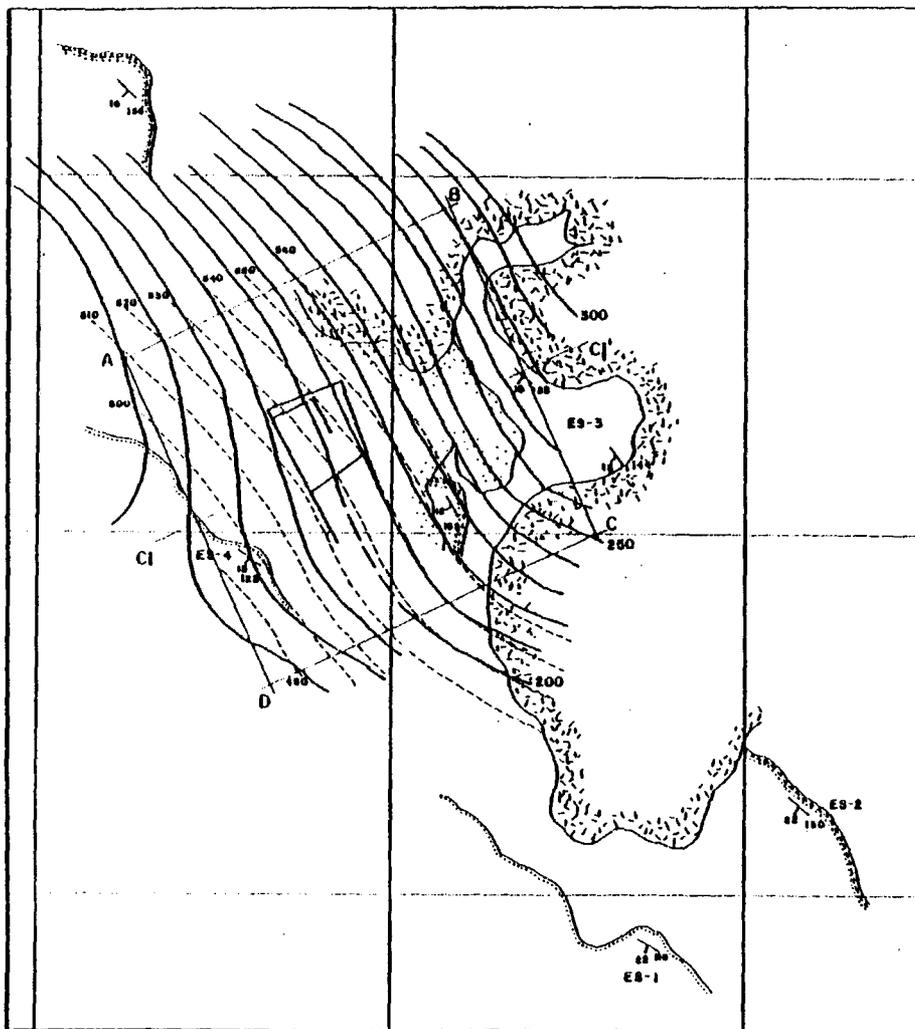


Figura 3.

# ESTUDIO ESTRUCTURAL



## LEYENDA

-  RELLENO
-  CUATERNARIO
-  UTRILLAS
-  BASE DEL TERCIARIO
-  PAQUETE CONGLOMERITICO DEL TERCIARIO
-  ISOHIPSA DE LA BASE DEL TERCIARIO
-  ISOHIPSA DEL MURO DE LA CALIZA APTENSE

Figura 4.

#### 4.4.- ANALISIS DE DISCONTINUIDADES

Las formaciones estratigráficas están cruzadas por varias familias de discontinuidades sistemáticas, planos de estratificación y diaclasas, que les confieren un caracter anisótropo. Algunas de estas discontinuidades son fallas de pequeño salto y longitud, visibles tanto dentro de la mina como en superficie y catalogadas. Para establecer la distribución de discontinuidades se han realizado:

##### - Medidas en el interior de la mina

Se han tomado las orientaciones de microfallas y diaclasas en las galerías GG-6, R-63, N-S-2/63, P-S-2/P, P-S-2-63, N-S-2/63 Intermedio, N-S-2/53, R-53 y en el tajo T-S-2 en dos días diferentes durante su explotación. (Fig. 5).

Estas galerías se han dividido en tramos de 15 m de longitud obteniéndose con ello 46 unidades de exploración. Las medidas se dan tabuladas en el Anexo I y sus representaciones estereográficas con la red de Schmidt en el Anexo II. (Ver situación de estaciones de medidas estructurales en la Fig. 4.)

##### - Medidas de discontinuidad en superficie

Con objeto de controlar la validez de los resultados de las unidades estructurales de la mina y facilitar su interpretación, se han tomado medidas de discontinuidades en cuatro estaciones en la superficie, dos de ellas en la formación arenosa al boaptense y otras dos en el Terciario (Fig. 4 y Anexo III).

En la mina se han soslayado las perturbaciones magnéticas, tomando las direcciones de los planos de discontinuidad en relación con los hastiales de las galerías.

# SITUACION DE ESTACIONES DE MEDIDAS ESTRUCTURALES

4 ESTACIONES  
16 DISTANCIA EN METROS

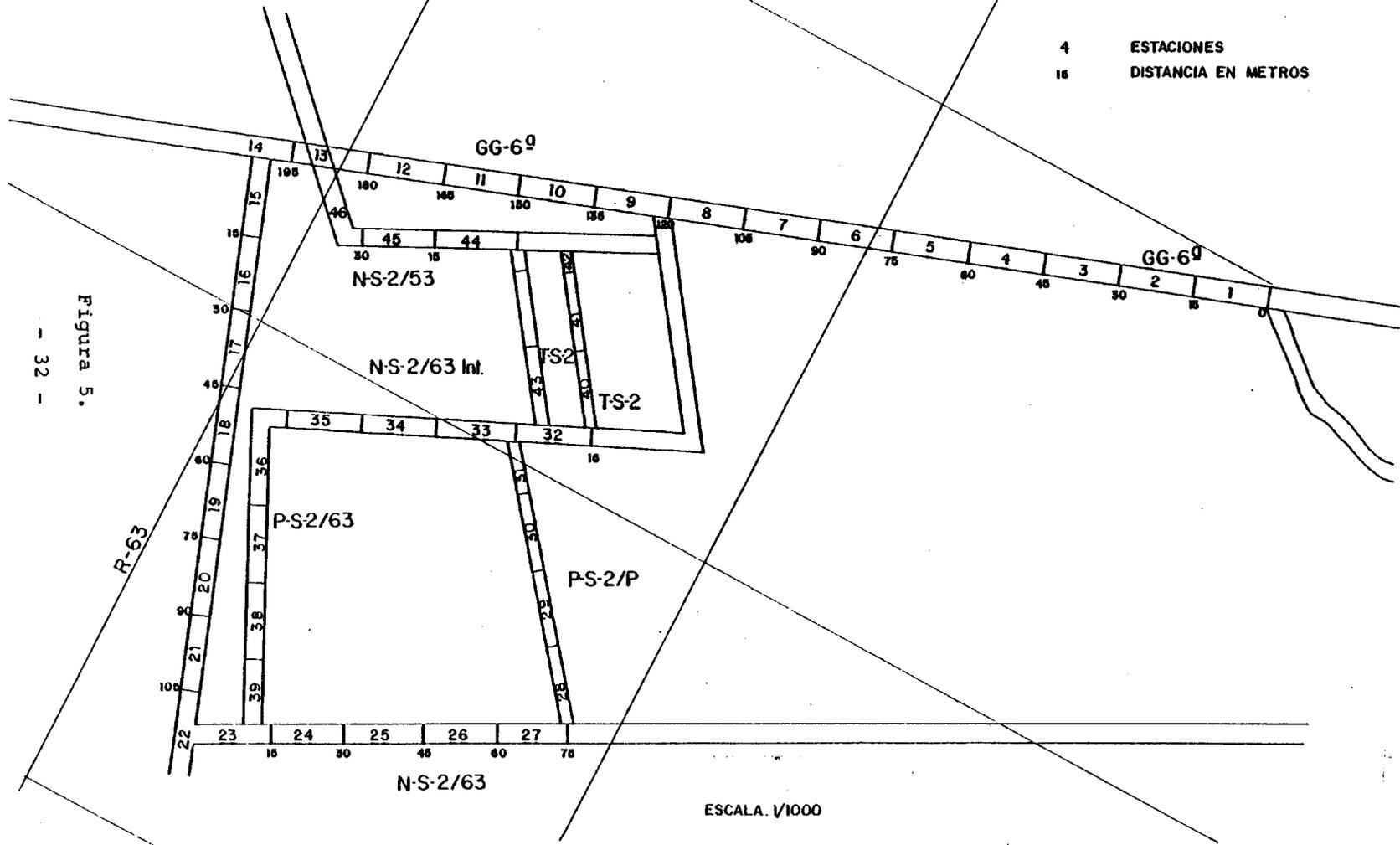


Figura 5.

En todas las unidades subterráneas y estaciones en superficie, la orientación de los planos viene dada por la dirección o azimut y por el buzamiento.

#### 4.5.- INTERPRETACION ESTRUCTURAL DE LAS DISCONTINUIDADES

Las estaciones de superficie presentan una fracturación relativamente simple, con familias de diaclasas relacionadas, en cuanto a su orientación, con la disposición de la estratificación.

- En la estación ES-1 situada sobre areniscas terciarias y con la estratificación orientada según  $118^{\circ}-22$  S, aparecen dos familias de diaclasas, perpendiculares entre sí y a las capas. La de mayor frecuencia es  $J_1$  (109-68N) y la de menor  $J_2$  (11-90), con lados de 3 a 5 m de continuidad.

- En ES-2, con las capas orientadas 137-15SW, vuelven a observarse las dos familias de diaclasas  $J_1$  (119-84NE) y  $J_2$  (30-78S), perpendiculares a la estratificación.

- En ES-3, con  $S_0$  144-13SW las diaclasas varían ligeramente de orientación respecto a la estratificación pero son equiparables a las familias ya descritas si bien aparece una nueva ( $J_3$ ) no definida en las otras estaciones. Las familias encontradas son  $J_1$  (93-80N),  $J_2$  (5-80E) y  $J_3$  (121-73S).

- En ES-4, con  $S_0$  121-13SW nuevamente quedan bien definidas las dos familias de diaclasas  $J_1$  (122-80NE) y  $J_2$  (53-84NW).

Como conclusión del análisis de las cuatro estaciones se definen con claridad dos familias de diaclasas perpendiculares

entre si y respecto a la estratificación, siendo una longitudinal respecto a la dirección de las capas y, otra transversal , sus orientaciones varían levemente en función de la posición de las capas.

En la mina los resultados son más complejos.

- En las unidades tomadas en la Galería General 6<sup>a</sup> hay una relativa dispersión de diaclasas pero tal como se aprecia en la Fig. II-1, de donde se totalizan todas las medidas, destaca una familia bien definida según 91-74 E, correspondiendo con la  $J_1$  ya determinada en superficie.

- El recorte 63 (Fig. II-2) muestra fuerte dispersión con la posible definición de tres familias,  $J_1$  (112-56 N),  $J_2$  (4-77 W) y  $J_3$  (100-53 S).

- En las galerías en el carbón y en el mismo tajo los diagramas totalizadores de diaclasas muestran las dos familias  $J_1$  longitudinal y  $J_2$  transversal ya reconocidas en el área (Fig. 3 a 8 del Anexo II).

El análisis muestra pues, que en los modelos de distribución de discontinuidades los planos que definen los bloques son la estratificación, las diaclasas  $J_1$ , longitudinales, y las diaclasas  $J_2$  transversales. En las capas de carbón los espaciados son centimétricos o decimétricos, a veces con tal densidad que su morfología es similar a la de una esquistosidad.

#### 4.6.- CAMPOS DE ESFUERZO REGIONAL SUFRIDO POR LAS ROCAS EN EL PASADO

Este aspecto es el peor definido en el área investigada debido a las limitaciones impuestas y por faltar macroestructu

ras definidas en los materiales rocosos estudiados. Por ello se ha realizado una reunión de datos en áreas limítrofes, situados al Este y SE. En la región entre Calanda y Aliaga (Arco de Castellote) se ha desarrollado un trabajo en el que, a partir de medidas de orientación de columnas en juntas estilolíticas y de grietas de tracción rellenas con calcita, se han determinado las orientaciones del eje de esfuerzo principal máximo a lo largo de la zona referida. Los datos más próximos parecen indicar que la región fue comprimida al menos dos veces, una según la dirección N 20° y otra posterior 110°. El primer campo de esfuerzos es responsable del plegamiento ibérico principal y el segundo se superpuso como consecuencia de la actividad de un desgarre sinistral de zócalo entre Calanda y Teruel.

No se han encontrado datos de posible intensidad de los esfuerzos o grado de acortamiento de las rocas. Este último aspecto podría en el futuro ser abordado mediante una investigación específica de la caliza aptense, donde los fenómenos de presión-disolución pueden haber originado juntas estilolíticas y grietas.

#### 4.7.- CONCLUSIONES

El estudio estructural efectuado en la mina y en superficie, permite obtener las siguientes conclusiones generales:

- La estructura es un homoclinal con buzamiento suave SW. En la Fig. 3 y 4, es posible obtener cortes verticales que unidos a datos de características y parámetros geomecánicos, pueden usarse en el cálculo de distribución de esfuerzos mediante el uso de métodos numéricos especialmente concebidos para la clase de materiales geológicos existentes en Mina Innominada.

- Las formaciones rocosas del área estudiada está surcadas por tres familias principales de discontinuidades:
  - a) Estratificación
  - b) Diaclasa  $J_1$ , longitudinales y buzando al NE
  - c) Diaclasa  $J_2$ , transversales buzando generalmente al Este
  - d) Las intersecciones de las dos familias  $J_1$  y  $J_2$  tienen lugar en el cuadrante N-E, y buzando entre  $70^\circ$  y  $80^\circ$ E.
  
- Algunas discontinuidades singulares, microfallas de pequeño salto han sido cartografiadas sobre la planta de la mina.
  
- Las rocas a nivel regional parece ser que han sido sometidas a dos campos de esfuerzos tectónicos horizontales sucesivos, con  $\sigma_1$  ( $20^\circ$ ) el primero y  $\sigma_2$  ( $110^\circ$ ) el segundo, ésto es prácticamente paralelo y perpendicular respectivamente al frente del Tajo, o lo que es lo mismo lateral y axial con respecto a las galerías en carbón del S-2.

5.- TRATAMIENTO COMPUTARIZADO DE LA  
INFORMACION GEOLOGICO-ESTRUCTURAL

## 5.1.- INTRODUCCION

Con el fin de analizar e interpretar la información - geoestructural recogida en los trabajos realizados, se vió la necesidad de hacer un tratamiento de las mismas mediante técnicas computarizadas que permitiesen tratar un gran volumen de - datos correspondientes a cada una de las unidades y estaciones que se han utilizado en el programa estructural llevado a cabo en las proximidades del Tajo S-2 de Mina Innominada.

Este tratamiento permite el valorar los estados tensionales del terreno, conforme a como ya hemos comentado, su variación a lo largo de distintas zonas de una operación minera subterránea, y a definir dominios tenso-estructurales con un - mayor o menor grado de dilatación o compresión de la masa rocosa.

El programa aquí utilizado somete a todos los sistemas de fracturas, diaclasas y discontinuidades a un tratamiento de acuerdo al siguiente proceso de datos.

## 5.2.- PROCESO DE DATOS

Todas las fracturas son tratadas de la siguiente forma:

- 1) Todas son proyectadas en una red estereográfica de Schimidt, por una técnica de representación polar.
- 2) La distribución de polos en la representación polar de fracturas son agrupados en contornos según la frecuencia de aparición de cada diaclasa en una misma dirección. De esta forma, en la red de proyección se trazan los contornos de una forma semejante a las líneas de nivel de los trabajos topográficos. Las concentraciones de polos de más de un 5% son seleccionadas en estos diagramas.
- 3) Los grupos de diaclasas representados por las anteriores concentraciones máximas, son de nuevo trazadas en la red estereográfica como planos y sus intersecciones representadas como polos en la red.
- 4) Las intersecciones quedan representadas como puntos, los cuales son de nuevo delimitados por líneas de contorno, con intervalos porcentuales. De esta forma, las concentraciones máximas de las líneas de intersección de discontinuidades y diaclasas nos sirven para tener un panorama tridimensional de las tensiones de campo existente en la unidad estructural que nos ha servido para hacer el estudio de representación polar.

### 5.3.- PROGRAMA DE PROYECCIONES POR COMPUTADORAS

Hacer una representación y análisis manual de todos los datos recopilados en el programa de exploración estructural subterránea, se considera en muchos casos como un trabajo de gran consumo de tiempo y por tanto completamente impracticable. Solamente la representación de unas 50 diaclasas, alcanza una gran confusión de líneas y círculos en la fase de intersecciones, te

niendo que invertir en el mismo más de 50 horas. Queda pues, - bien patente que el análisis estructural sólo podía ser resuelto mediante la ayuda de programas computarizados. (Anexo IV). - Este programa fue codificado en colaboración con el Computer - Science Department de la Universidad de Waterloo (Ontario) en FORTRAN IV para IBM 360/75. El programa fue puesto a punto en colaboración con los servicios de informática de ENADIMSA en las instalaciones de IBM-Madrid, Castellana, 4.

Los datos estructurales de campo estaban tomados en relación a la línea central de las galerías, haciendo referencia a los hastiales derecho o izquierdo según su orientación. Este - sistema de toma de datos se había hecho así ante la imposibilidad de tomar una referencia Norte-Sur en los trabajos subterráneos por el carácter magnético de las labores subterráneas, y por la mayor facilidad y rapidez en las lecturas cuando las mediciones se hacían en relación a los hastiales. Sin embargo para pasar estos datos a las tarjetas de datos de las computadoras era necesario seguir una ley matemática y sistemática en el suministro de datos a la computadora. Por tanto los rumbos y buzamientos de todas las diaclasas, fracturas y discontinuidades - tuvieron que ser transferidos a un nuevo sistema inteligible para las computadoras. El criterio fue el siguiente:

- a) Línea común de referencia Norte-Sur.
- b) Medición de rumbos en el sentido contrario a las agujas del reloj a partir del Norte.
- c) Buzamientos medidos en el sentido de las agujas del reloj usando el plano horizontal como buzamiento cero y mirando hacia el Norte.

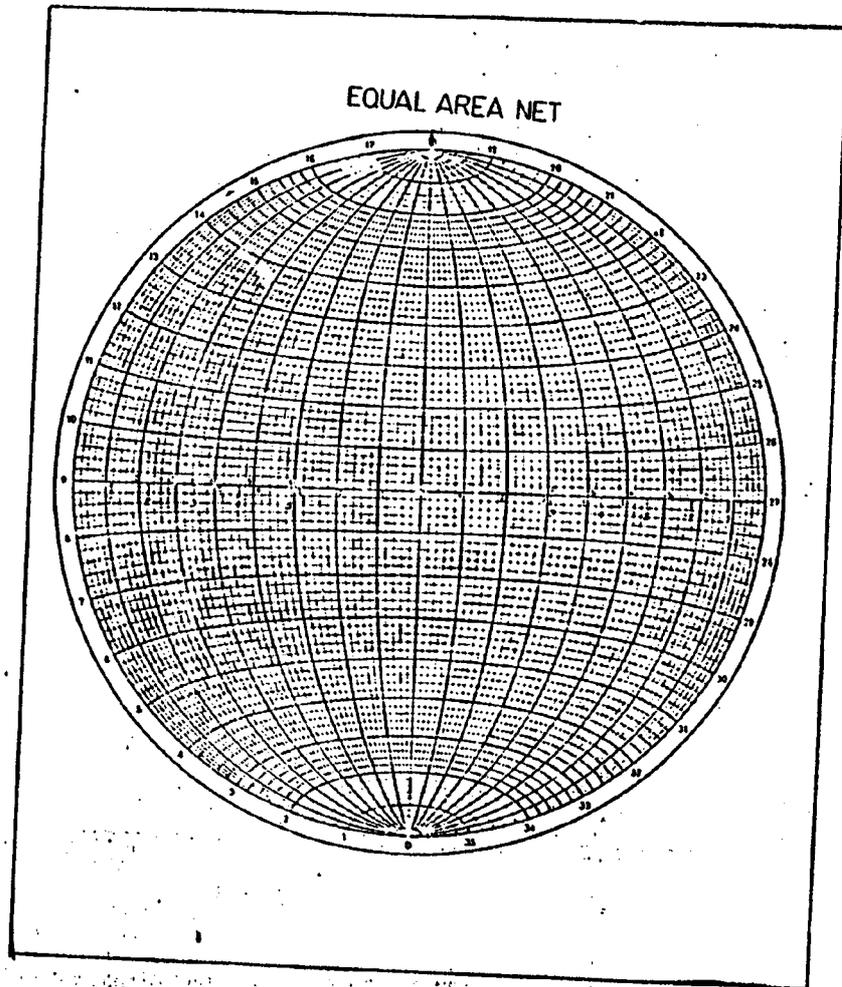
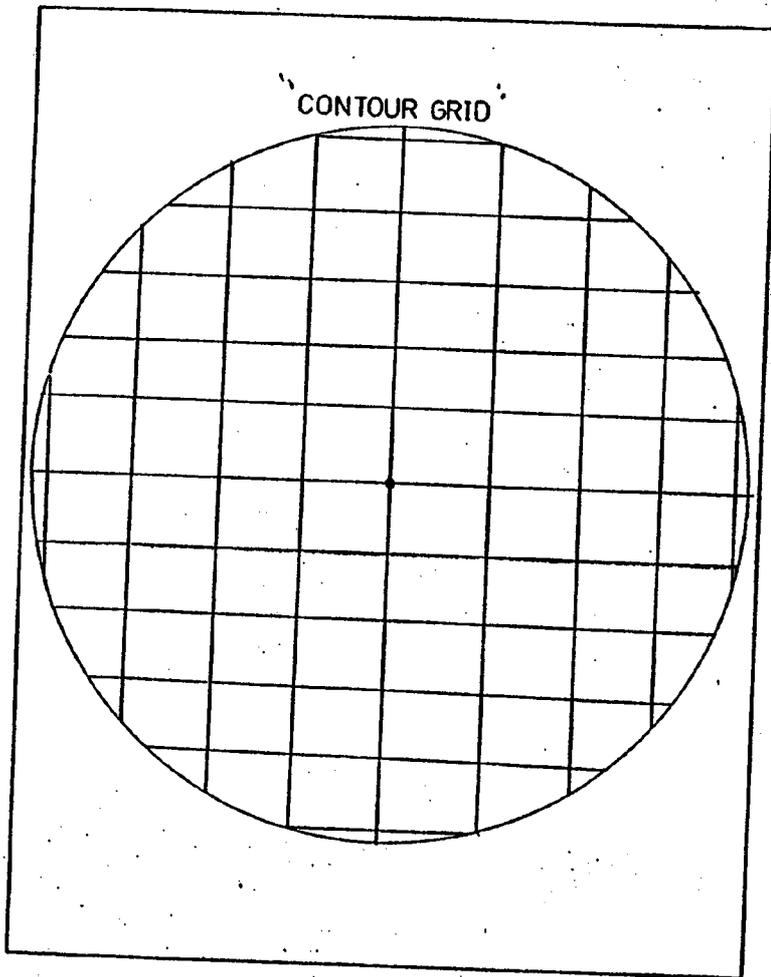
#### 5.4.- "FRACTURA UNIDAD". FACTOR DE PESO

Es evidente que en un análisis estructural como el que estamos haciendo en el que tenemos que tratar con concentraciones máximas de polos, o de intersecciones de las diaclasas correspondientes no podemos considerar a todas ellas con la misma importancia y significado. La importancia de una fractura de 7 u 8 metros de exposición no puede ser considerada con el mismo peso e importancia que otra con 30 centímetros. Es por esto, que se decidió fijar una "Fractura-Unidad" como aquella con 30 centímetros de longitud y dotar a cada diaclasa o "set" de las mismas con un Factor de Peso igual al número de "Fracturas - Unidades" que tuviese. Siguiendo esta regla, todas las fracturas tanto prominentes, medianas, pequeñas o débiles pudieron ser tratadas de una forma lógica y racional dándole a cada una un peso definido por una ley matemática. Este Factor de Peso se introduce en las computadoras como un dato más de cada diaclasa en su correspondiente tarjeta de datos.

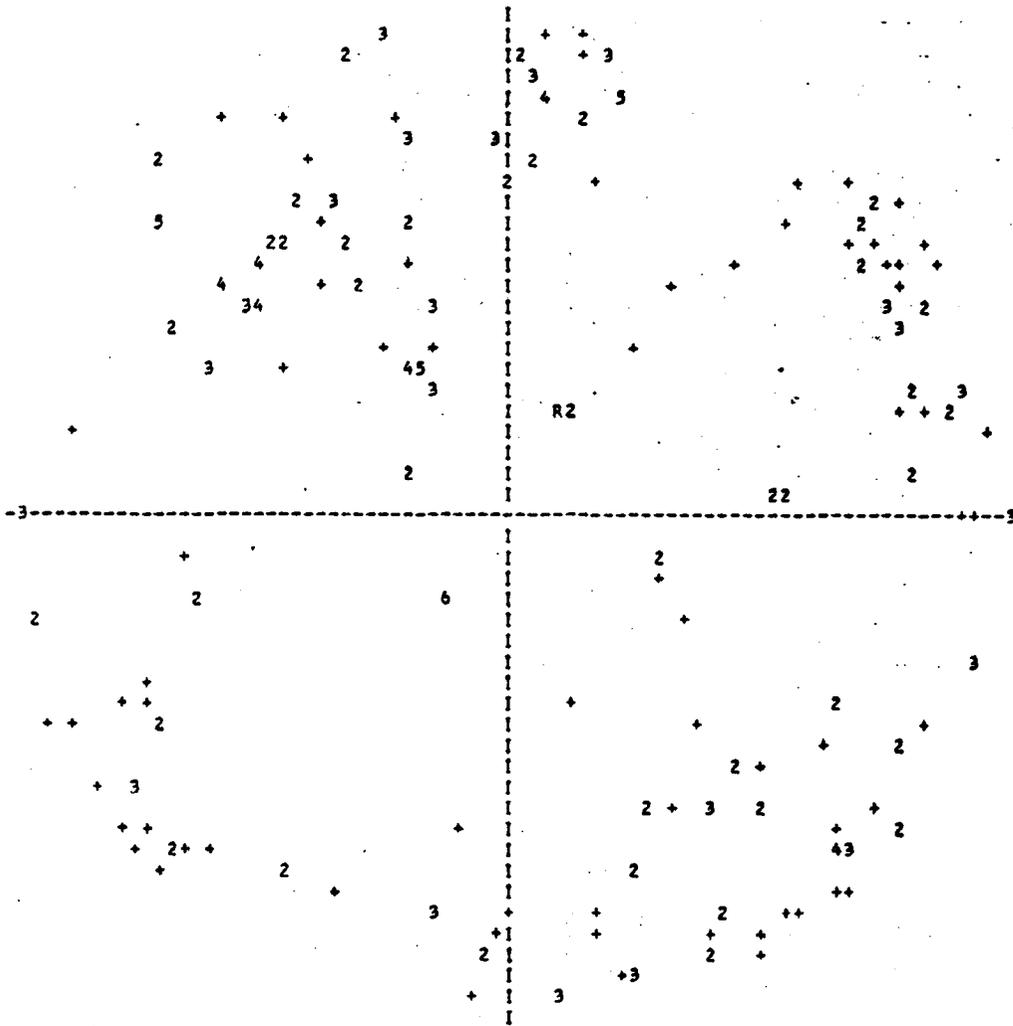
#### 5.5.- VALORACION DE DATOS POR COMPUTADORAS

En el final de este capítulo, se muestran una serie de "print-outs" de computadoras, correspondientes al estudio estructural de una prueba del programa.

La primera figura es una representación polar de 263 diaclasas en una red estereográfica de Schmidt. Las cruces representan la presencia de una sola junta, los números indican el número de fracturas, o mejor dicho de "Fracturas-Unidad" con una determinada orientación espacial. En la segunda fase ("Print outs"2", los polos son revalorados por el programa de forma que toda concentración de menos de 3 polos por área unidad (1 % del área de la red) no son consideradas, y toda concentración por

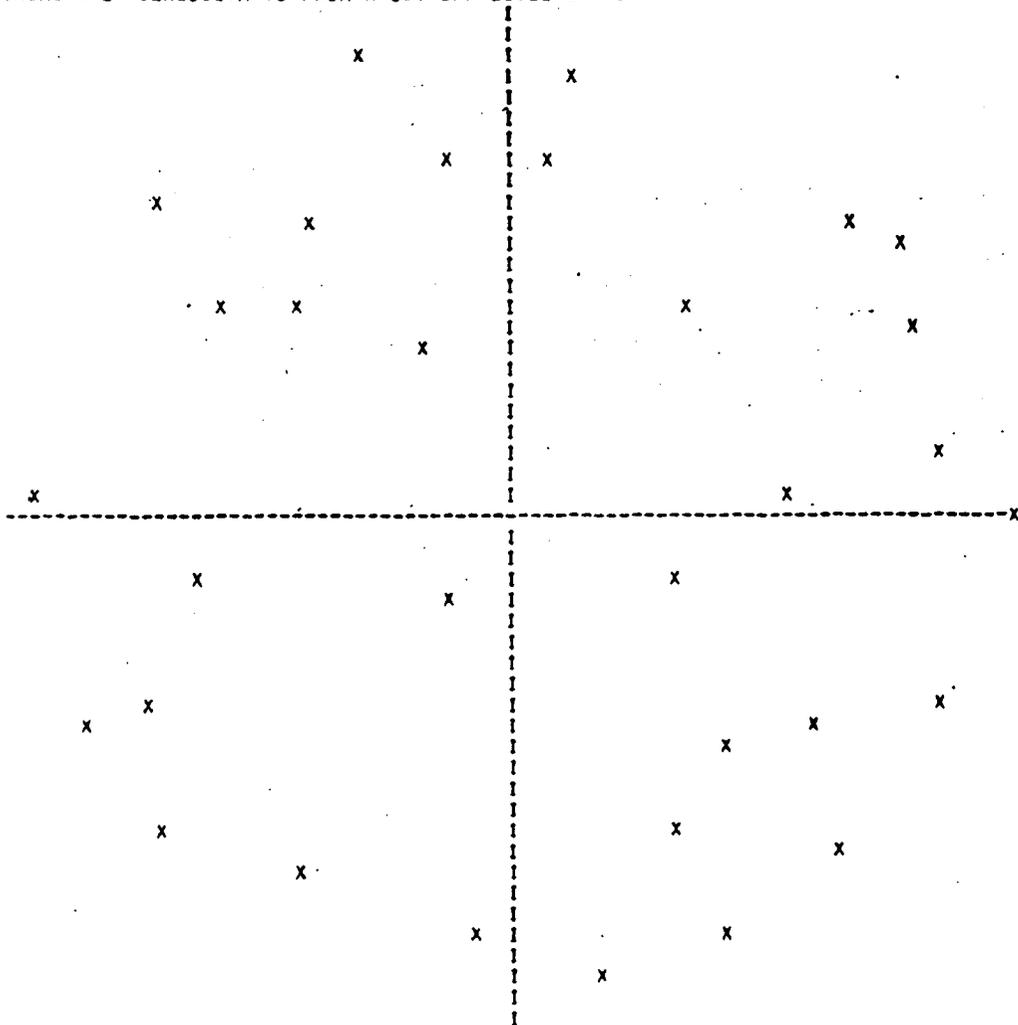


THERE ARE 263 POLES PLOTTED.



PRINT 1

THERE ARE 32 RESULTANTS FROM A CUT-OFF LEVEL OF 3



PRINT 2

encima del "cut-off" 3 son de nuevo representadas en el diagrama. Esta fase se puede considerar como un proceso de barrido - usando un "cut-off" de 3 polos por área unidad. Estas áreas unidad, vienen definidas por la malla denominada "Contour Grid" y que también aparece en el final de este capítulo. Cada punto de intersección de líneas verticales y horizontales de este "Contour Grid" es el centro de las áreas unidad, círculos con un radio la décima parte del radio de la red de proyección, ésto es la centésima parte del área de la red. El programa traslada el área unidad de punto de intersección a punto de intersección - del "Contour Grid", y a su vez cuenta el número de polos dentro de cada área-unidad en cada una de sus posiciones. El número de polos dentro de cada área-unidad representada a la zona espacial definida por el círculo del área unidad. El número de polos se considera aplicado al centro del área unidad. De esta - forma, la computadora hace primero un barrido sobre toda la red con el área unidad, concentrando los polos en los centros de las mismas, para seguidamente aplicar el "cut-off" 3.

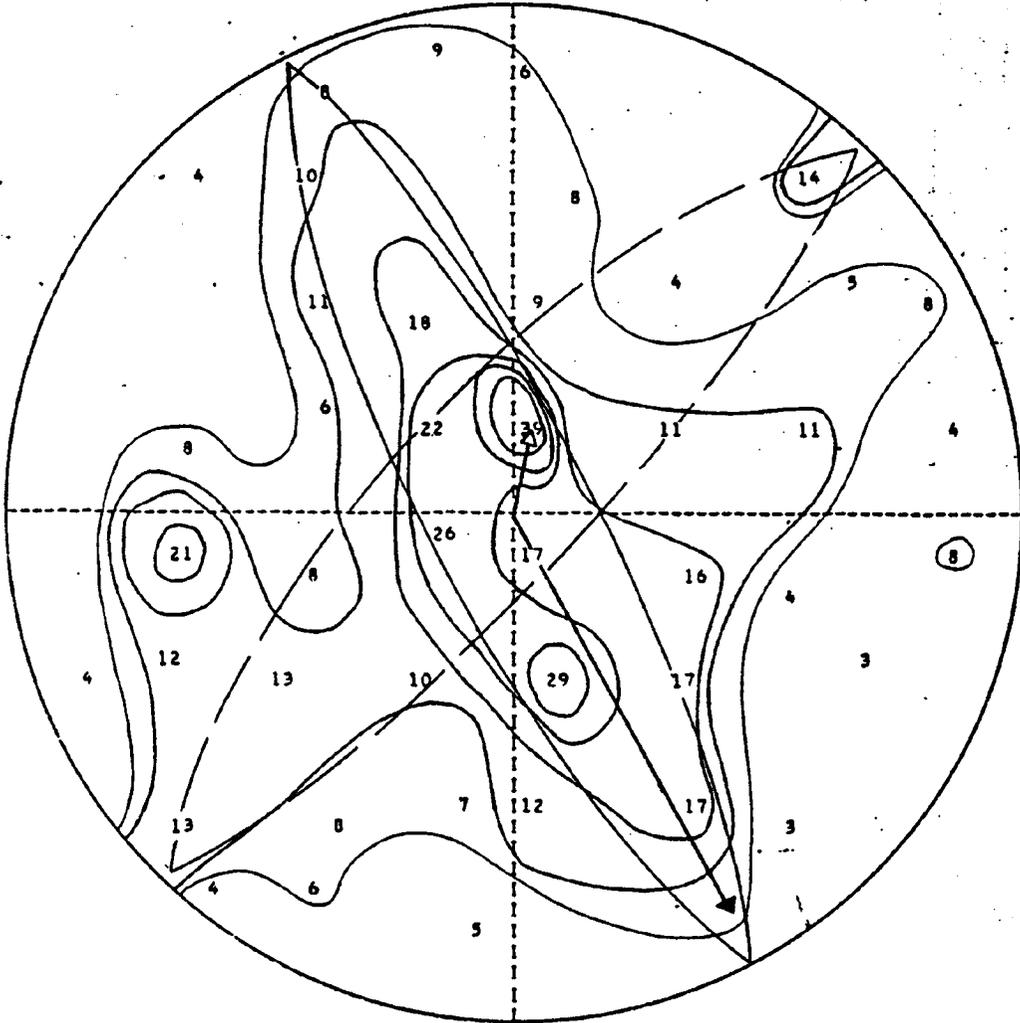
Una vez que las concentraciones polares sobre un mínimo prefijado han sido obtenidas, se pasa a la determinación de las intersecciones de los planos determinados por estas concentraciones máximas. Así obtenemos el diagrama 3.

En el cuarto "print-out", la computadora a través del programa vuelve a hacer la fase de barrido con el área unidad, concentración y limpiado con el "cut-off" 3. De esta manera, en este diagrama final aparecen la distribución espacial de las líneas de intersección más sobresalientes de las diaclasas de la unidad estructural en estudio.

En este cuarto diagrama, aparecen representados los contornos que agrupan las líneas de intersección de diaclasas en -



THERE ARE 43 GROUP RESULTANTS FROM A CUT OFF OF 3



PRINT 4

grupos o áreas espaciales con una misma intensidad en la frecuencia de aparición de dichas intersecciones. Se puede observar que existe una zona o franja muy destacada en una dirección con orientación N 13° E y una inclinación 78° NE. Esta dirección representa la más destacada línea de intersección de la unidad de prueba de programa y tal como habíamos analizado anteriormente indica la orientación de la tensión principal intermedia existente en dicha unidad ( $\Delta$ ).

Por otra parte la línea perpendicular a  $\sigma_2$  y contenida en el plano bisector de la franja de alta frecuencia de líneas de intersección, nos indicará la dirección de la tensión principal máxima  $\sigma_1$  de campo ( $\Delta$ ). La tensión  $\sigma_1$  queda orientada a S 31° E 12° SE. La tensión  $\sigma_3$  no ha sido representada en el diagrama pero queda definida por la línea perpendicular del plano  $\sigma_1 - \sigma_2$ .

#### 5.6.- RECOMENDACIONES

La aplicación del programa descrito en la definición de dominios tenso-estructurales, se ha comprobado en múltiples ocasiones de aplicación del mismo en problemas geotécnicos mineros tanto subterráneos como de superficie, en operaciones mineras de Canadá, U.S.A. y en algunas operaciones sudamericanas; en todas ellas se ha aplicado a yacimientos minerales enclavados en rocas ígneas.

Esta ha sido la primera vez que se ha usado dicha técnica para la solución de problemas mineros en operaciones sedimentarias fuera del continente americano. La adaptación al sistema de I.B.M.-Madrid con un problema -prueba de puesta a punto ha sido totalmente satisfactorio, como lo demuestran los "prints-outs" o listados comentados. Su utilización y aplicación a los

datos de mina Innominada no se ha llevado a cabo, por falta de un enriquecimiento de los datos recogidos en cuanto a la definición de los "Factores de Peso" de las discontinuidades, lo cual entraña una mayor dedicación y refinamiento en los datos que hacen referencia a aspectos tales como "Fractura-Unidad", "Continuidad", "Espaciamiento" y en cierta medida a la actitud geométrico-espacial de las estrías de falla, muy difíciles todos ellos de precisar en las condiciones particulares de Mina Innominada. El conocimiento de todos esos datos sólo es posible mediante un programa de exploración geoestructural subterráneo, a varios niveles de profundidad, y con un mayor detenimiento en la detección de las facturas y características mencionadas de las discontinuidades; lo cual sería recomendable realizar en futuros y posibles trabajos a realizar en dicha cuenca lignífera española.

En cualquier caso se considera oportuno y adecuado dejar preparado, codificado, elaborado y puesto a punto un programa - como el aquí presentado para su utilización en cuanto el tipo de información recogido sea adecuado, no sólo en cuantía o volumen, sino en cuanto a la clase de información sea la deseable. Cualquier intento de utilización de dicho programa sin los datos que precisa, conduciría a unas conclusiones e interpretaciones erróneas y a un gasto económico en tiempo de computación en absoluto rentables. Somos de la opinión que la aplicación de técnicas computarizadas sofisticadas, por el costo que llevan - implícitas, sólo pueden justificarse siempre y cuando la información básica requerida por tales técnicas sea conocida en su totalidad y amplitud. De esta forma los resultados de la aplicación de dicha técnica serán válidos y gozarán de credibilidad y confianza, y el proceso será rentable económicamente.

Esperamos y confiamos que estas condiciones óptimas para

la recopilación y toma de datos se mejoren en el futuro con nuevos trabajos y estudios en la cuenca de Andorra, Teruel; una vez que las técnicas poderosas de análisis e interpretación se han puesto a punto, como la que aquí hemos presentado.

6.- EXPLORACION GEOFISICO-SISMICA PARA LA  
DETERMINACION DE CARACTERISTICAS GEO-  
MECANICAS EN EL TAJO S-2

## 6.1.- INTRODUCCION

Mediante el estudio de la transmisión de ondas sísmicas, se pretende definir las variaciones de las constantes elásticas dinámicas en las capas de carbón del tajo S-2 de la mina "Innomi nada". Los módulos de elasticidad y rigidez obtenidos a partir de las velocidades de transmisión de ondas, permiten evaluar características geomecánicas del material. No obstante, debemos hacer constar que los módulos dinámicos son obtenidos con bajos niveles de deformación y que por tanto no son directamente comparables a los módulos estáticos.

Las capas de carbón estudiadas, "Grupo P", tienen un espesor en la zona del tajo S-2 que oscila entre los 8 y 15 metros. A techo tienen 25 m de arenas silíceas más o menos compactas, con la capa de carbón "Grupo O" encima, a muro arcillas y margas lajosas compactas entre 5 y 30 metros con calizas debajo. Por investigaciones anteriores sabemos que las velocidades medias para los materiales situados a muro y techo del "Grupo P" son superiores a 2.000 m/seg. y la del carbón sano se sitúa en torno a 1.600 m/seg. Desde el punto de vista estructural, nos encontramos en una estructura homoclinal que buza entre 10° y 15° al SW.

La planificación de los trabajos ha debido ajustarse a las especiales limitaciones que impone el medio en que se ejecutan. Esta es, por ejemplo, la razón de que no se apliquen técnicas de Cross-Hole o Down-Hole, dado que no es posible efectuar perforaciones.

Para la realización de los trabajos de campo se contó con la máxima colaboración por parte de ENDESA.

## 6.2.- METODOLOGIA

El conocimiento de la velocidad de propagación de las ondas elásticas en las rocas y en las formaciones geológicas es de gran importancia por la relación que tiene con los parámetros dinámicos, como indicadores del comportamiento mecánico de rocas y suelos sometidos a excitaciones dinámicas. La determinación de tales velocidades constituye un medio de determinar "in situ" los parámetros dinámicos: módulo de cizalladura dinámico (G), módulo dinámico de Young ( $E_d$ ) y el coeficiente dinámico de Poisson ( $\gamma_d$ ).

La relación entre las velocidades de propagación de las ondas elásticas y los mencionados parámetros dinámicos viene dada por las siguientes fórmulas:

$$G = \delta (V_s)^2 \quad \delta = \text{densidad}$$

$$E_d = 2G(1-\gamma_d)^2 \quad V_p = \text{velocidad de las ondas longitudinales}$$

$$\gamma_d = \frac{\left[ \frac{V_p}{V_s} \right]^2 - 2}{2 \left[ \left[ \frac{V_p}{V_s} \right]^2 - 1 \right]} \quad V_s = \text{velocidad de las ondas transversales}$$

El problema se reduce a determinar "in situ"  $V_p$  y  $V_s$  a partir del tiempo de propagación de un impulso entre la fuente generadora y el receptor o geófono.

Para tal fin se vienen utilizando diferentes técnicas con dicionadas por la naturaleza del problema planteado, configura ción geológica y disponibilidad de datos.

Estas técnicas las resumimos en el cuadro adjunto:

	$\left[ \begin{array}{l} \text{IMPACTO EN POZO} \\ \text{GEOFONO EN POZO} \\ \text{"CROSS HOLE"} \\ \text{C.V.L. (continuo)} \end{array} \right.$
MEDIDAS EN LA DIRECCION VERTICAL	
	$\left[ \begin{array}{l} T - \Delta T \\ X^2 - T^2 \end{array} \right.$
MEDIDAS EN LA DIRECCION HORIZONTAL	
COMBINACION DE AMBAS TECNICAS	"EIKONAL" (DIX)

Los resultados obtenidos por los distintos procedimien tos no siempre coinciden debido a la anisotropía de las rocas y a que en unos casos medimos velocidades verticales y en otros ho rizontales. Sin embargo este problema raras veces suele ser grave.

La elección de la técnica a seguir depende del problema planteado. En este caso concreto se han utilizado en principio - "perfiles de velocidad", aunque por las circunstancias específi cas a resolver se tratan los datos como en la técnica de "impac- tos en la superficie y geófono en pozo". Esto nos permite deter minar las variaciones de las velocidades, sobre los hastiales de

los niveles indicados en la Fig. 9 y el tajo de la sección a investigar y, a partir de esta variación, la de los parámetros elásticos dinámicos.

Se trata, en realidad, de determinar la variación de las velocidades de las ondas elásticas ( $s_{pV_a}$ ) de una zona que denominamos "zona alterada" (tajo y niveles) que, por efecto de las labores de explotación, queda en un estado tensional especial.

Las velocidades ( $s_{pV_a}$ ) de la "zona alterada" es un problema muy estudiado como importante factor de corrección en otros fines prospectivos y paradójicamente constituye aquí nuestro objetivo fundamental. Desafortunadamente es la magnitud que se determina con mayor incertidumbre.

### 6.3.- CALCULO DE LAS VELOCIDADES POR IMPACTO EN LA SUPERFICIE Y GEOFONO EN POZO

Según esta técnica se sitúa la fuente (F) generadora del impulso próxima a la boca del pozo y se va situando el geófono (g) a distintas profundidades, Fig. 6. Se utiliza un geófono de tres componentes en contacto con la pared del pozo por un mecanismo especial.

Se representan los tiempos corregidos en función de la profundidad del geófono ( $P_g$ ).  $t_g = f(P_g)$ , Fig. 6B, que en el supuesto de ser constantes las velocidades de propagación en la zona "alterada" ( $s_{pV_a}$ ) y de la zona "sana" ( $s_{pV_{sa}}$ ) se obtendrán dos rectas de las que se deducen las velocidades:

$$s_{pV_a} = \frac{\Delta P_a}{\Delta s_{p t_a}} \quad \text{y} \quad s_{pV_{sa}} = \frac{\Delta P_a}{\Delta s_{p t_{sa}}}$$

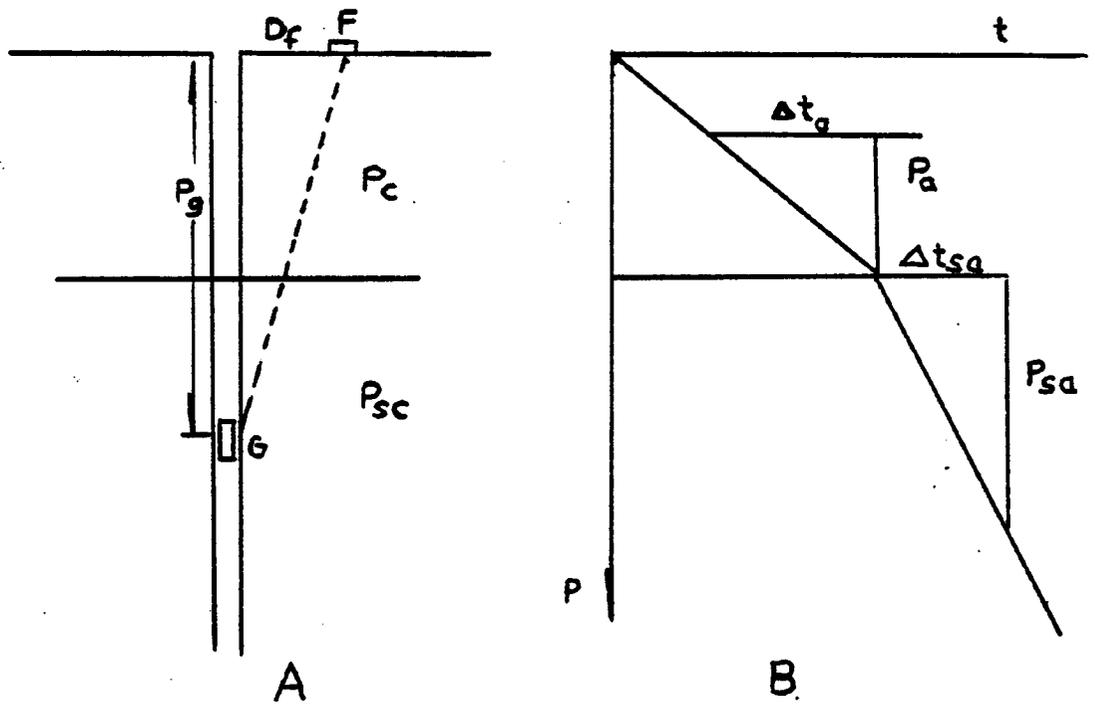


FIGURA 6

El factor de corrección de los tiempos leídos  $t$  para las ondas P y S es:

$$c = \sqrt{P_g^2 - D_f^2}$$

por lo que  $t_g = ct$ .

Esta técnica se generaliza para el caso de varias capas. En la representación  $t_g = f(P_g)$  se identifican estas capas y se calculan las velocidades de cada capa según el procedimiento - descrito anteriormente. Estas se denominan "velocidades de intervalo" como se expresa en la Fig. 7.

#### 6.4.- CASO DE UN AUMENTO LINEAL DE LA VELOCIDAD CON LA PROFUNDIDAD

Es frecuente que la velocidad varíe con la profundidad - según una determinada ley. Muy comúnmente según una ley lineal del tipo  $V_p = V_d + ap$ .

$V_p$  = velocidad a la profundidad  $P$

$V_d$  = velocidad en el "datum"

$a$  = coeficiente de aceleración

Un método rápido de calcular  $V_d$  y  $a$  es el llamado de - Nash-Miller, que consiste en lo siguiente:

A partir de la gráfica  $t_g = f(p)$  de la Fig. 8 se elige - el punto más profundo observado  $P_1$  y se toma el tiempo  $t_g$ , correspondiente. Se calcula luego la profundidad  $P_2$  correspondiente al tiempo mitad  $t_{g1/2}$  considerando entre los puntos observa

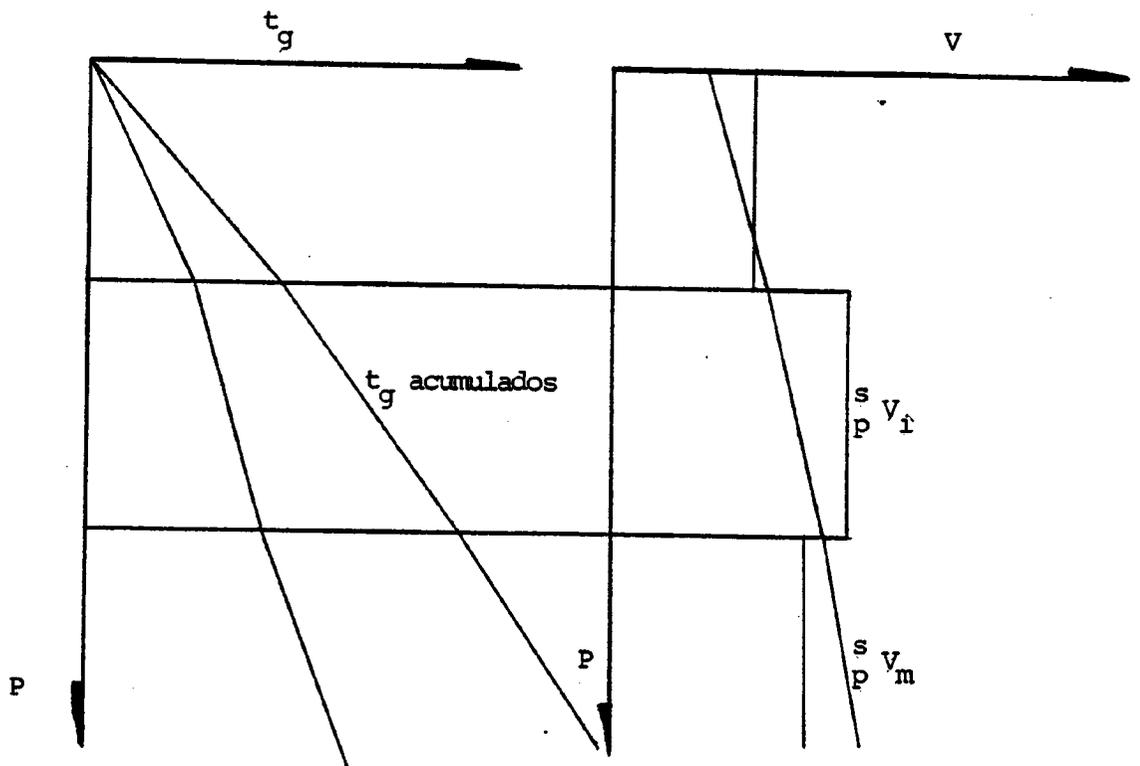


FIGURA 7

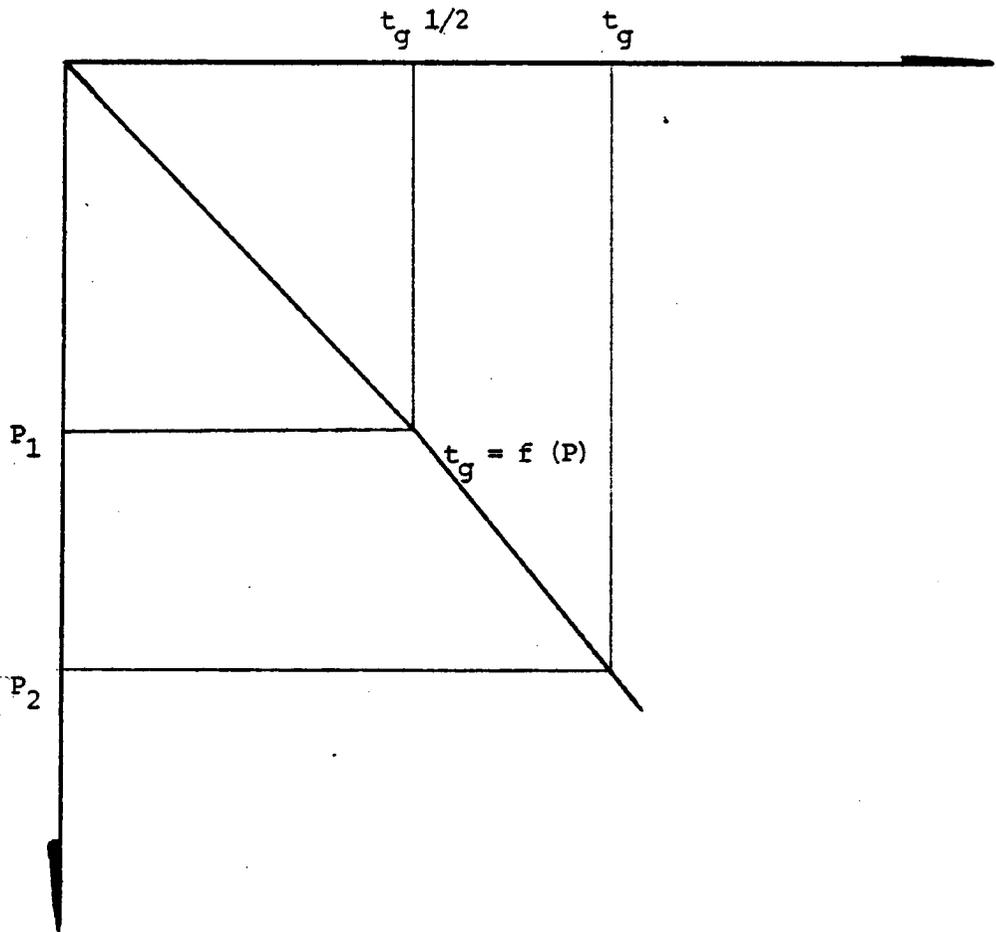


FIGURA 8

dos una interpolación lineal. Los valores de  $a$  y  $V_d$  vienen dados por:

$$a = \frac{1,4036}{t_{g1}} \ln \left( \frac{P_1 - P_2}{P_2} \right)$$

$$V_d = \frac{a P_1}{e^{atg1} - 1}$$

Con estos datos se puede construir la curva que pasa por  $P_1$  y  $P_2$ . Los demás puntos permitirán ver la bondad de ajuste.

#### 6.5.- TECNICAS DE CAMPO

##### 6.5.1.- Instrumentación

El sismógrafo utilizado es un Nimbus del tipo Handy-Seis de doce canales con registro gráfico.

Los impactos se generaron golpeando con un martillo sobre railes empotrados 60 cm en la roca y con 10 cm al exterior. El total de railes era de cuatro y su posición se indica en la Fig. 9.

Las señales se recogieron con geófonos de dos tipos, componente vertical y horizontal, que se fijaban con yeso a la capa de carbón.

##### 6.5.2.- Toma de datos

En la Fig. 9 se muestra la disposición de las implantaciones

# PLANO DE SITUACION

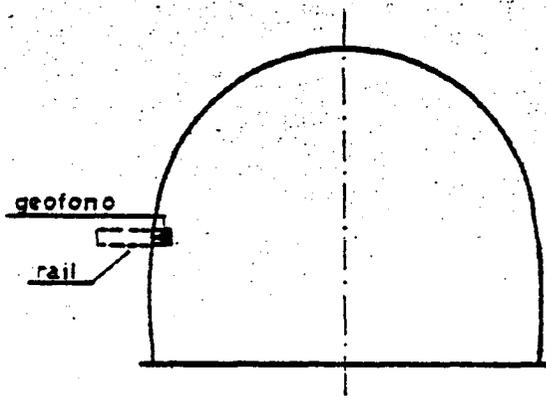
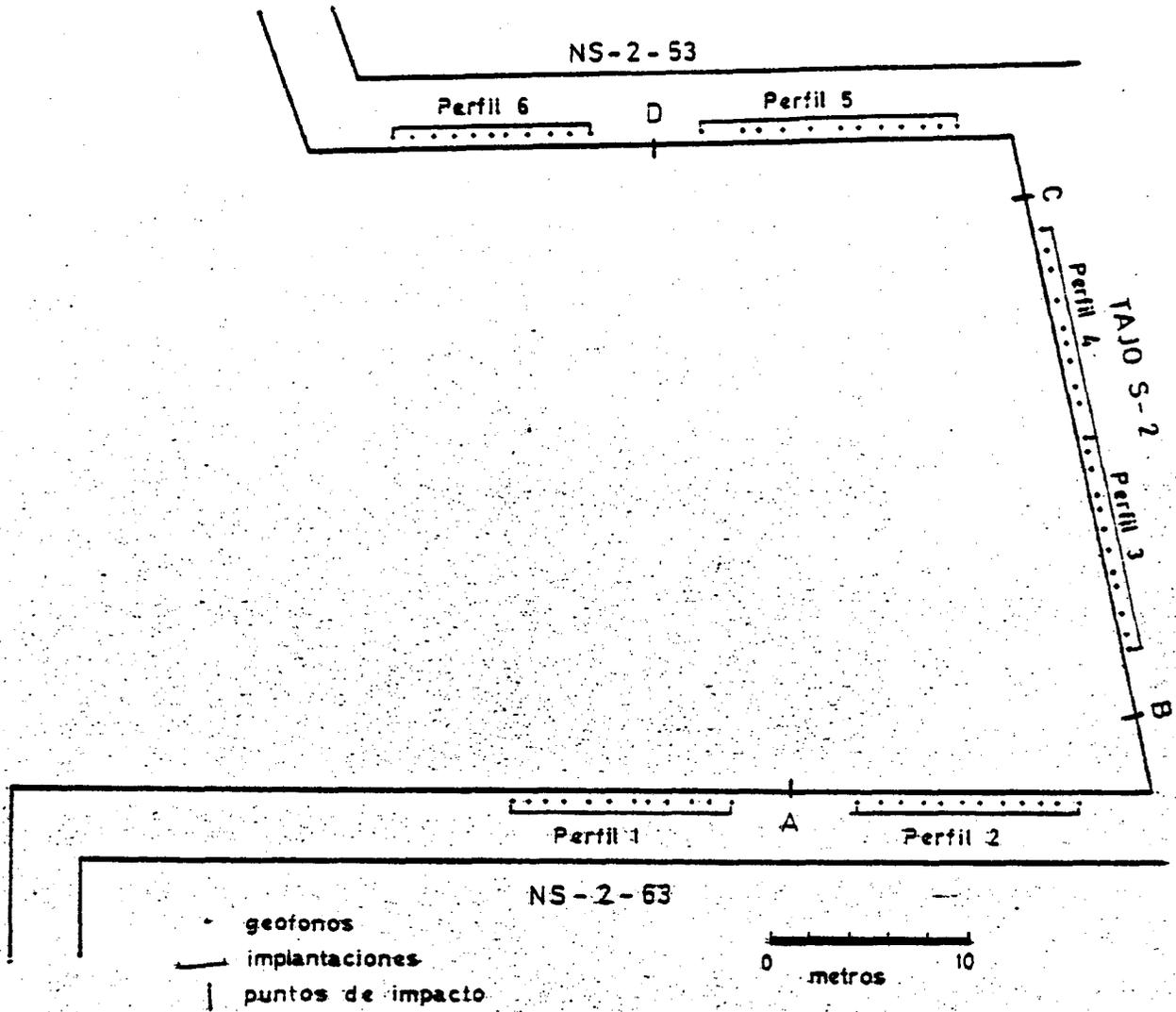


FIGURA 9

nes efectuadas y los puntos de impacto, (A-B-C-D). Las implantaciones han sido seis en total, con unos doce metros aproximadamente cada una. La implantación "1" ha recibido señales generadas en los puntos de impacto A y B, la "2" y la "3" desde B. La "4" y "5" desde C y por último la implantación "6" desde los puntos de impacto C y D. Además se realizaron como comprobación impactos en A con recogida de señales en las implantaciones "2" y "3" e impactos en D y recogida en "4" y "5". No se pudieron efectuar, por la especial situación del tajo, impactos en B y C para ser recogidas las señales en las implantaciones "4" y "3" respectivamente.

Para cada implantación se han efectuado entre 2 y 4 registros ordinarios y otros 2 o 3 que, en cada caso, son la suma de las señales generadas al golpear horizontalmente con sentidos contrarios y cambio de polaridad simultáneo en los geófonos. Con esta acción, se trata de dar una mayor nitidez, dentro de los complejos trenes de ondas, a la llegada de las ondas S que en este caso son las polarizadas horizontalmente (SH).

Los tiempos de llegada corregidos, tanto para las ondas longitudinales como para las transversales, se recogen en las Tablas I a VIII que se presentan a continuación.

#### 6.6.- TRATAMIENTO E INTERPRETACION

A la vista de las representaciones tiempo distancia, se observan unas gráficas que indican velocidades de propagación crecientes dentro de un solo medio que corresponden a los tiempos directos impacto-geófono, no observándose velocidades superiores a los 2.000 m/seg. que como anteriormente se especificó, corresponde a los materiales situados a techo y muro de las capas de carbón ("Grupo P"). Estos hechos nos indican que los datos recogidos, responden a velocidades de propagación dentro de

PERFIL 1								
IMPACTO A								
Geofon	DISTANC. metros	TIEMPOS DE REGISTRO milisegundos						
		ondas P				ondas S		
1	2.9	4.3					—	
2	4.1	5.5					—	
3	5.0	6.4					—	
4	6.1	7.2					—	
5	7.1	8.0					—	
6	7.75	8.5					—	
7	9.2	9.5					—	
8	10.2	10.3					—	
9	11.3	10.5					—	
10	12.3	11.0					—	
11	13.2	11.9					—	
12	14.2	12.5					—	

Tabla I

PERFIL 1							
IMPACTO B							
Geolon.	DISTANC. metros	TIEMPOS DE REGISTRO milisegundos					
		ondas P			ondas S		
1	20.9	16.5				27.6	
2	22.1	17.2				29.0	
3	23	17.6				29.8	
4	24.1	18.4				31.1	
5	25.1	19.0				32.0	
6	25.75	20.0				32.9	
7	27.2	21.0				34.1	
8	28.2	21.5				35.4	
9	29.3	22.3				36.2	
10	30.3	23.0				37.4	
11	31.2	23.5				38.1	
12	32.2	24.1				39.3	

Tabla II

PERFIL 2							
IMPACTO B							
Orden	DISTANC. metros	TIEMPOS DE REGISTRO milisegundos					
		ondas P			ondas S		
1	3.6	2.9				4.6	
2	4.8	4.2				6.3	
3	5.7	5.1				7.7	
4	6.45	6.1				9.1	
5	7.5	6.9				10.6	
6	8.6	7.8				12.1	
7	9.5	8.4				14.0	
8	10.6	9.1				15.2	
9	11.4	10.0				16.4	
10	12.5	10.8				17.5	
11	13.6	11.8				19.2	
12	14.7	12.3				20.3	

Tabla III

PERFIL 3							
IMPACTO B							
Geoton.	DISTANC. metros	TIEMPOS DE REGISTRO milisegundos					
		ondas P			ondas S		
1	3.2	3.0				7.0	
2	4.1	4.0				8.3	
3	5.1	4.8				9.9	
4	6.5	6.0				11.8	
5	7.3	6.5				13.2	
6	8.4	7.5				15	
7	9.3	8.2				16.3	
8	10.4	9.2				17.9	
9	11.2	10.1				19.2	
10	12.4	11.0				21.8	
11	13.4	12.1				23.2	
12	14.2	12.9				24.4	

Tabla IV.

PERFIL 4								
IMPACTO C								
Geofon.	DISTANC. metros	TIEMPOS DE REGISTRO milisegundos						
		ondas P				ondas S		
1	1.9	3.3					6.6	
2	2.9	4.5					8.8	
3	4.1	5.8					10.8	
4	5.6	7.2					13.0	
5	7.0	8.0					14.9	
6	7.8	8.8					16.4	
7	8.8	9.6					17.6	
8	10.1	10.5					19.2	
9	11.0	11.2					20.6	
10	12.6	12.1					22.7	
11	—	—					—	
12	—	—					—	

Tabla V

PERFIL 5								
IMPACTO C								
Geolon	DISTANC. metros	TIEMPOS DE REGISTRO milisegundos						
		ondas P				ondas S		
1	2.7	1.6					2.8	
2	3.6	2.5					4.0	
3	4.5	3.0					5.1	
4	6.5	4.2					7.6	
5	7.7	5.0					8.6	
6	9.9	6.4					10.7	
7	11.4	7.6					12.2	
8	12.6	8.2					13.4	
9	13.5	8.8					14.3	
10	15.5	10.0					15.9	
11	—	—					—	
12	—	—					—	

Tabla VI

PERFIL 6							
IMPACTO C							
Geofon.	DISTANC. metros	TIEMPOS DE REGISTRO milisegundos					
		ondas P			ondas S		
1	21.2	13.1				21.0	
2	22.2	13.8				22.1	
3	23.2	14.4				22.9	
4	24.4	15.3				24.1	
5	25.5	16.2				25.2	
6	26.3	16.8				26.2	
7	27.1	17.4				27.0	
8	28.2	18.3				28.3	
9	29.3	19.2				29.4	
10	30.2	19.8				30.7	
11	31.2	20.7				31.8	
12	—	—				—	

Tabla VII

PERFIL 6								
IMPACTO D								
Geolón.	DISTANC. metros	TIEMPOS DE REGISTRO milisegundos						
		ondas P				ondas S		
1	3.2	3.7				—		
2	4.2	4.4				—		
3	5.2	5.4				—		
4	6.4	6.6				—		
5	7.5	7.5				—		
6	8.3	8.0				—		
7	9.1	8.8				—		
8	10.2	9.5				—		
9	11.3	10.4				—		
10	12.2	11.2				—		
11	13.2	12.1				—		
12	—					—		

Tabla VIII

las capas de carbón y nos permiten tratar la información como si fuera una "testificación" a lo largo del tajo y los hastiales de los niveles indicados en la Fig. 9. Aplicando esta técnica, podemos obtener las variaciones de  $V_p$  y  $V_s$  a lo largo de ellos y por tanto, la variación de los módulos elásticos dinámicos ( $G$ ,  $E_d$ ;  $\gamma_d$ ).

Tanto en las gráficas tiempo-distancia como en la de tiempos acumulados, se distinguen, dentro de la tendencia de un crecimiento lineal con la distancia, zonas de distinta velocidad. Una vez delimitadas estas zonas, se han calculado las velocidades de intervalo, tanto para las ondas P como para las ondas S ( $S_p^{Vi}$ ). Así mismo y desde estas velocidades se han obtenido los módulos de elasticidad ( $E_d$ ) y rigidez ( $G$ ), considerando la densidad que fue facilitada por ENDESA.

La Fig. 10 expresa las variaciones producidas a lo largo del N-S-53, tomando como origen el punto más próximo al S-2. Se observa un crecimiento gradual de las  $P^{Vi} - S^{Vi}$ , tendencia que se invierte a partir de los 24 m, sin embargo consideramos que este fenómeno no tiene relación directa con el tajo. Los módulos siguen lógicamente la pauta indicada para las velocidades.

La Fig. 11 representa las variaciones tanto de velocidad como de módulos, a lo largo de NS-2-63, tomando como origen el punto más próximo al S-2. La  $P^{Vi}$  tiene una tendencia creciente hasta los 23, invirtiéndose la tendencia a partir de ese momento. Por su parte la  $S^{Vi}$  mantiene la tendencia creciente. Como es conocido, con bajas presiones el contenido en agua afecta a las ondas P y no a las S, por tanto creemos que la anomalía se debe al contenido en agua de una zona situada entre los 15 y 23 metros desde el origen considerado. Los módulos siguen una ley creciente si bien en conjunto son inferiores a los del NS-s-53.

NS-2-63

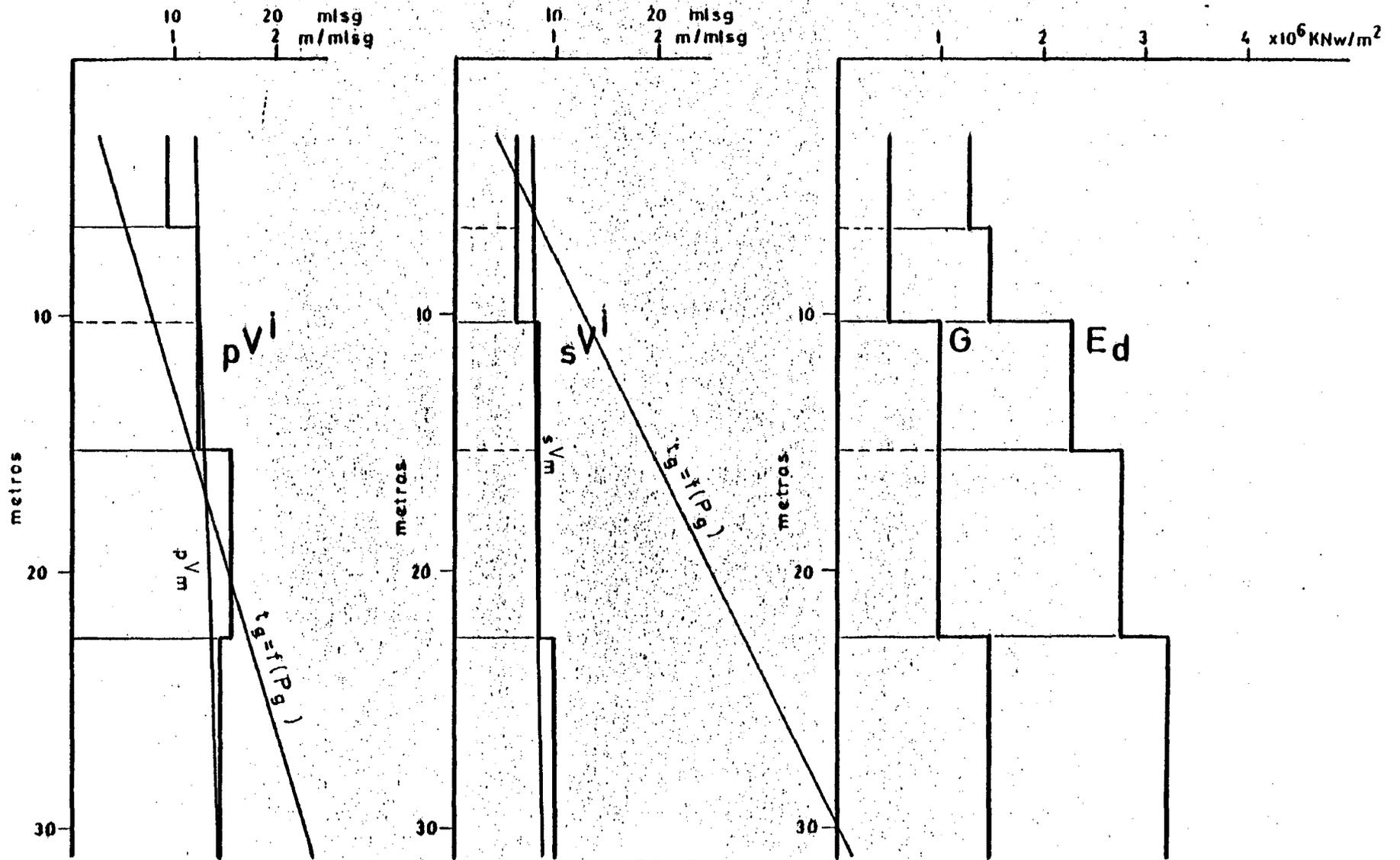


FIGURA 11

Las Figs. 12 y 13 parten respectivamente de los puntos - más próximos al NS-2-63 y NS-2-53, las variaciones longitudinales que ponen de manifiesto lo son en el S-2. Nuevamente encontramos problemas relacionados con el contenido en agua.

Las tablas IX-X-XI-XII especifican los valores obtenidos para  $P^{Vi}$ ,  $S^{Vi}$ , G y Ed en cada uno de los lugares anteriormente comentados.

En las Fig. 14 y 15, se han representado las variaciones de Ed y G. En dicha representación, se han tenido en cuenta los valores obtenidos en los hastiales de los niveles y en el tajo, interpolando los valores del centro con criterios lógicos.

La distribución de  $E_d$ , puede estar afectada, como se especificó anteriormente por el contenido en agua del material, sin embargo y en conjunto ofrece una distribución muy similar a la de G. Sobre ambas representaciones se observan los siguientes hechos:

- El tajo muestra zonas muy alteradas en las esquinas y en una limitada sección del centro.
- Hacia el interior se desarrolla una bóveda, de material descomprimido, asimétrica con desplazamiento hacia NS-2-63.
- Los materiales de NS-2-63 están más alterados que los de NS-2-53.
- Se puede suponer una importante discontinuidad oblicua que parte aproximadamente de la intersección de NS-2-53 con S-2. Los materiales situados por debajo de la

# TAJO S-2 (PERFIL 3)

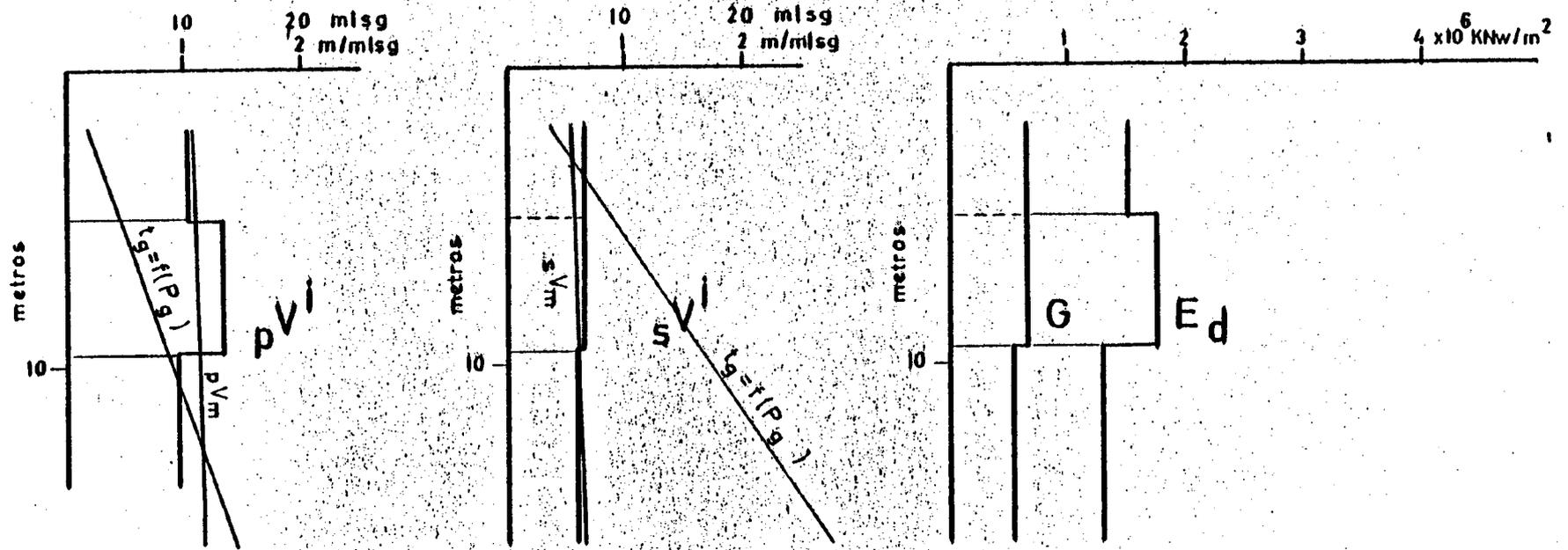
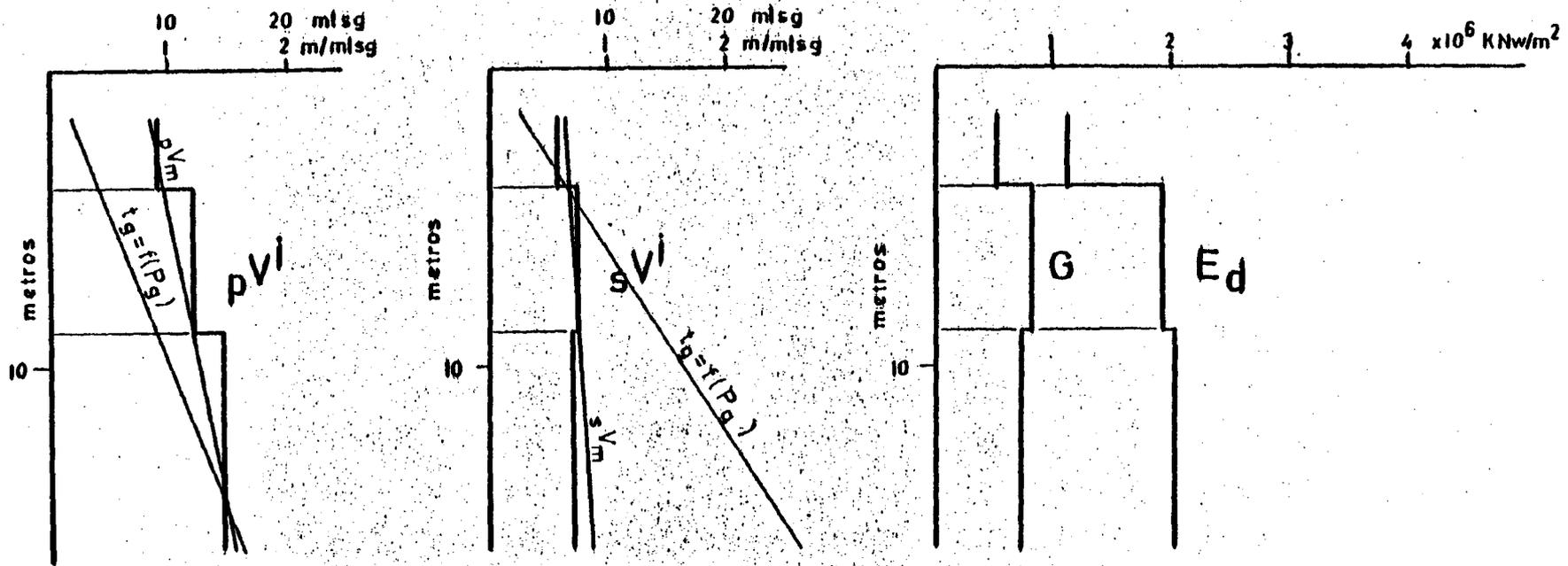


FIGURA 12

TAJO S - 2 ( PERFIL 4 )



- 76 -

FIGURA 13

NS-2-53						
CROQUIS	DISTANCIA metros	$p^v$ m/sg	$s^v$ m/sg	$E_d$ $\times 10^6$ KNw/m <sup>2</sup>	$G$ $\times 10^6$ KNw/m <sup>2</sup>	
0 NS-2-53 TS	T-5-2	2-5	1.234	722	1.9	0.8
		5-11.4	1.538	1.000	3.4	1.5
		11.4-24	1.667	1.100	4.0	1.8
		24-32	1.324	887	2.6	1.2

Tabla IX

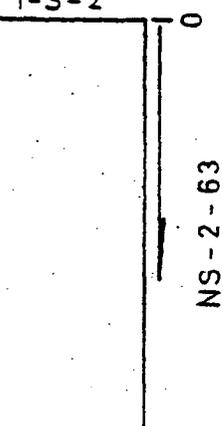
NS-2-63					
CROQUIS	DISTANCIA metros	$p^V$ m/sg	$s^V$ m/sg	$E_d$ $\times 10^6$ KNw/m <sup>2</sup>	$G$ $\times 10^6$ KNw/m <sup>2</sup>
T-S-2 	2.5-6.5	952	612	1.3	0.56
	6.5-10.2	1.250	612	1.5	0.56
	10.2-15.2	1.250	853	2.3	1.1
	15.2-22.5	1.586	853	2.8	1.1
	22.5-32	1.481	1.000	3.2	1.5

Tabla X

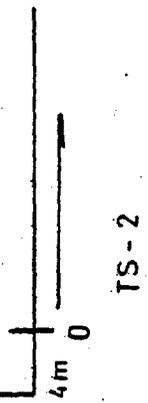
TAJO - S - 2 (PERFIL 3)						
CROQUIS	DISTANCIA metros	$p^{Vi}$ m/sg.	$s^{Vi}$ m/sg	$E_d$ $\times 10^6$ KNw/m <sup>2</sup>	$G$ $\times 10^6$ KNw/m <sup>2</sup>	
 NS-2-63	2 - 5	1.031	658	1.5	0.65	
	5 - 9.5	1.333	658	1.7	0.65	
	9.5 - 14	959	602	1.3	0.5	

Tabla XI

TAJO - S - 2 (PERFIL 4)						
CROQUIS	DISTANCIA metros	$p^{Vi}$ m/sg	$s^{Vi}$ m/sg	$E_d$ x10 KNw/m	G x10 KNw/m	
	2-4	901	555	1.1	0.5	
	4-9	1.205	719	1.9	0.8	
	9-12.5	1.470	694	2.0	0.7	

Tabla XII

# VARIACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD $E_d$

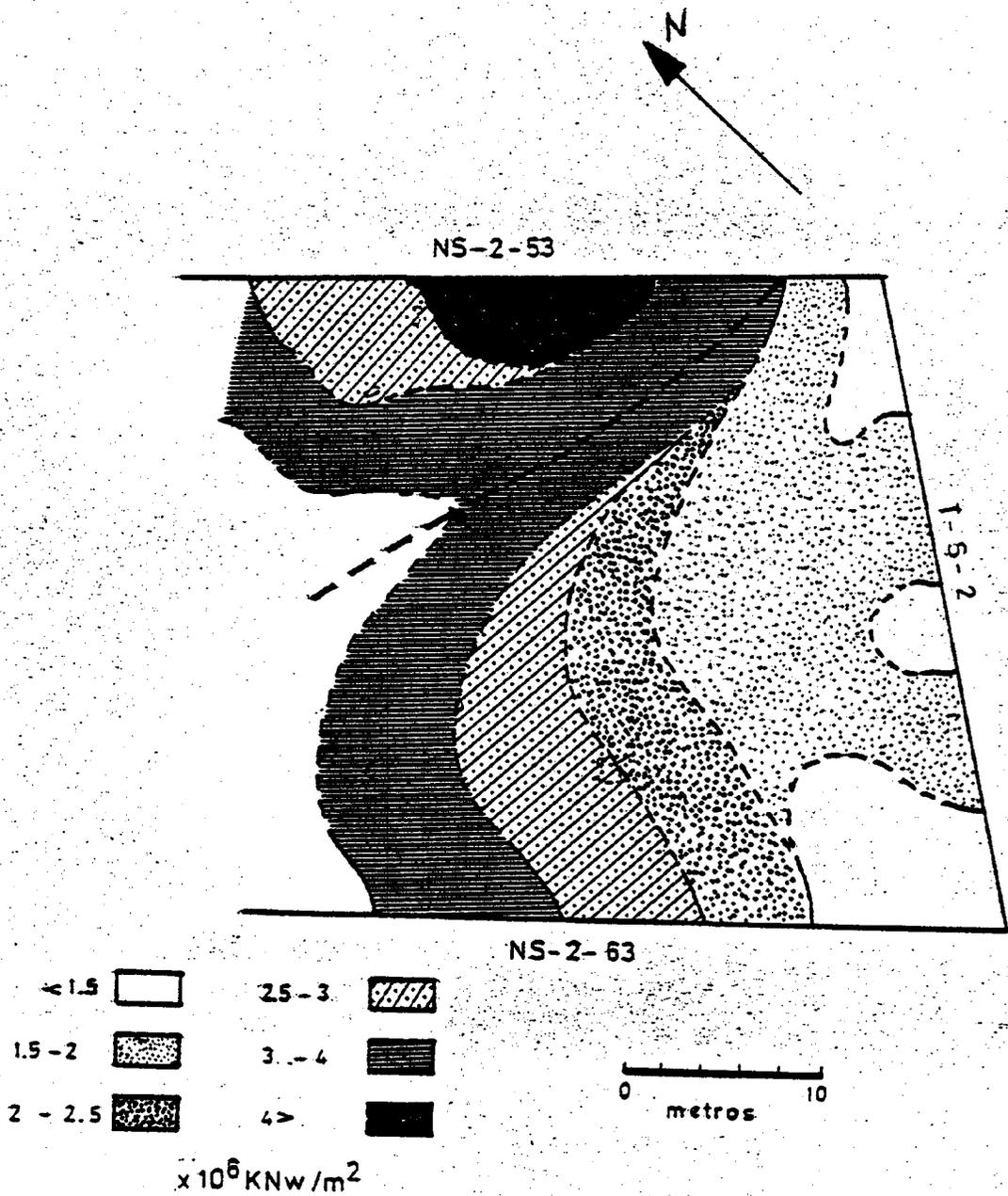


FIGURA 14

VARIACION DEL MODULO DE  
RIGIDEZ "G"

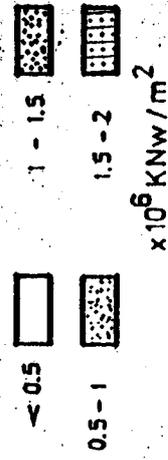
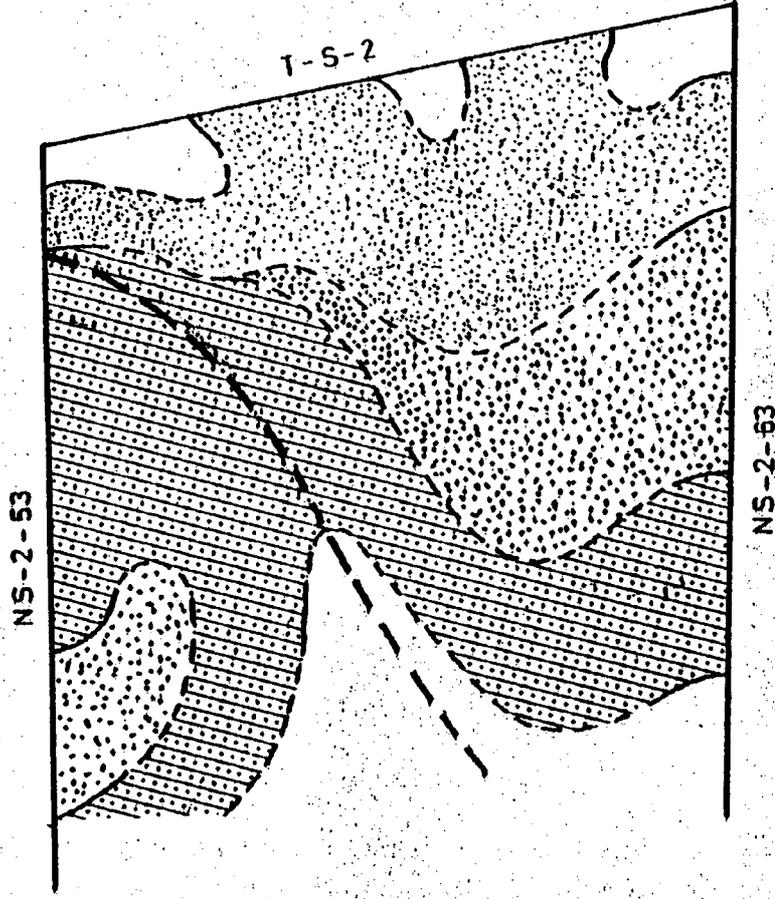


FIGURA 15

discontinuidad (posición referida a la figura) están con un mayor grado de alteración que los situados encima. Es curioso observar como esa discontinuidad que tiene aproximadamente 90-100° de azimuth, coincide con la orientación de la familia de diaclasas más preponderante J<sub>1</sub> (90°-120° az.). A su vez el buzamiento Norte de la J<sub>1</sub> favorece que la capa de carbón se deslaje, dilate y desplace hacia el Sur invadiendo el tajo S-2 y sobre todo el nivel N-S-2-63, el más afectado por las deformaciones.

- En conjunto, toda la zona está bastante alterada, excepto zonas muy concretas de NS-2-53.

#### 6.7.- CONCLUSIONES

De lo anteriormente expuesto y a la vista de las Fig. 14 y 15 se deducen las siguientes conclusiones:

- El tajo muestra zonas muy alteradas en las esquinas y en una limitada sección del centro.
- Hacia el interior se desarrolla una bóveda, de material descomprimido, asimétrica con desplazamiento hacia NS-2-63.
- Los materiales de NS-2-63 están más alterados que los de NS-2-53.
- Se puede suponer una importante discontinuidad oblicua que parte aproximadamente de la intersección de NS-2-53 con el S-2. Los materiales situados por debajo de la discontinuidad (posición referida a la figura) es

tán con un mayor grado de alteración que los situados encima. La discontinuidad sísmica coincide con una mayor alterabilidad de la consistencia de la capa, así - como con la más significativa orientación de la familia J<sub>1</sub> de diaclasas y con los fenómenos de formaciones observados.

- En conjunto, toda la zona está bastante alterada, excepto zonas muy concretas de NS-2-53.

7.- PROGRAMA DE INSTRUMENTACION Y CON  
TROL DE PRESIONES Y DEFORMACIONES

## 7.1.- INTRODUCCION

El tajo S-2 de 34 m de longitud en la mina Innominada - fué, como ya hemos comentado, instrumentado en su nivel a pie (NS-2-63) mediante la instalación de ocho Estaciones de Convergencia y la instalación de varias células de presión, en la forma y situación que se manifiestan en la Fig. 16.

Las medidas se tomaron de forma periódica durante el mes de Diciembre hasta el 13 de Enero, fecha en la que se produjo un golpe de techo en el tajo en estudio, golpe de techo que fue acompañado por una fuerte entrada de agua y arena de los estratos afectados, por lo que fue necesario retirar rápidamente la instrumentación instalada, perdiéndose cinco estaciones de control de las ocho instaladas.

Evidentemente la recopilación de datos no ha sido lo suficiente, como para poder llegar a ninguna conclusión que nos permita interpretar con el suficiente rigor y credibilidad los sucesos, deformaciones y lecturas observadas.

Se realizaron acuerdos con la dirección de la mina para la nueva instalación de instrumentos de control en una prolongación de la galería NS-2-63 que se pensaba extender hacia finales de Marzo o principios de Abril de 1.981. En Mayo de ese año se iniciaron una serie de golpes de techo e irrupciones de agua que llevaron a la necesidad de abandono de ciertas partes del tajo. Los golpes de techo y la entrada de agua continuaron hasta el mes de Agosto.

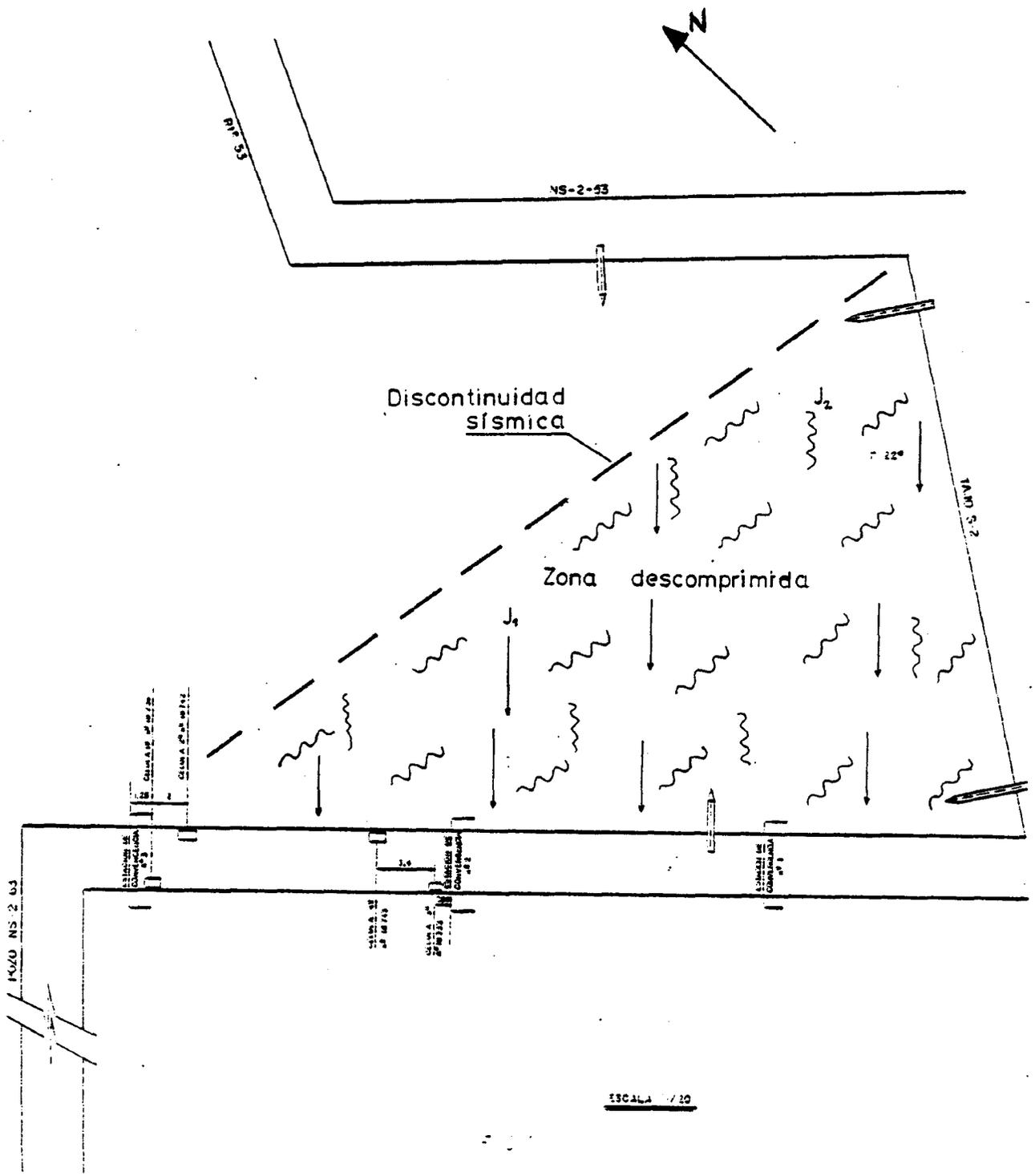


Fig. 16

Pasamos a continuación a realizar algunos comentarios sobre instrumentación y los datos recogidos durante el período de toma de datos por instrumentación.

## 7.2.- ESTACIONES DE CONVERGENCIA

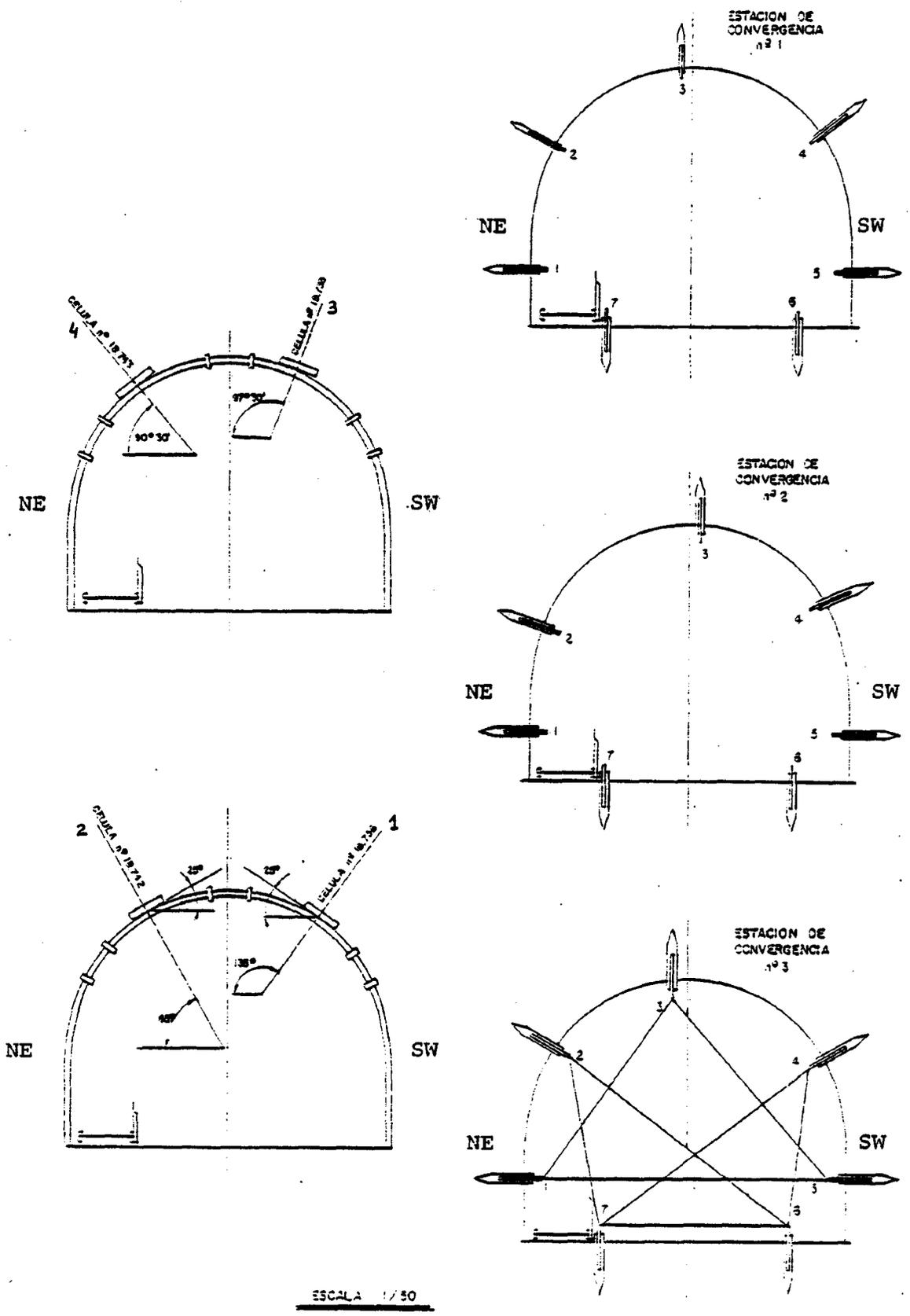
Las estaciones de convergencia han sido instaladas, todas ellas, en el nivel base del Tajo S-2. La primera de ellas a 15 m del frente del tajo; la segunda a 18 m de la primera, la tercera a otros 18 m de la segunda, y así sucesivamente.

Cada estación de convergencia llevaba 7 puntos de control, tal y como se indica en la Fig. 17. Debe de tenerse en cuenta al observar las secciones de las estaciones de convergencia, que éstas están hechas mirando el nivel o galería como si avanzásemos en el sentido de aproximarnos hacia el tajo, caminando por el nivel.

Las deformaciones detectadas en estas estaciones se midieron con cinta metálica y cabeza extensométrica con capacidad de medición inferior al milímetro, pero que en nuestro caso particular y dada la gran magnitud de las deformaciones que se desarrollan en este tipo de operaciones mineras se creyó oportuno controlar sólo hasta la apreciación del centímetro.

Las mediciones se realizaron entre los puntos de convergencia siguiendo unaley triangular, ésto es, triángulos 135, - 274 y 764. Las lecturas se hicieron entre pernos metálicos clavados sobre unos clavos de madera de sección hexagonal, los cuales se anclaron sobre los hastiales de la galería, en una profundidad de 40 a 50 cm.

Los resultados hasta la fecha recogidos no han sido lo -



ESCALA 1/50

Fig. 17

suficientemente expresivos, por los motivos inesperados ocurridos en la explotación del tajo, y se incluyen en el anexo (Anexo VI) adjunto. Se puede sin embargo observar una deformación de la sección de la galería de forma asimétrica, que los desplazamientos son inclinados y que la sección del nivel tiende a deformarse tomando una forma groseramente elíptica inclinada.

En la Estación de Convergencia 3, la más alejada del tajo (51 metros), se observó una deformación en la sección bajo control, que dió lugar a una configuración groseramente elíptica con el eje menor buzando hacia el SW, esto es en el sentido de la pendiente de la capa. Se observaron alargamientos (dilataciones) del orden de +43 a +7 cm, entre los puntos 7-4, 7-6, 5-1, 4-6, 1-3 y 3-5 por orden de magnitud y de -2 cm en la dirección 2-7 en acortamiento (compresión).

Al pasar a la Estación de Convergencia 2, (a 33 m del Tajo), las dilataciones de la sección de la galería, tienen lugar en dirección simétrica a la observada en la Estación 3, esto es entre los puntos 2-6, 1-5 y 7-2 con valores de +12, +10 y +5 cm respectivamente y de -23, -20, -17 y -10 cm en las direcciones 4-6, 7-6, 7-4 y 1-3. La deformación pues observada en la Estación 1, cambia de eje en la 2, manifestando aquí una compresión de la galería según un eje que buza hacia el NE y una dilatación según otro eje que se inclina hacia el SW.

En la Estación de Convergencia 3, a sólo 15 metros del tajo las deformaciones y configuración geométrica de las mismas observadas en la Estación 2 se disparan y magnifican alcanzando valores de compresión de -49, -35, -26, -16, -13 y -12 cm en las direcciones 7-4, 4-6, 5-1, 6-7, 1-3 y 3-5 y de alargamientos o dilataciones con valores de +22 y +17 cm en las 7-2 y 2-6 respectivamente.

En conjunto, se observa pues, en las zonas más alejadas del tajo deformaciones de compresión en direcciones con buzamiento SW y dilataciones con inclinación NE; a medida que el tajo - se aproxima el eje de compresión rota tomando una inclinación - NE y el de dilataciones una componente SW.

Una aproximación, en el momento presente, de querer sacar resultados de carácter general, sería en realidad muy aventurado dado el pequeño volumen de lecturas por ahora realizadas y la interrupción que desafortunadamente se ha tenido que realizar sobre las mediciones, las cuales comenzaban a suministrar datos en principio sumamente interesantes.

### 7.3.- CELULAS DE PRESION

La instalación de control de presiones sobre la entibación de cuadros metálicos, se llevó a cabo con células - Glötzl modelo F-15/25 QF-50.

La situación de las células, así como su posición dentro de cada sección, queda bien patente en los esquemas que se presentan en las Fig. 16 y 17; y no creemos que sea necesario ninguna aclaración sobre este tema.

De todas las células la 1 y la 2, que son más alejadas - no han detectado ningún incremento de presión en el plazo de tiempo en el que se ha venido tomando lecturas (Anexo VI).

La célula 4, no ha detectado ningún incremento de esfuerzos ni presiones, debido a fuertes desmoronamientos del carbón en la zona de la instalación.

La célula 3, la más próxima al tajo, ha venido captando

de forma continua un incremento de presiones del orden aproximado de  $1 \text{ kg/cm}^2$  día, a lo largo de todo el tiempo que ha durado el período de control.

Es curioso observar como la célula 4 no capta ningún incremento de presión debido al desmoronamiento del carbón en esa zona de la sección de la galería. Esa zona coincide con la dirección de compresión y acortamiento de la galería lo cual lleva consigo fuertes deformaciones y desplazamientos que desmoronan al carbón, impidiendo que este caiga sobre la Célula 4.

La célula 3, en cambio, incrementa la carga al estar en la dirección de máxima dilatación de la sección de la galería, lo cual hace que el perfil del cuadro metálico presione sobre el terreno comprimido a la Célula 3 que se encuentra entre la entibación y la superficie de la roca.

#### 7.4.- CONCLUSIONES

De acuerdo con los datos recogidos en la campaña de instrumentación y control de galerías en carbón y la información -recogida hasta el momento, parece indicarnos que la carga de presiones del terreno que gravita sobre las galerías, cuando nos encontramos alejados del tajo, muestra una componente de esfuerzos y presiones ( $S_1$  Fig. 18) en la dirección del plano de la capa (buzamiento SW), lo cual coincide con la disposición espacial de la familia de diaclasas  $J_1$  ( $90-120^\circ$  azimuth y buzamiento Norte), que como ya comentamos en el estudio sísmico condiciona el desmoronamiento, deslajamiento, pérdida de consistencia y deslizamiento hacia el Sur de la capa de carbón, haciéndola gravitar sobre los niveles inferiores con una componente de presión en dirección Sur, tal y como hemos observado y comentado.

Cuando por el contrario nos vamos acercando al tajo (Estaciones de Convergencia 2 y 1), el fortísimo incremento del estado tensional (Fig. 19) inducido por el tajo, dispara a la masa rocosa para que se desplace según la dirección de mayor concentración de intersecciones de los planos de debilidad más prominentes que como vimos tiene una componente N-E con buzamiento entre 60 y 70° NE, que coincide perfectamente con las direcciones de acortamiento y mayores desplazamientos y presiones ( $S_1$  Fig. 19) detectadas en las Estaciones de Control más próximas al tajo.

Este doble accionamiento de las presiones del terreno, - el primero debido al deslizamiento de la capa de carbón en dirección de la pendiente (SW), y el segundo inducido por el incremento de presiones asociadas al tajo, que hace disparar una fuerte componente de desplazamientos en dirección NE siguiendo la intersección de las familias  $J_1$  y  $J_2$ ; da lugar a que el terreno que rodea a la galería sufra fuertes alteraciones, se deteriore considerablemente, a que el muro bufe y a que la entibación tenga que prever esta doble y variable acción de las presiones conforme el tajo avanza. Por otra parte el plano de acción de estas presiones, dadas las causas que parecen originarlas hace que no coincida en algunos momentos con un plano perpendicular al eje de la galería, sobre todo en lo que concierne a la componente real de las presiones del hastial Norte, sometido este a las cargas de deslizamiento de la capa. Las presiones direccionadas por la intersección de familias de diaclasas y - que buzan hacia el NE, parecen en principio que se ajustan más al plano perpendicular al eje de la galería. En consecuencia esta actitud variable de las presiones del terreno en su magnitud, línea de acción y su posicionamiento geométrico-espacial en relación al eje de la galería, da lugar a unos condicionamientos, que hacen que la determinación de una entibación y sus caracte

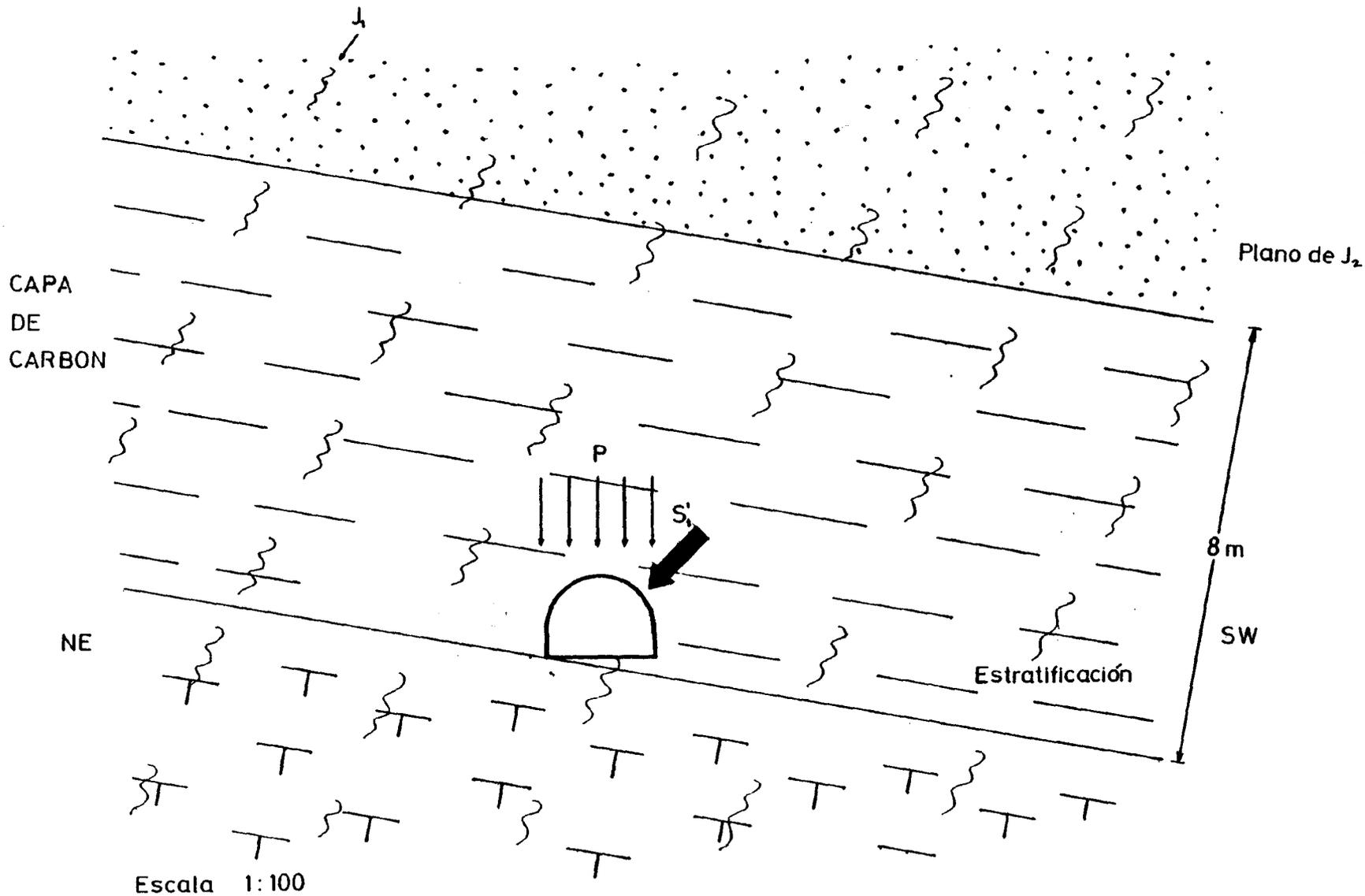


Fig. 19

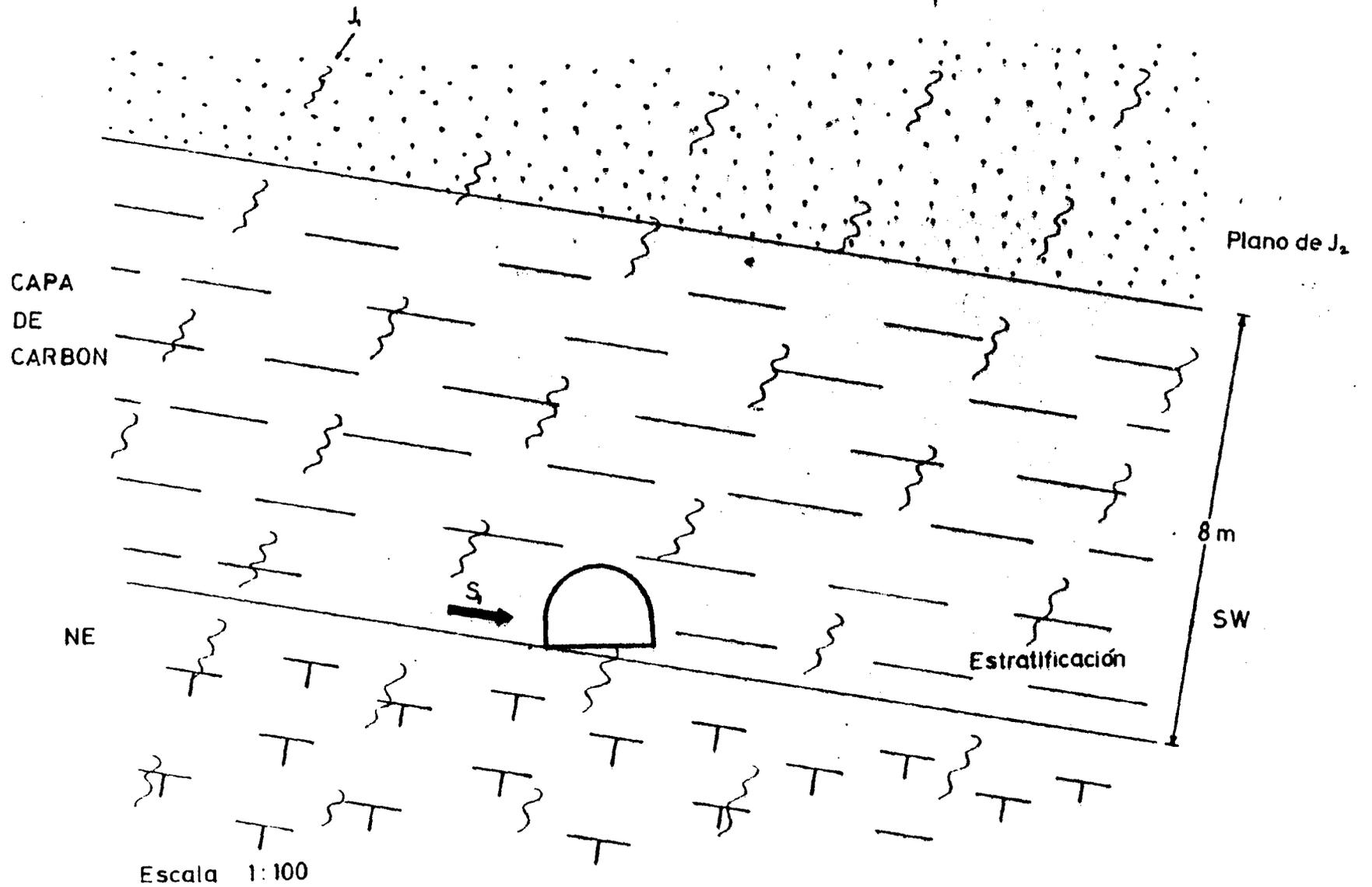


Fig. 18

rísticas sean un problema de gran complejidad.

Todo ello unido a unos materiales geológicos a techo y muro del carbón de comportamiento no-lineal (arenas del albense -granular-, carbón altamente alterado por una fuerte densidad -de planos de crucero, y margas más o menos arcillosas a muro-elasto-plásticas) y con una destacada ausencia de homogeneidad (cambios de facies) y de isotropía asociada a la estratificación del yacimiento, hacen que el problema aquí planteado sólo pueda ser atacado con la ayuda de métodos numéricos capaces de simular los condicionamientos, características y comportamientos de los materiales geológicos con que nos encontramos en el área específica de la cuenca lignitífera de Andorra, Teruel y en especial de Mina Innominada y del Tajo S-2.

8.- PROGRAMA DE ANALISIS ESTATICO DE  
ESTRUCTURAS TRI-DIMENSIONALES

## 8.1.- INTRODUCCION

El propósito y objetivo de este Programa de Análisis Es tático para Estructuras Tridimensionales, es el de realizar aná lisis elásticos lineales de grandes sistemas estructurales Tri dimensionales.

El sistema estructural que se analiza puede estar com puesto por una combinación de diferentes tipos y clases de ele mentos estructurales (cables, tirantes, vigas, estructuras con deformación plana, con tensión plana, sólidos bidimensionales - axisimétricos, sólidos tridimensionales, placas planas, curvas "shells" y membranas "thin shells". La capacidad del programa - depende principalmente del número total de juntas (nodos) y del sistema de computación que se use, prácticamente no existe lími te en cuanto al número de elementos, ni a los diferentes tipos de carga, ni al "ancho de banda" ("bandwidth") de las ecuacio nes a resolver. El programa puede analizar grandes sistemas, y sin embargo no experimentar pérdida de eficiencia en los resul tados al tratar problemas de menor magnitud. El programa es in dependiente de máquina y está codificado en FORTRAN IV standard (Anexo VII).

El desarrollo y elaboración de un programa por computa - dor efectivo para análisis estructurales requiere un buen cono co

cimiento de tres disciplinas de ingeniería-Mecánica Estructural, Análisis Numérico y Programación. La selección de un programa con elementos eficientes y precisos requiere un buen y sólido conocimiento en Mecánica Estructural, que permita en un momento dado la inclusión en el programa de nuevos elementos estructurales, como ocurre en este programa (Structure Analysis Program-3D SOLID SAP) en el que se han introducido elementos de gran y especial ventaja para el análisis de estructura mineras de grandes dimensiones, así como para estructuras sobre el terreno (grandes presas, etc.). No olvidemos que el programa fue realizado por el equipo dirigido por E.L. Wilson y R.W. Clough de la Universidad de California, Berkeley, y financiado y contratado por el U.S. Bureau of Mines, Denver Mining Research Center, U.S. Dept. of the Interior, por lo que su proyección y utilización en la minería y grandes excavaciones subterráneas, queda garantizada.

Así mismo SOLID SAP incluye técnicas de codificación que mejoran la velocidad de ejecución del mismo y reduce las necesidades de almacenamiento de baja velocidad, así, por ejemplo la Matriz de Rigidez se crea en forma condensada, permitiendo que el programa sea totalmente eficiente para sistemas bi y monodimensionales.

## 8.2.- ECUACIONES DE EQUILIBRIO PARA SISTEMAS ESTRUCTURALES COMPLEJOS

### 8.2.1.- Método Directo de Rigidez

Las ecuaciones que gobiernan el equilibrio nodal para un sistema estructural pueden desarrollarse según diferentes caminos o aproximaciones. Todos estos métodos conducen a un sistema de ecuaciones lineales de la siguiente forma:

$$\underline{K}u = \underline{R}$$

Estas ecuaciones definen la suma de las fuerzas elementales internas,  $\underline{K}u$ , expresadas en función de los Desplazamientos Nodales,  $\underline{u}$ , en relación a las cargas nodales generalizadas  $\underline{R}$ . - La matriz  $\underline{u}$  contiene todos los desplazamientos (grados de libertad) del sistema. La Matriz de Rigidez  $\underline{K}$  puede formarse por la suma directa de Matrices de Rigidez Elementales:

$$\underline{K} = \sum \underline{K}_m$$

Para un elemento  $\underline{m}$  en particular la Matriz de Rigidez Elemental viene dada por

$$K_m = \int_{Vol} \underline{a}^T_m \underline{c}_m \underline{a}_m dV_m$$

La relación esfuerzo-deformación para un elemento es de la forma:

$$\underline{\sigma}_m = \underline{c}_m \underline{E}_m + \underline{\tau}_m$$

en donde  $\underline{E}_m$  son las Deformaciones Elementales producidas por los Desplazamientos Nodales  $\underline{u}$  y  $\underline{\tau}_m$  son las tensiones iniciales del elemento antes de la deformación.

Dentro de cada elemento las Deformaciones Unitarias se expresan por la siguiente ecuación:

$$\underline{E}_m = \underline{a}_m \underline{u}$$

Es importante hacer notar que  $\underline{a}_m$  es una matriz de gran dimensión, dado que  $\underline{u}$  contiene todos los grados de libertad del

sistema. La ventaja de este tipo de notación es que la suma "directa" de las Matrices de Rigidez Elemental es correcta.

las cargas generalizadas,  $\underline{R}$ , vienen dadas por:

$$\underline{R} = \underline{P} + \underline{T} - \underline{F}$$

donde  $\underline{P}$  es una matriz de cargas nodales concentradas y  $\underline{T}$  es una matriz de cargas generalizadas debida a las Tensiones Superficiales distribuidas y que viene expresada por la suma de fuerzas de contornos elementales:

$$\underline{T} = \Sigma \underline{T}_m$$

en donde

$$\underline{T}_m = \int_{\text{área}} \underline{b}_m^T \underline{t}_m dS_m$$

$\underline{t}_m$  son las tensiones superficiales y la relación entre Desplazamientos Superficiales  $\underline{u}_m$  y Desplazamientos Nodales  $\underline{u}$  es

$$\underline{u}_m (s) = \underline{b}_m \underline{u}$$

$\underline{F}$  es una Matriz de cargas Generalizadas debida a los esfuerzos iniciales  $\underline{\tau}_m$  y viene dada por la suma de fuerzas elementales:

$$\underline{F} = \Sigma \underline{F}_m$$

en donde

$$\underline{F}_m = \int_{Vol} \underline{d}_m^T \underline{\tau}_m dV_m$$

La matriz  $\underline{d}_m$  es una aproximación al campo de desplazamiento básico dentro del elemento:

$$\underline{u}_m(x, y, z) = \underline{d}_m \underline{u}$$

### 8.2.2.- Condiciones de contorno

La ecuación

$$\underline{K} \underline{u} = \underline{R}$$

representa la relación entre todas las fuerzas y desplazamientos nodales y puede ser re-escrita en forma particional:

$$\underline{K}_{aa} \underline{u}_a + \underline{K}_{ab} \underline{u}_b = \underline{R}_a$$

$$\underline{K}_{ba} \underline{u}_a + \underline{K}_{bb} \underline{u}_b = \underline{R}_b$$

en donde

$\underline{R}_a$  = Cargas Nodales especificadas

$\underline{R}_b$  = Reacciones Nodales desconocidas

$\underline{u}_a$  = Desplazamientos Nodales desconocidos

$\underline{u}_b$  = Desplazamientos Nodales especificados

la primera de estas ecuaciones puede expresarse de la siguiente forma:

$$\underline{K}_{aa} \underline{u}_a = \underline{R}_a - \underline{K}_{ab} \underline{u}_b = \underline{R}_a^*$$

Dado que  $\underline{R}_a^*$  puede ser calculado directamente, esta última ecuación puede resolverse para los Desplazamientos Nodales  $\underline{u}_a$  desconocidos.

Por otro lado en el programa SOLID SAP, si una componente del desplazamiento nodal especificado,  $u_b$ , es cero, los coeficientes de rigidez  $K_{ab}$ ,  $K_{ba}$  y  $K_{bb}$  no se agregan a la matriz de rigidez y el correspondiente grado de libertad no se considera en las ecuaciones de equilibrio; si por el contrario  $u_b = X$ , la segunda de las dos anteriores ecuaciones se modifica por la adición de una ecuación de la forma

$$K_{ub} = Kx$$

en donde  $K$  es un número arbitrario. La ecuación resultante es

$$K_{ba} u_a + (K_{bb} + K) u_b = R_b + Kx$$

si  $K$  se elige que sea varias ordenes de magnitud mayor que el coeficiente de rigidez  $K_{bb}$ , la solución a esta ecuación será  $u_b = X$ . Esto se puede interpretar físicamente como la adición de un resorte, de gran rigidez  $K$  a la estructura. Ello implica la aplicación de una gran carga  $Kx$  por tanto, la relativamente flexible estructura se desplazará a lo largo del resorte para producir el desplazamiento  $X$ .

Esta técnica de agregar un resorte de gran rigidez a la estructura puede usarse para especificar condiciones de contorno peculiares; también puede utilizarse para obtener reacciones en soportes especificando un desplazamiento cero en el nodo del soporte.

### 8.3.- ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL PROGRAMA DE ANALISIS ESTADISTICO DE ESTRUCTURAS TRIDIMENSIONALES

#### 8.3.1.- Elemento lineal "Truss"

Un típico elemento lineal conectado a los nodos o juntas "i" y "j" es el que aparece en la Fig. 20, en un espacio Tridimensional.

Un elemento de este tipo presenta una rigidez elemental que viene dada por

$$K = \frac{AE}{L^3} \begin{bmatrix} -Lx \\ -Ly \\ -Lz \\ Lx \\ Ly \\ Lz \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -Lx & -Ly & -Lz & Lx & Ly & Lz \end{bmatrix}$$

en donde

$$\begin{array}{ll} Lx = Xj - Xi & A = \text{Area de la sección del elemento} \\ Ly = Yj - Yi & E = \text{Módulo Elástico de Young} \\ Lz = Zj - Zi & L = \text{Longitud del elemento} \end{array}$$

y la tensión axial viene dada en función de los desplazamientos globales nodales de la forma:

$$\sigma_s = \frac{E}{L^2} \begin{bmatrix} -Lx & -Ly & -Lz & Lx & Ly & Lz \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{xi} \\ u_{yi} \\ u_{zi} \\ u_{xj} \\ u_{yj} \\ u_{zj} \end{bmatrix}$$

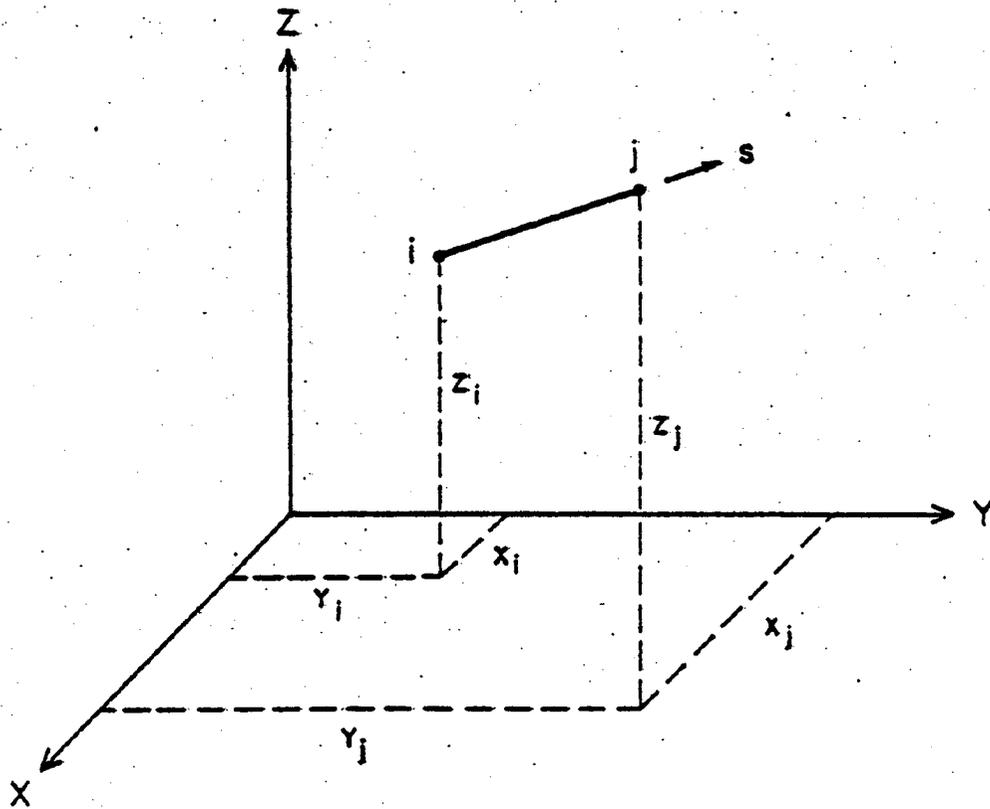


Fig. 20

Dentro del programa la relación esfuerzo-desplazamiento se calcula siempre al mismo tiempo que se define la rigidez del elemento; después se almacena en cinta para luego ser usada en la determinación de las tensiones elementales, una vez que se tengan determinados los desplazamientos nodales.

#### 8.3.2.- Elementos viga ("beam")

Este elemento estructural es capaz en este programa de incluir deformaciones tipo torsión y flexión sobre dos ejes, así como axiales y cortantes sobre un eje. (Fig. 21).

El elemento es prismático y el desarrollo de sus propiedades de rigidez viene dado en cualquier texto de análisis estructural.

#### 8.3.3.- Elementos sólidos

Los siguientes tipos de elementos sólidos se incluyen en el programa:

1. Elementos bidimensionales de tensión plana tipo membrana; con un espesor especificado y localizado en un plano arbitrario.
2. Elementos bidimensionales de tensión plana, deformación plana o axisimétricos (Fig. 22).
3. Elementos tridimensionales de ocho nodos ("brick") - (Fig. 23).
4. Elementos tridimensionales curvos de diez y seis nodos ("thick shells") (Fig. 24).

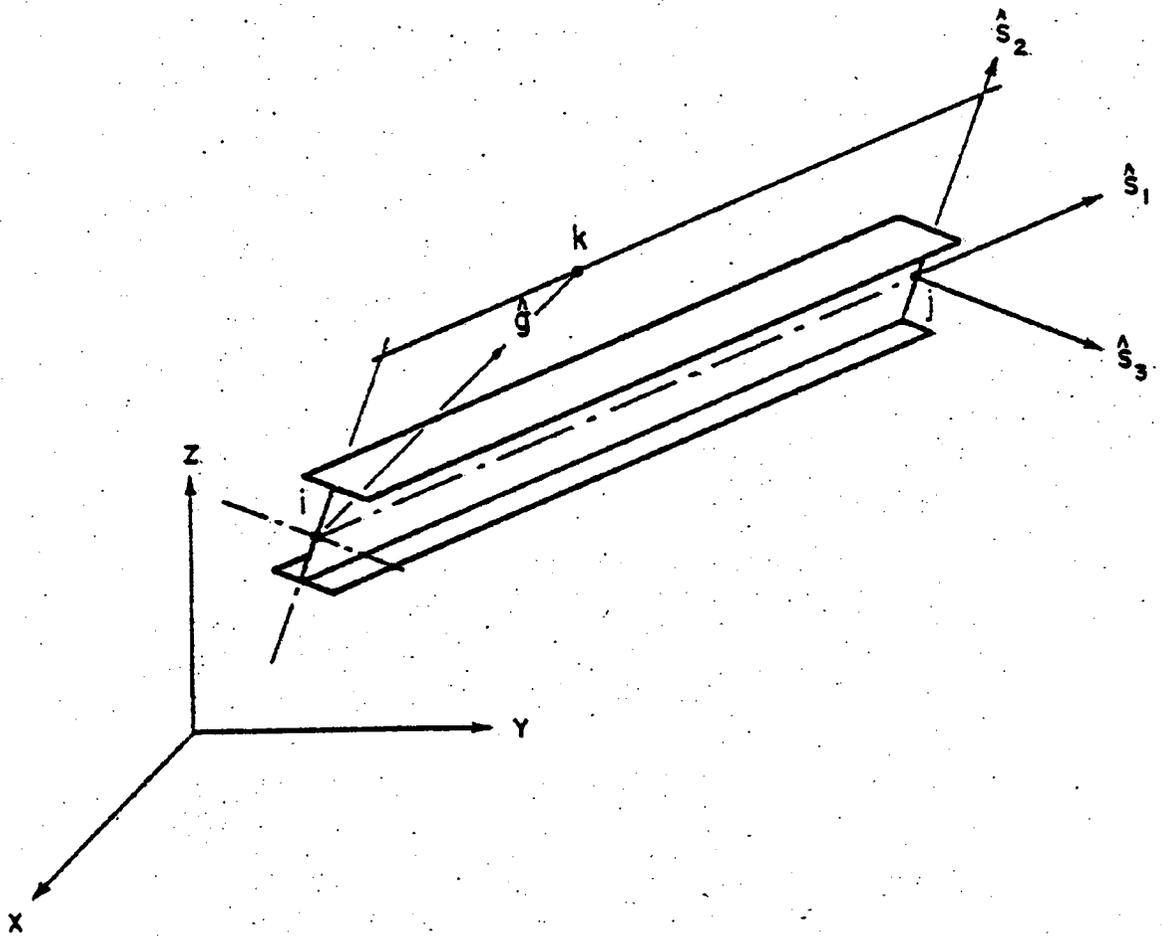
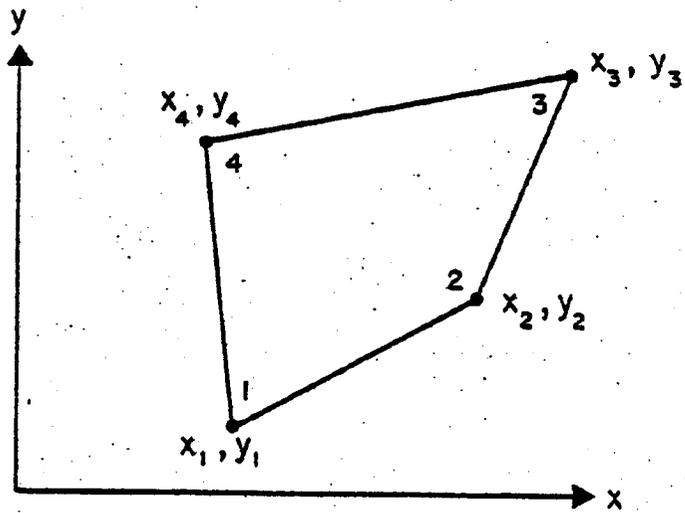
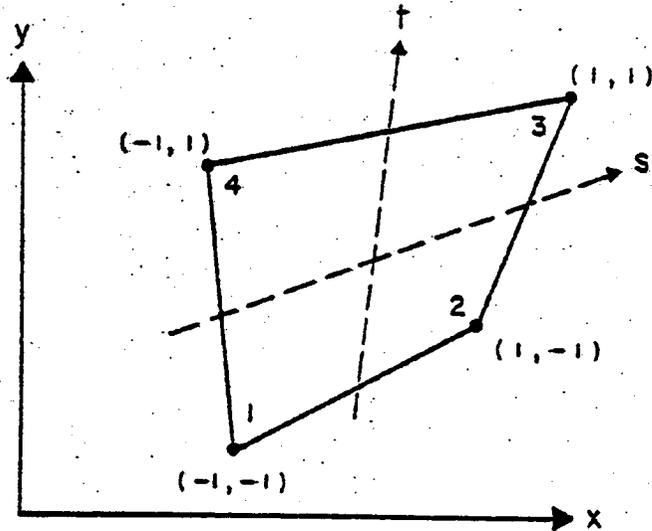


Fig. 21



a SISTEMA GLOBAL



b SISTEMA LOCAL (FEM ISOPARAMETRICOS)

Fig. 22

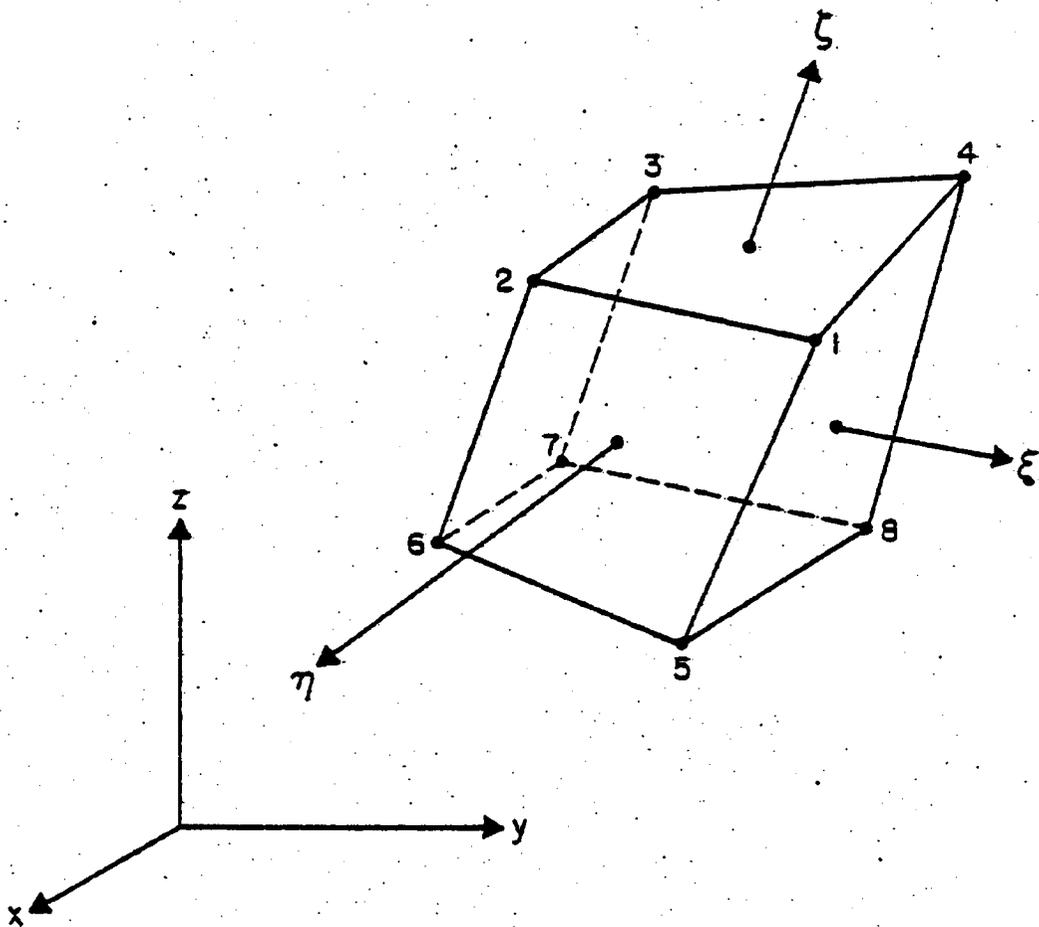


Fig. 23

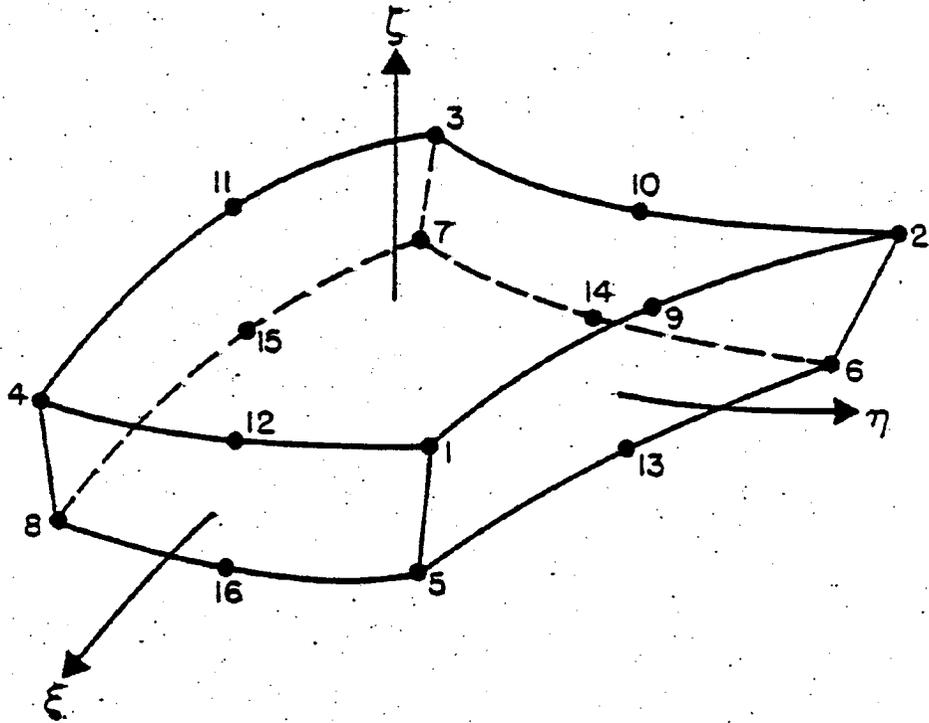


Fig. 24

Todos estos elementos están basados en este programa, en una formulación isoparamétrica junto con la adición de modos de desplazamientos incompatibles; esto da como resultado una mejora en la exactitud de los resultados, así como en la velocidad de convergencia de los mismos.

El elemento tridimensional de ocho nodos (Fig. 23) ha demostrado ser extremadamente efectivo en el análisis de estructuras masivas tridimensionales sometidas a esfuerzos relacionados con fenómenos de flexión.

En este programa se utilizan elementos tridimensionales de 16 nodos (Fig. 24) para el análisis de estructuras curvas. Esto no había sido posible debido a los tres problemas siguientes:

1. La mayoría de los elementos sólidos tridimensionales, no tenían la capacidad de representar momentos de flexión.
2. Los errores en las deformaciones unitarias normal y cortante hacen excesivamente rígido al elemento.
3. Debido a los grandes coeficientes de rigidez en la dirección del espesor, problemas numéricos tienen que introducirse para los elementos curvos de pequeño espesor ("thin shells").

Los dos primeros problemas pueden resolverse por la introducción de modos incompatibles. El tercer problema puede minimizarse con el uso de computadoras de alta precisión o restringiendo la aplicación de dichos elementos a problemas de elementos curvos de pequeño espesor ("thin shells").

#### 8.3.4.- Elementos placa y curvos de poco espesor ("thin shells") (membranas)

Los elementos curvos de poco espesor en el programa SAP son cuadrilaterales de geometría arbitraria formados por cuatro triángulos. El elemento utiliza una deformación unitaria lineal parcialmente restringida para representar el comportamiento de la membrana.

En la Figura 25, el nodo central está situado en el centro geométrico de las coordenadas de los cuatro nodos periféricos. El elemento tiene 17 grados interiores de libertad, los cuales se eliminan a nivel elemento previamente al ensamblamiento; por lo que el elemento cuadrilateral resultante tiene 20 grados de libertad, cinco por nodo en el sistema local de coordenadas del elemento.

Para elementos placa, la rigidez asociada con la rotación normal a la superficie de los elementos curvos ("thin shells"), o membranas, no queda definida, por lo que condiciones de contorno apropiadas deben de utilizarse. Para elementos membranas ("thin shells"), la rotación normal puede incluirse como un grado de libertad extra; o bien puede restringirse por la adición de "Elementos Contornos", los cuales adicionarían rigideces rotacionales normales en el nodo.

#### 8.3.5.- Elementos Contorno ("Boundary Elements")

Los elementos contorno se utilizan en los siguientes casos:

1. En la idealización de soportes elásticos externos del nodo.

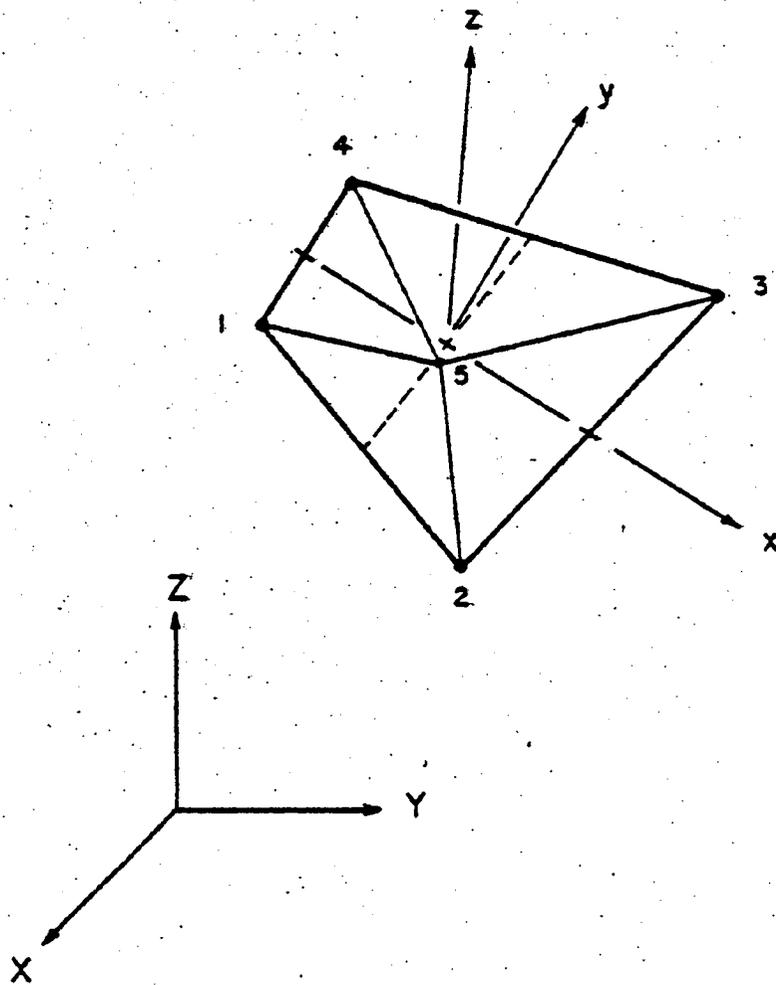


Fig. 25

2. En la idealización de un soporte-rodillo inclinado.
3. Para especificar desplazamientos nodales.
4. Para eliminar las dificultades numéricas asociadas con el "sexto" grado de libertad en el análisis de elementos curvos.

Este es un elemento unidimensional con rigidez axial y torsional. Los coeficientes de rigidez se añaden directamente a la matriz de rigidez total. Si un desplazamiento tiene que especificarse, una carga debe de aplicarse en la dirección de la rigidez. Si la rigidez del elemento contorno es grande comparada a la rigidez de las estructuras es posible aplicar una carga que produzca el desplazamiento deseado.

#### 8.4.- ORGANIZACION DEL PROGRAMA

El Programa de Análisis Estático de Estructuras Sólidas Tridimensionales (SOLID SAP) está codificado en FORTRAN IV standard y es prácticamente independiente del tipo de máquina. Todo el almacenamiento es localizado en el momento de la ejecución ; por tanto, el mínimo requerido de almacenaje depende del tamaño de la estructura.

Para el análisis estático, el programa se divide en cuatro fases, que se ejecutan en la siguiente secuencia:

1. Entrada de datos.- Las coordenadas de los nodos y cargas se leen o son generadas. Conforme las propiedades de los elementos se leen o se generan, las matrices de rigidez de los elementos se van formando y almacenadas en una cinta o en otra forma de almacenamiento

de baja velocidad.

2. La formación de la rigidez total se consigue mediante la lectura de la cinta de rigideces de los elementos y por la formación de las ecuaciones de equilibrio de los nodos en bloques.
3. Las ecuaciones de equilibrio se resuelven para los desplazamientos nodales. Todas las condiciones de carga se tratan al mismo tiempo.
4. De los desplazamientos nodales, los esfuerzos elementales se calculan para todas las condiciones de carga.

#### 8.4.1.- Solución de las Ecuaciones

El programa está centrado en un resolutor de ecuaciones lineales de gran capacidad, USOL. El proceso usado para la solución de las ecuaciones no es muy diferente del método desarrollado por Gauss en 1827. Las características bandeadas de las ecuaciones son reconocidas y las operaciones con coeficientes cero no son consideradas. Los datos son transferidos dentro y fuera de almacenamientos de alta velocidad en grandes bloques; por lo que sólo una pequeña cantidad de tiempo se pierde en la transferencia de datos.

Las ecuaciones de equilibrio (la matriz de rigidez y cargas) se almacenan en bloques sobre cintas o en otras unidades de almacenamiento de baja velocidad. Durante la fase de solución, dos bloques deben permanecer en unidades de almacenamiento de alta velocidad en todo momento; por tanto, la restricción física de almacenaje es que debe de disponerse de una unidad de alta velocidad para, al menos, dos ecuaciones. El tamaño de

bloques ("block size") queda determinado matemáticamente con el momento de la solución; quedando pues el almacenamiento utilizado de la forma más eficiente para una estructura particular.

#### 8.4.2.- Formación de las Ecuaciones de Equilibrio

Previamente a la formación de la matriz de rigidez total, las matrices de rigidez del elemento se calculan y almacenan en forma secuencial en almacenamientos de baja velocidad. La matriz de rigidez total se configura en dos bloques al mismo tiempo mediante una pasada por las matrices de rigidez del elemento y agregando la en los coeficientes apropiados. Con el fin de minimizar el esfuerzo de búsqueda a través de todas las rigideces elementales, las matrices de rigidez elementales para varios bloques se transfieren a otra unidad de almacenamiento, por lo que en la formación de los siguientes bloques el tiempo de búsqueda para la contribución de estos bloques se reduce considerablemente.

#### 8.4.3.- Datos de entrada de nodos y grados de libertad

La capacidad del programa queda controlada por el número de nodos del sistema estructural. Toda la información sobre los nodos queda retenida en almacenamientos de alta velocidad durante la formación de las matrices de rigidez de los elementos. Para cada nodo se requieren tres coordenadas y seis condiciones de contorno, por lo que el mínimo de almacenamiento requerido para un problema dado es nueve veces el número de nodos del sistema.

Inmediatamente después de que se suministran los datos de los nodos, se establece una relación entre cada grado de libertad de los nodos y el número de ecuación correspondiente. Ca

da una de las seis condiciones de contorno para un nodo en particular se sustituye por el número de ecuación para ese grado de libertad. Las condiciones de contorno restringidas se identifican por el número de ecuación cero.

#### 8.4.4.- Cálculo de las matrices de rigidez del elemento

Después de que han sido suministradas las coordenadas de los nodos y se han establecido los números de ecuación de los grados de libertad, la rigidez y las matrices de transformación esfuerzo-desplazamiento se calculan para cada elemento estructural del sistema. Las necesidades adicionales de almacenamiento de alta velocidad en esta fase son muy pocas, ya que estas matrices pueden formarse y ubicarse en cintas conforme se leen las propiedades de los elementos, al mismo tiempo que las matrices elementales los números de ecuación correspondientes se escriben sobre cintas. Después de que todas las matrices elementales han quedado formadas, las coordenadas de los nodos y la información sobre condiciones de contorno no se precisan más; por lo que este área de almacenamiento puede usarse para almacenamiento de las ecuaciones de equilibrio. Llegados a este punto es posible formar y resolver estas ecuaciones como comentamos previamente.

#### 8.4.5.- Valoración de tensiones elementales

Una vez que los desplazamientos nodales se han valorado, se hace una pasada por la cinta que contiene la matriz elemental de esfuerzos-desplazamientos y los esfuerzos quedan calculados.

#### 8.5.- RESUMEN Y CONCLUSIONES

El Programa de Análisis Estático de Estructuras Sólidas Tridimensionales (SOLID SAP), que hemos comentado, es sin duda el programa numérico por Elementos Finitos de mayor capacidad y

adaptación al estudio de la fortificación de los niveles en carbón del tajo S-2 de Mina Innominada, dado el grado actual de conocimientos que tenemos sobre las características tenso-deformacionales que esas galerías, tal y como se han detectado en este estudio que aquí presentamos.

En estos momentos el centrarnos en un programa numérico para materiales elasto-plásticos, granulares ("no-tensión materials"), tiempo-dependientes o con un comportamiento únicamente condicionado a una arquitectura geológico-estructural definida es en nuestra opinión, una postura aventurada y arriesgada, - mientras que el peso de cada uno de estos aspectos del comportamiento de los materiales geológicos del tajo S-2, no se definan y se delimiten en una mayor justa medida y exactitud.

Las posibles características de los materiales que hemos enumerado, junto con la necesidad por el momento de adentrarnos en un análisis Tridimensional; daría lugar a la necesidad de programas superpotentes en cuanto a capacidad de tratamiento de materiales de muy variado comportamiento y de geometría tridimensional, que podrían fácilmente sobrepasar las necesidades - del problema de las galerías en carbón del tajo S-2 de Mina Innominada; así como a unos gastos excesivos en su ejecución.

Una vez que se confirmen y se clasifiquen las características de comportamiento detectadas por los programas de exploración estructural, geofísica y por las Estaciones de Control de Convergencia y Presiones; podremos concentrarnos en programas de menor amplitud, menos ambiciosos en su capacidad, menos costosos en su ejecución y más adaptados al problema sobre el que se centra este proyecto.

Es muy probable, pensamos ahora, que el problema no re

quiera la utilización de formulaciones tridimensionales, ni tiempo-dependiente; quedando pues el programa centrado en aspectos relativos a materiales elasto-plásticos, granulares o di clasadas en una arquitectura bidimensional.

Todas estas posibilidades y diversificaciones del tema , es lo que nos ha llevado a presentar al programa SOLID SAP, co mo el que más racionalmente se adapta a los aspectos y configuraciones que parecen presentar, por ahora, las galerías en que nos hemos centrado.

9.- CONCLUSIONES FINALES Y RECOMENDACIONES

De los programas de exploración subterránea estructural, de geofísica sísmica en la capa del tajo S-2, y de las Estaciones de Control de Convergencias y Presiones que se han realizado en el desarrollo de este estudio, así como con la puesta a punto de un Programa por ordenador de Análisis Estructural de diaclasas, fracturas, zonas de cizalladuras, fallas, planos de debilidad, fisuras y discontinuidades, así como por el numérico de Elementos Finitos Isoparamétricos para el Análisis Estático de Estructuras Sólidas Tridimensionales (3D SOLID SAP), codificados básicamente en las Universidades de Waterloo, Ontario, Canada y en la Universidad de California, Berkeley, USA; bajo financiación del U.S. Bureau of Mines, Denver Mining Research Center, hemos llegado a las siguientes conclusiones relativas a los fenómenos tenso-deformacionales de los niveles en carbón del tajo S-2 de Mina Innominada, operada por ENDESA en Andorra, Teruel:

- Estructuralmente y de forma local, el área del tajo S-2, parece estar sometida a la presencia de dos familias predominantes de diaclasamiento y discontinuidades. Una es la familia  $J_1$  orientada en líneas generales con un rumbo E-W, buzando Norte subverticalmente y la  $J_2$  con rumbo general N-S, buzando vertical o subverticalmente E. Ambas perpendiculares a la estratificación y siendo  $J_1$  más significativa y predominante que  $J_2$ . Su actitud parece ser bastante homogénea y uniforme, al menos

al nivel de la planta en que se desarrolló la exploración ; confirmada está por las estaciones de exploración estructural de superficie.

- El programa de exploración geofísico sísmica, ha detectado una discontinuidad sísmica en el tajo S-2, dando lugar a una zonificación en cuanto a la consistencia y rigidez mecánico-elástica de los materiales de la capa. Dicha discontinuidad, define una zona Sur en el tajo de una fuerte alterabilidad y degradación en cuanto a la solidez y competencia de dicho material lignitífero.

La discontinuidad sísmica coincide de forma aparentemente bastante ostensible con la familia  $J_1$  de discontinuidad estructural, definiéndose ésta como un significativo plano de debilidad que incide fuertemente en la deformación del nivel de pie del tajo.

- La discontinuidad sísmica, coincidente con la familia estructural  $J_1$  y la presencia de la  $J_2$ , hace que el macizo lignitífero deslice sobre los planos de estratificación, haciendo que la zona alterada de dicho macizo se desplace en dirección de máxima pendiente de la capa y gravite lateralmente sobre el hastial izquierdo de la galería de base en carbón, provocando de este modo más fuertes presiones y deformaciones asimétricas sobre la sección de la galería y sobre los correspondientes arcos metálicos deslizantes. Esta acción es predominante entre los 30 y 50 metros de la galería de pie por delante del frente del tajo.

- En secciones de la galería de pie en carbón, a menores distancias del tajo (30 - 15 metros del frente del tajo), las altas concentraciones de esfuerzos asociados al tajo, disparan una

componente deformacional de gran magnitud con una línea de acción que coincide con la línea de intersección de más alta densidad de concentración de las familias  $J_1$  y  $J_2$  de discontinuidades.

Dicha línea es de componente NE buzando entre los  $60^\circ$  y  $70^\circ$ , y es con esa dirección con la que coinciden las más altas de formaciones detectadas por las Estaciones de Convergencias más próximas al frente del tajo.

- La galería de pie en carbón queda pues sometida a una fuerte componente deformacional en dirección Sur que actúa sobre el hastial izquierdo de dicha galería cuando nos encontramos a más de 30 metros del frente del tajo.

A medida que nos acercamos al tajo, la alta concentración de tensiones asociadas al mismo, dispara una fuerte componente deformacional de componente NE, asociada a la intersección  $J_1 - J_2$  de mayor magnitud que la anterior, eclipsándola en gran parte.

- Todo esto hace que la galería de pie y los arcos metálicos y entibación general de la misma, este sometida a un campo de esfuerzos y presiones del terreno no solamente variable en magnitud, sino en disposición geométrica espacial.

El diseño y definición de una entibación preparada para asimilar ese campo dinámico de componentes tenso-deformacionales y probablemente de acción inclinada con respecto al plano normal al eje de la galería, es un problema realmente complejo y al mismo tiempo sugestivo y retante, que requiere de la utilización en principio de métodos numéricos de análisis por Elementos Finitos de estructuras Tridimensionales.

- La necesidad a la vista de lo expuesto y comentado en estas -

conclusiones, nos orientó hacia la aplicación de un Programa de Análisis Estático de Estructuras Sólidas Tridimensionales (3D SOLID SAP) codificado por E.L. Wilson y R.W. Clough de la Universidad de California, Berkeley, USA; dos primerísimos líderes mundiales de prestigio reconocidísimo en la formulación y codificación de Elementos Finitos y su aplicación a la ingeniería estructural (civil, aeroespacial, mecánica, geotécnica minera, etc.).

- Una vez que los aspectos sobre el comportamiento de los materiales geológicos, asociados a los niveles del tajo S-2 aquí detectados y comentados sean confirmados; sobre todo en cuanto a su relación con las discontinuidades sísmicas y estructurales ( $J_1 - J_2$ ) que hemos definido en este estudio; será posible definir de forma más precisa la capacidad del programa numérico a utilizar, esto es el poder utilizar programas de análisis de estructuras bidimensionales, para materiales elasto-plásticos, granulares o diaclasados en mayor o menor proporción; con lo que el análisis numérico podrá hacerse con la "herramienta" más adaptada al problema en estudio, con las consiguientes ventajas tanto técnicas, de simulación, interpretación y análisis, y económicas en cuanto a los costos asociados a la ejecución de superprogramas de gran capacidad y amplia aplicación.

- Para conseguir todo lo anterior comentado necesitaríamos, enriquecer:

1° Los datos e información de la geología estructural realizada, estudiándola a varias profundidades (pisos) estableciendo rigurosos Factores de Peso, que recojan aspectos tales como continuidad, espaciamiento, espesor, uniformidad y homogeneidad dentro de una arquitectura tridimensional ,

y la aplicación a fondo de programas por ordenador que nos detecten inuniformidades y faltas de homogeneidad en los aspectos geoestructurales de la zona.

- 2° La información de la geofísica sísmica y su asociación a las discontinuidades estructurales.
- 3° Una extensometría que nos permite confirmar y definir el entorno de actividad de las zonas de relajación y deformación alrededor y a lo largo de las galerías.
- 4° Una campaña de control de convergencias en niveles pie y cabeza a distancias superiores a 50 metros e inferiores a 15 del frente del tajo, para poder confirmar, la acción - cambiante y dinámica de las deformaciones de las galerías y de las presiones actuantes sobre la entibación de la misma.
- 5° El nivel de conocimiento sobre el comportamiento de los materiales geológicos asociados al tajo S-2 (elasto-plástico, granular "no-tensión", o diaclasado), y su entorno o amplitud de acción a lo largo y alrededor de las galerías en carbón (hastiales, carbón y materiales de techo y muro).

No parece por ahora que las componentes tiempo-dependientes presenten una significativa acción en las deformaciones asociadas al sistema de tajo S-2.

Los resultados obtenidos en el estudio aquí realizado, son de un gran interés y arrojan una tremenda luz, a la forma en que los niveles en carbón se ven sometidos a las solicitaciones deformacionales y a las presiones cambiantes del terreno. El poder confirmar y ratificar nuestras impresiones, de la forma

especificada en las recomendaciones, así como la causística de los fenómenos observados, nos permitieran tener un diagnóstico más preciso y riguroso, y a la posibilidad de aplicar una terapéutica con los medios más idóneos y adaptados al problema y - que mejor simulen la realidad de lo que sucede en el tajo S-2 - de Mina Innominada.

De hacerlo así, la solución que se consiga podría definirnos la posibilidad de aplicación a otros tajos de la cuenca lignitífera de Andorra y por supuesto el enfoque y forma de tratamiento y análisis a problemas similares en otras cuencas carboníferas.

Esperamos que la importancia de conclusiones aquí definidas, pueden desarrollarse con futuras campañas de exploración y control, que permitan resolver problemas de la gravedad e incidencia económica en la producción, como los aquí planteados.

A N E X O I  
DATOS DE BASE

PK	DS	Dirección	Buzamiento	D	Dirección	Buzamiento	OBSERVACIONES
0,0000	Falla			1	38° I.	43° a	G.G.6°. Dirac. 160° Bastial Izquierdo
				2	25° I.	62° a	
				3	19° D.	62° a	
				4	64° D.	63° a	
				5	7° D	65° r	
				6	59° D.	32° a	
				7	87° D.	69° a	recrist. CO <sub>3</sub> Ca en plano
0,0016	Nor.	36° I.	65° r	8			
0,0150	Nor.	34° I.	65° a	9			
				10	45° D.	72° r	
				11	66° D.	68° a	
				12	24° D.	70° r	
				13	30° I.	63° r	
				14	26° D.	34° r	
				15	73° D.	34° r	
				16	76° D.	90°	
				17	59° D.	33° r	
0,0197	Inv.	34° I.	70° r	18			Estrias SFe plano
0,0300				19	33° I.	72° a	
				20	9° D.	29° a	
				21	25° I.	59° a	
				22	46° D.	52° r	
				23	41° D.	58° r	
				24	45° D.	9° a	
				25	43° D.	19° a	
				26	88° D.	19° a	
				27	23° D.	75° r	
				28	25° D.	76° r	
				29	13° D	53° r	
				30	16° D	57° r	
				31	33° I.	35° a	
				32	60° I.	72° a	
				33	51° D.	55° r	
				34	55° D	68° a	

PK	OS	Dirección	Buzamiento	D	Dirección	Buzamiento	OBSERVACIONES
				35	68 <sup>a</sup> I.	52 <sup>a</sup> a	
				36	49 <sup>a</sup> D.	42 <sup>a</sup> r	
				37	44 <sup>a</sup> D.	65 <sup>a</sup> r	
				38	20 <sup>a</sup> D.	68 <sup>a</sup> r	
				39	18 <sup>a</sup> D.	72 <sup>a</sup> r	
				40	12 <sup>a</sup> D.	50 <sup>a</sup> a	
				41	57 <sup>a</sup> I.	80 <sup>a</sup> a	
				42	54 <sup>a</sup> D.	90 <sup>a</sup>	Abierta
				43	72 <sup>a</sup> D.	63 <sup>a</sup> r	
				44	12 <sup>a</sup> I.	40 <sup>a</sup> r	
				45	46 <sup>a</sup> I.	45 <sup>a</sup> a	
				46	54 <sup>a</sup> D.	90 <sup>a</sup>	Abierta
				47	44 <sup>a</sup> D.	81 <sup>a</sup> r	
				48			Estrecha de 30 <sup>a</sup> I.
				49	41 <sup>a</sup> D.	90 <sup>a</sup>	
				50	65 <sup>a</sup> D.	30 <sup>a</sup> a	
				51	54 <sup>a</sup> I.	65 <sup>a</sup> a	
				52	3 <sup>a</sup> D.	88 <sup>a</sup> r	
				53	36 <sup>a</sup> D.	62 <sup>a</sup> r	
				54	8 <sup>a</sup> D.	42 <sup>a</sup> r	
				55	60 <sup>a</sup> I.	45 <sup>a</sup> a	
				56			
				56	66 <sup>a</sup> I.	38 <sup>a</sup> r	0,0635 N.
				57	41 <sup>a</sup> D.	70 <sup>a</sup> r	
				58	11 <sup>a</sup> D.	90 <sup>a</sup> a	
				59	34 <sup>a</sup> I.	81 <sup>a</sup> a	
				60	60 <sup>a</sup> I.	30 <sup>a</sup> r	
				61	27 <sup>a</sup> D.	75 <sup>a</sup> r	
				62	16 <sup>a</sup> D.	65 <sup>a</sup> r	
				63	76 <sup>a</sup> I.	63 <sup>a</sup> r	
				64	76 <sup>a</sup> I.	65 <sup>a</sup> r	
				65	31 <sup>a</sup> I.	95 <sup>a</sup> a	
				66	22 <sup>a</sup> D.	32 <sup>a</sup> r	
				67	13 <sup>a</sup> I.	51 <sup>a</sup> r	
				68	40 <sup>a</sup> D.	68 <sup>a</sup> r	
				69	40 <sup>a</sup> D.	77 <sup>a</sup> r	

PK	DS	Dirección	Buzamiento	D	Dirección	Buzamiento	OBSERVACIONES
				70	20° I.	85° r	
0,0750				71	10° D.	80° a	
				72	34° D.	90°	
				73	17° D.	79° a	
				74	81° I.	82° a	
				75	39° D.	89° a	
				76	69° I.	70° a	
				77	5° D.	62° r	
				78	24° I.	53° r	
0,0803	N.	61° I.	35° r	79			Abierta (CO <sub>2</sub> Ca extra.)
				80	24° D.	75° r	
				81	22° D.	72° r	
				82	23° D.	68° r	
				83	61° I.	78° r	
				84	60° I.	45° a	
				85	31° D.	82° r	
				86	9° D.	55° r	
				87	22° D.	67° r	
				88	39° D.	60° r	
				89	13° I.	55° a	
				90	79° I.	85° a	
				91	65° I.	68° r	
				92	31° D.	85° r	
				93	21° I.	73° a	
				94	11° I.	63° r	
0,0900				95	10° I.	65° a	
				96	20° D.	85° a	
				97	20° D.	65° r	
				98	23° I.	68° a	
				99	30° D.	42° a	
				100	22° D.	61° a	
				101	12° D.	82° r	
				102	63° I.	82° a	
				103	37° D.	78° r	
				104	15° D.	60° a	

PK	DS	Dirección	Buzamiento	D	Dirección	Buzamiento	OBSERVACIONES
				105	80° I.	57° r	
				106	67° D.	75° r	
				107	26° D.	30° a	
				108	23° D.	63° a	
				109	9° D.	80° r	
				110	18° D.	80° r	
				111	18° D.	75° r	
				112	87° I.	22° r	
				113	20° D.	80° a	
				114	15° D.	70° r	
				115	21° D.	70° r	
				116	55° I.	73° a	
0,1050				117	22° D.	65° a	
				118	5° D.	95° a	
				119	33° D.	85° r	
				120	5° I.	75° r	
				121	50° I.	63° r	
				122	19° D.	90°	
				123	28° D.	66° a	
				124	70° I.	92° r	
				125	20° D.	65° r	
				126	38° D.	90°	
				127	45° D.	60° r	Zona con recrist. CO <sub>2</sub> Ca
				128	47° I.	65° a	
				129	70° D.	80° r	
				130	2° I.	55° a	
				131	3° r	85° r	
				132	13° D.	85° r	
				133	15° D.	79° a	
				134	5° I.	70° a	
				135	25° D.	60° r	
				136	12° D.	70° r	
0,1200				137	30° D.	75° r	
				138	10° D.	78° r	
				139	90°	82° r	

PK	DS	Dirección	Buzamiento	D	Dirección	Buzamiento	OBSERVACIONES
				140	18° I.	75° r	
				141	57° D.	85° r	
				142	12° D.	70° r	
				143	58° D.	85° r	
				144	43° D.	65° r	
				145	11° D.	68° r	
				146	86° D.	82° r	
				147	90°	52° r	
				148	17° I.	60° r	
				149	2° D.	70° r	
				150	25° D.	72° r	
				151	22° D.	50° r	
				152	30° D.	78° a	
				153	3° D.	78° a	
0,1222		12° I.	27° r	154			gunitado plano?
				155	32° D.	85° a	
				156	68° I.	78° a	
				157	15° D.	85° r	
				158	47° D.	80° r	
				159	23° D.	85° r	
				160	30° D.	75° r	
				161	30° D.	75° r	
				162	23° D.	50° a	
0,1285		45° I.	52° r	163			gunitado plano?
				164	84° D.	85° r	
				165	31° D.	67° r	
				166	40° I.	68° a	
				167	38° D.	77° a	
				168	38° I.	72° r	
				169	3° I.	60° r	
				170	3° D.	82° r	
				171	12° I.	88° r	
				172	12° r	85° -	
				173	31° D.	76° -	
				174	30° D.	60° r	

PK	DS	Dirección	Buzamiento	D	Dirección	Buzamiento	OBSERVACIONES
				175	12° I	90°	
				176	10° D	95° r	
				177	23° D	90°	
				178	23° D	75° a	
				179	40° D	78° r	
				180	2° D	85° a	
				181	2° D	75° r	
				182	33° I	72° r	
0,1500				183	36° D	81° r	
				184	65° I	60° r	
				185	28° D	50° r	
				186	36° D	81° r	
				187	15° D	83° -	
				188	28° D	85° r	
				189	13° D	75° r	
				190	34° I	74° r	
				191	13° D	46° a	
				192	42° D	62° a	
				193	59° D	78° r	
				194	23° I	88° r	
				195	36° D	85° a	
				196	15° D	77° r	
				197	29° D	77° r	
				198	28° I	84° r	
				199	11° D	73° r	
				200	21° D	90°	
				201	0°	75° izq.	
				202	54° D	72° r	
0,1650				203	81° D	83° r	
				204	31° D	33° r	
				205	46° D	87° a	
				206	77° I	43° a	
0.1615	N.	78° I	63° a	207			
				208	78° I	75° a	
				209	28° I	72° r	

PK	DS	Dirección	Buzamiento	D	Dirección	Buzamiento	OBSERVACIONES
				210	87° I	70° a	
				211	30° D	78° r	
				212	8° D	43° r	
				213	58° I	59° a	
				214	6° D	36° r	
				215	38° D	38° a	
				216	20° I	72° r	
0,1700	I	28° I	73° a	217			c = 5
				218	48° D	74° r	
				219	48° D	82° r	
				220	53° D	63° r	
				221	33° D	83° r	
				222	76° D	88° a	
				223	13° D	88° r	
				224	14° D	67° r	
				225	41° I	72° r	
				226	18° I	58° a	
				227	25° D	66° r	
				228	25° D	70° r	
				229	62° I	68° a	
				230	82° D	38° a	
				231	37° D	88° r	
				232	10° D	73° r	
				233	27° D	70° r	
0,1760	N	51° I	69° r	234			
				235	11° D	72° r	
				236	11° D	89° r	
				237	11° D	72° r	
				238	18° D	85° a	
				239	35° D	85° r	
				240	23° D	61° r	
				241	62° I	38° a	
				242	42° I	49° a	
				243	14° I	63° a	
				244	30° I	63° a	

PK	DS	Dirección	Buzamiento	D	Dirección	Buzamiento	OBSERVACIONES
				245	20 <sup>a</sup> D	79 <sup>a</sup> r	
				246	48 <sup>a</sup> I	38 <sup>a</sup> a	
0,1950				247	22 <sup>a</sup> D	70 <sup>o</sup> r	
				248	80 <sup>a</sup> I	60 <sup>a</sup> a	
				249	11 <sup>a</sup> D	78 <sup>a</sup> r	
				250	32 <sup>a</sup> D	70 <sup>a</sup> r	
				251	23 <sup>a</sup> D	80 <sup>a</sup> r	
				252	20 <sup>a</sup> I	43 <sup>a</sup> r	
				253	12 <sup>a</sup> D	55 <sup>a</sup> r	
				254	44 <sup>a</sup> I	90 <sup>a</sup>	
				255	12 <sup>a</sup> D	68 <sup>a</sup> r	
				256	60 <sup>a</sup> I	43 <sup>a</sup> a	recrist. CO <sub>3</sub> Ca
				257	28 <sup>a</sup> D	76 <sup>a</sup> r	
				258	18 <sup>a</sup> D	82 <sup>a</sup> r	
				259	18 <sup>a</sup> D	88 <sup>a</sup> r	
0,0000				260	20 <sup>a</sup> D	90 <sup>a</sup>	R-63 hastial Izdo.
				261	18 <sup>a</sup> D	60 <sup>a</sup> r	
				262	83 <sup>a</sup> D	81 <sup>a</sup> r	
				263	32 <sup>a</sup> D	43 <sup>a</sup> r	
				264	45 <sup>a</sup> D	45 <sup>a</sup> r	
				265	50 <sup>a</sup> D	78 <sup>a</sup> r	
				266	52 <sup>a</sup> D	80 <sup>a</sup> r	
				267	23 <sup>a</sup> D	32 <sup>a</sup> r	recrist. CO <sub>3</sub> Ca
				268	50 <sup>a</sup> D	87 <sup>a</sup> a	
0,015				269	53 <sup>a</sup> D	72 <sup>a</sup> r	hastial derecho
				270	9 <sup>a</sup> D	68 <sup>a</sup> a	
				271	88 <sup>a</sup> I	88 <sup>a</sup> r	
				272	80 <sup>a</sup> D	35 <sup>a</sup> a	
				273	39 <sup>a</sup> I	56 <sup>a</sup> r	
				274	62 <sup>a</sup> I	90 <sup>a</sup>	
				275	46 <sup>a</sup> I	58 <sup>a</sup> a	
				276	72 <sup>a</sup> I	78 <sup>a</sup> r	
				277	56 <sup>a</sup> I	38 <sup>a</sup> r	
				278	81 <sup>a</sup> D	85 <sup>a</sup> r	
				279	11 <sup>a</sup> I	50 <sup>a</sup> r	

PK	DS	Dirección	Suzamiento	D	Dirección	Suzamiento	OBSERVACIONES
0,0300				280	23° D	90°	
0,0245	I	11° D	35° r	281			estrias CO <sub>3</sub> Ca
				282	50° I	88° r	
				283	15° D	62° a	
					80° D	70° a	
					2° I	90°	
					58° I	70° a	
					81° I	72° a	
					63° D	70° a	
					80° I	85° a	
					23° I	25° r	
					67° I	73° a	
					48° D	87° r	
					28° D	58° r	
					9° I	60° a	
0,0450					9° D	88° a	
					42° I	52° a	
					18° I	73° r	
					39° D	45° a	
					73° I	63° a	
					76° D	82° a	
					73° D	75° a	
					35° I	37° a	
					2° D	68° a	
					25° D	65° a	
					60° D	65° r	
					18° I	72° a	
					67° I	74° a	
					8° D	90°	
					18° D	65° a	
					63° I	68° a	
					11° I	64° a	
					24° D	72° a	

PK	DS	Dirección	Inclinación	D	Dirección	Inclinación	OBSERVACIONES
					33°I	80°a	
					9°D	68°a	
0,0600					21°D	55°a	
					26°D	58°a	
					53°I	50°a	
					84°D	75°a	
					83°I	83°r	
					23°D	64°r	
					82°I	60°r	
					72°I	68°r	
					40°D	53°a	
					39°D	48°a	
					39°D	33°r	
					23°D	51°a	
					30°D	46°r	
					28°D	55°a	
					48°D	51°a	
					58°I	73°a	
					34°D	72°a	
0,0750					33°D	50°a	
					45°D	50°r	
					32°D	52°a	
					35°D	51°a	
					58°D	51°r	
					30°D	45°r	
					23°D	51°a	
					33°D	58°a	
					25°D	52°a	
					41°D	53°a	
					35°D	85°a	
					42°D	60°a	
					15°D	52°a	
					20°D	40°a	
					30°I	52°r	
					75°I	55°r	

PK	DS	Dirección	Buzamiento	D	Dirección	Buzamiento	OBSERVACIONES
					36°I	50°a	
					90°D	62°r	
					73°D	45°r	
					74°D	45°a	
					60°I	71°a	
					30°D	18°a	
0,0906					86°I	32°a	
					57°I	30°a	
					57°I	68°r	
					72°I	87°r	
					35°D	22°a	
					48°D	32°a	
					53°D	90°	
					48°D	57°r	
					63°D	20°a	
					53°I	30°r	
					49°D	51°a	
					58°D	48°a	
					18°D	80°a	
					3°D	65°a	
					80°D	83°r	Apriense
					45°I	92°r	
0,1050					75°D	70°r	
					32°D	43°a	Albiense
					54°D	48°a	
					46°D	43°a	
					82°I	93°a	
					52°D	60°r	
					52°D	35°a	
					45°I	38°r	
					54°D	68°r	
					75°D	49°a	
					32°I	92°a	
					71°I	50°a	
					40°I	90°	

PX	OS	Dirección	Buzamiento	D	Dirección	Buzamiento	OBSERVACIONES
			65° I				
			76° I				
			25° D				
	0,0000		75° I				N-S-2/63
			60° a				
			75° I				
			33° D				
			47° a				
			28° I				
			80° I				
			73° I				
			62° a				
			55° a				
			80° a				
			75° I				
			52° a				
			37° D				
			41° I				
			78° I				
			66° a				
			75° I				
			32° D				
			67° a				
			82° I				
			46° D				
			77° I				
			42° D				
			66° I				
			88° I				
			49° I				
			66° a				
	0,0150		65° I				
			45° a				
			39° I				
			80° D				
			88° a				
			32° D				
			80° a				
			67° D				
			20° D				
			33° a				
			45° D				
			85° a				
			25° I				
			80° I				
			15° D				
			14° I				
			71° I				
			67° D				
			83° a				

PK	D <sub>S</sub>	Dirección	Buzamiento	D	Dirección	Buzamiento	OBSERVACIONES
					39°I	68°a	
					53°I	60°a	
					60°I	52°a	
					80°I	55°a	
					68°I	72°a	
					79°I	69°a	
					47°I	69°a	
0,0300					88°I	87°a	
					71°I	87°a	
					71°I	87°a	
					32°I	71°r	
					55°I	80°a	
0,0325		14°D	37°a		30°D	70°r	
					67°I	62°a	
					86°I	85°a	
					30°D	35°a	
					87°D	67°a	
					6°I	63°r	
0,0395		90°	51°a				estrias horizontales
0,0395	N	17°D	10°a				
					45°I	90°	
					72°D	80°a	
					39°D	76°a	
					40°I	70°r	
					20°D	50°a	
					82°D	85°a	
					48°D	82°a	
0,0430					22°I	85°r	
					41°D	87°a	
					51°D	90°	
					46°I	74°r	
					51°D	82°a	
					55°D	73°a	
					47°D	88°a	
					50°D	74°r	

PK	DS	Dirección	Buzamiento	D	Dirección	Buzamiento	OBSERVACIONES
					42°I	65°r	
					57°I	80°r	
					23°D	80°a	
					25°I	80°r	
					30°I	65°r	
					67°I	77°r	
					66°I	87°r	
					68°I	62°a	
					9°I	82°a	
					34°I	78°a	
					63°I	85°a	
					40°D	90°	
					48°I	88°r	
0,0600					21°I	89°r	
					38°I	82°a	
					44°I	35°a	
					21°D	45°a	
					12°I	75°a	
					38°D	85°a	
					23°D	64°a	
					28°D	82°a	
					5°I	67°a	
					19°D	53°a	
					72°I	73°a	
					22°D	52°a	
					17°I	80°r	
0,0680	?	27°D	25°r				
					52°I	90°	
					23°I	67°r	
					20°D	42°a	
					38°I	83°r	
					38°D	90°	
					32°D	81°r	
							P-S-2 /?
0,000					42°I	30°a	

PK	DS	Dirección	Buzamiento	D	Dirección	Buzamiento	OBSERVACIONES
					36°I	86°a	
					55°D	80°a	
					43°I	87°a	
0,005	N	85°D	80°a				Plano difuso
					48°I	85°a	
0,006	N	83°I	35°a				
0,007	I	76°D	40°r				
					58°D	70°a	
					30°I	85°a	
					80°D	80°a	
0,008	N	75°D	75°a				Plano pirit.
					88°D	73°a	
					8°I	80°r	
					11°I	80°a	
					85°I	85°a	
					70°I	84°a	
					78°I	70°a	
					19°D	66°a	
					45°I	82°a	
0,0145	N	42°D	49°r				
0,0150					87°D	77°a	
					84°D	72°a	
0,021	N	20°D	5°a				
					46°I	90°	
					88°I	76°a	
					38°I	36°a	
					36°I	37°a	
					3°I	90°	
					13°I	88°a	
							Direc. buz. astrac. 83°D7°a
					35°I	36°a	
					31°I	36°a	
					20°I	36°a	
					7°D	61°a	
					14°D	30°a	

PK	DS	Dirección	Buzamiento	D	Dirección	Buzamiento	OBSERVACIONES
					82°D	77°a	
					5°I	70°r	
					0°	76°a	a la derecha
					34°I	85°a	
0,030	N	38°D	49°r				
					36°I	90°	
					85°I	89°	
					90°	90°	
					39°I	86°a	
					56°I	83°a	
					18°D	84°r	
					47°I	75°a	
					47°I	77°a	
					45°D	62°r	
					37°I	85°a	
					40°I	80°a	
					17°D	63°a	
					43°I	68°a	
					37°I	89°a	
					37°I	68°a	
					82°D	83°a	
					42°I	75°a	
					33°I	87°a	
0,039	N	33°I	85°r				Plano difuso
0,040	N	36°I	85°a				
					40°I	90°	
0,045					76°D	82°r	
					44°I	90°	
					71°D	75°r	
					53°I	86°a	
					44°I	80°a	
					54°I	86°2	
					15°D	85°a	
					46°D	86°a	
					36°I	38°r	

PK	DS	Dirección	Buzamiento	D	Dirección	Buzamiento	OBSERVACIONES
					42°D	84°a	
					30°I	76°a	
					32°D	72°a	
0,0470	N	90°	86°a				
					55°D	74°r	
0,460	I	73°I	86°a				
					47°D	90°r	
					82°I	84°a	
					34°I	74°a	
0,0000					49°I	70°a	Nivel intermedio hastial derecho
					39°D	88°r	Hacia soutirage, ori- gen N-S-2-63/int.
					48°I	88°a	
					33°D	86°r	
					80°I	63°r	
					33°D	85°r	
					47°I	90°	
					16°I	88°a	
					73°I	77°a	
					4°I	86°r	
0,005	N	79°I	64°a				
					64°I	73°a	
					28°I	87°r	
					46°I	81°a	
					20°D	85°a	
					40°I	90°	
					23°D	87°a	
					68°I	88°r	
					18°I	87°r	
					50°I	78°a	
					19°D	79°a	
0,0000					77°I	75°a	Nivel intermedio na- cia P-S-2/63 hastial Izdo N-S-2/63/izd.
					34°D	87°a	
					20°D	88°r	
					70°I	88°r	
					50°I	79°r	



PK	DS	Dirección	Sumamiento	D	Dirección	Sumamiento	OBSERVACIONES
					36°I	81°a	
					44°D	72°r	
					43°D	85°a	
0,0267	N	38°I	88°a				
0,0300					62°I	87°a	
0,0300	I	40°I	68°r				
					62°I	79°r	
					29°D	90°	
					47°D	87°r	
					84°I	88°a	
					36°D	88°a	
					68°I	87°r	
					65°I	83°a	
					34°D	89°a	
					73°D	85°r	
					73°I	90°a	
					68°I	89°a	
					15°D	90°	
					64°I	77°a	
					63°I	87°r	
					23°D	88°r	
					73°I	87°a	
					74°I	82°a	
					36°D	90°	
					50°I	81°a	
					81°D	86°a	
					57°I	88°r	
					27°I	87°r	
0,0000					83°D	69°a	P-S-2/63 hacia nivel base
					96°D	85°r	
					43°D	85°r	
					25°I	87°r	
					50°D	90°	
					46°I	96°r	
					49°D	79°r	

PK	DS	Dirección	Buzamiento	D	Dirección	Buzamiento	OBSERVACIONES
					75° D	81° r	
					21° I	84° r	
					52° D	76° r	
					43° D	72° r	
					57° D	75° r	
					73° D	73° r	
					44° I	87° r	
0,0115	I	46° I	80° a				
					43° I	85° r	
					43° I	83° r	
					58° D	88° r	
0,0130	N	20° I	87° r				
					44° I	84° r	
					55° D	82° r	
0,0150					63° D	81° r	
					43° D	85° a	
					72° D	78° r	
					25° I	83° r	
0,0180	N	32° I	83° r		46° D	80° r	
					42° I	78° r	
					51° D	88° a	
					19° I	83° r	
					57° D	75° r	
					54° D	80° r	
					50° I	90°	
					66° I	88° a	
					89° I	75° r	
					75° D	70° r	
					73° D	85° r	
					21° I	87° r	
					42° D	79° r	
					32° I	90°	
					46° D	90°	
					38° D	74° r	
0,0268	N	33° I	81° r				

PK	DS	Dirección	Buzamiento	D	Dirección	Buzamiento	OBSERVACIONES
0,0300					42° D	85° r	
					30° I	76° r	
					47° D	88° a	
					34° I	79° r	
0,0340	I	66° D	65° a				
					26° I	85° r	
					43° D	77° r	
					58° D	83° a	
0,0355	I	58° D	63° a				
					65° D	81° a	
					35° I	77° r	
					34° I	85° r	
					26° D	87° a	
					13° I	73° r	
					36° I	83° r	
					49° D	75° r	
					31° I	85° r	
0,0430	N	78° D	61° a				
					32° I	83° r	
					32° I	81° r	
					27° I	78° r	
0,0450					33° I	84° r	
					33° I	84° r	
					28° I	77° r	
					78° D	76° a	
					70° D	80° r	
					30° I	86° r	
0,0460	I	68° D	76° r				
					63° D	87° a	
					63° D	88° a	
					18° I	83° r	
					67° D	88° r	
					47° I	78° r	
					53° I	87° r	
					78° D	75° a	

PK	DS	Dirección	Buzamiento	D	Dirección	Buzamiento	OBSERVACIONES
					37° I	82° r	
					30° D	88° a	
					43° I	82° r	
					53° D	81° r	
					51° D	89° a	
					42° I	72° r	
0,0000					76° I	84° a	Soutirage T-5-2 frente avance Dir.
					88° I	72° a	Día 24-II-80
					40° I	83° a	
					34° I	73° a	
					33° I	79° a	
0,0020		46° I	84° a				
					38° I	82° a	
					38° I	82° a	
					44° I	95° a	
					34° I	81° a	
					76° D	84° r	
					47° D	82° r	
					68° D	72° r	
					52° D	65° r	
					34° I	81° a	
					54° D	75° r	
					38° I	88° a	
0,0120	N	32° I	60° a				
					38° I	90°	
					21° I	87° a	
0,0130	I	31° I	90°				
					41° D	72° r	
0,0150							Dir. y buz. capa 13° D 7° a
					75° D	68° r	
					35° I	78° a	
					34° I	83° a	
					42° D	72° r	
					43° D	85° a	
0,0180	I	32° I	76° r		21° I	82° a	

PK	DS	Dirección	Buzamiento	D	Dirección	Buzamiento	OBSERVACIONES
					28° I	78° a	
					34° D	65° a	
					32° I	81° a	
					37° D	88° r	
					28° I	84° a	
					45° I	80° a	
					39° I	75° a	
					28° I	78° a	
					40° I	70° a	
					30° D	80° r	
					45° I	80° a	
					62° D	78° a	
					30° I	83° a	
0,0300					21° I	86° a	
					73° D	90°	
					72° D	83° r	
					42° I	87° r	
					50° I	85° a	
0,0330	N	34° I	79° a		44° I	89° a	
					73° D	88° r	
					25° I	82° a	
					68° D	83° r	
					55° I	87° a	
0,0000					60° I	73° a	Soutirage T-S-2 Dia 12-XI-80
					56° I	89° a	
					81° D	86° a	
					60° I	53° a	
0,0010	N	38° D	57° a				
					53° I	89° r	
					41° I	82° a	
					49° I	86° a	
					36° I	86° a	
					35° D	67° r	
					85° D	81° a	
					50° I	88° a	

PK	DS	Dirección	Buzamiento	D	Dirección	Buzamiento	OBSERVACIONES
					6° I	63° a	
					46° I	63° a	
					6° I	63° a	
					30° I	85° a	
					71° D	83° a	
					68° D	81° r	
					38° I	82° a	
					37° D	90°	Nivel cabeza N-8-2/53 hacia R-53 hastial dcho
					33° D	82° a	
					12° I	87° a	
					43° D	88° a	
					33° D	81° r	
					22° I	78° a	
					57° D	90°	
					45° D	86° r	
					36° D	90°	
					70° I	88° r	
					46° D	82° r	
					84° D	86° a	
					87° D	89° r	
					43° D	90°	
					55° D	86° a	
					46° D	90°	
					75° D	38° a	
					44° D	84° a	
					5° I	84° a	
0,0150							hastial izdo.
0,0150	I	68° I	85° a				
					33° D	88° r	
					52° I	80° a	
					44° D	78° r	
					34° D	30° a	
0,0170	N	42° D	85° a				
					42° D	88° a	
					52° I	85° r	



A N E X O II

REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE LAS MEDIDAS EN  
EL INTERIOR DE LA MINA

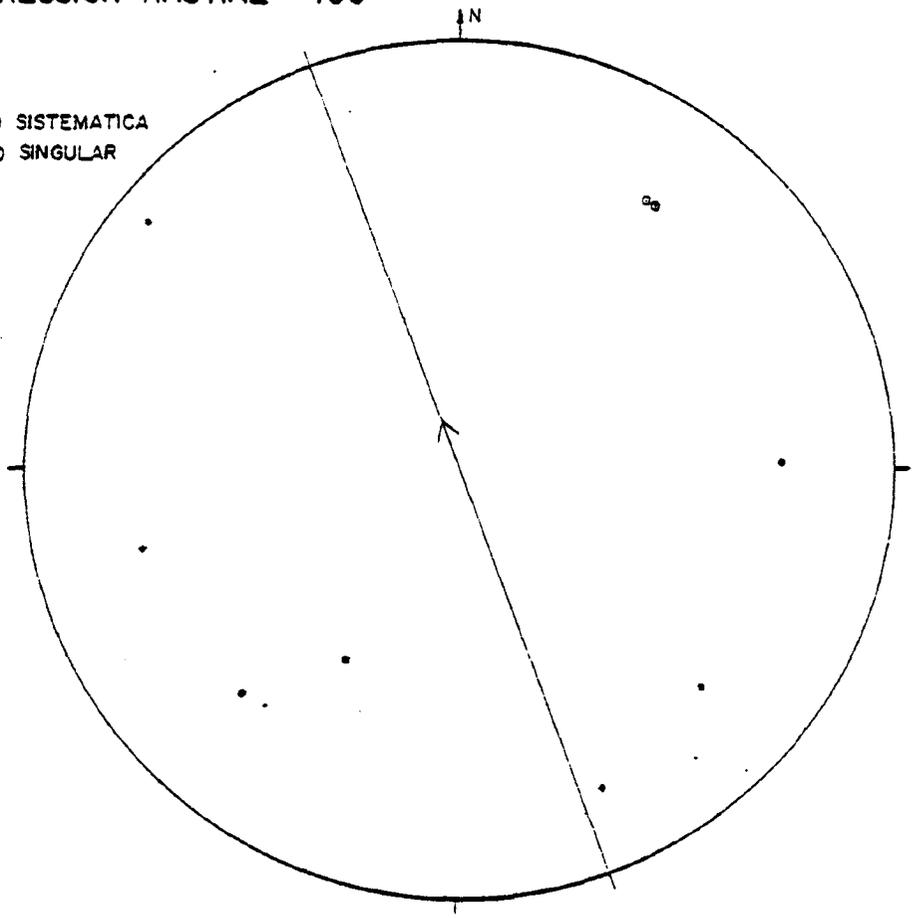
---

A.- REPRESENTACION DE DISCONTINUIDADES POR ESTACIONES

G.G. - 6° DIRECCION HASTIAL - 160°

E-1

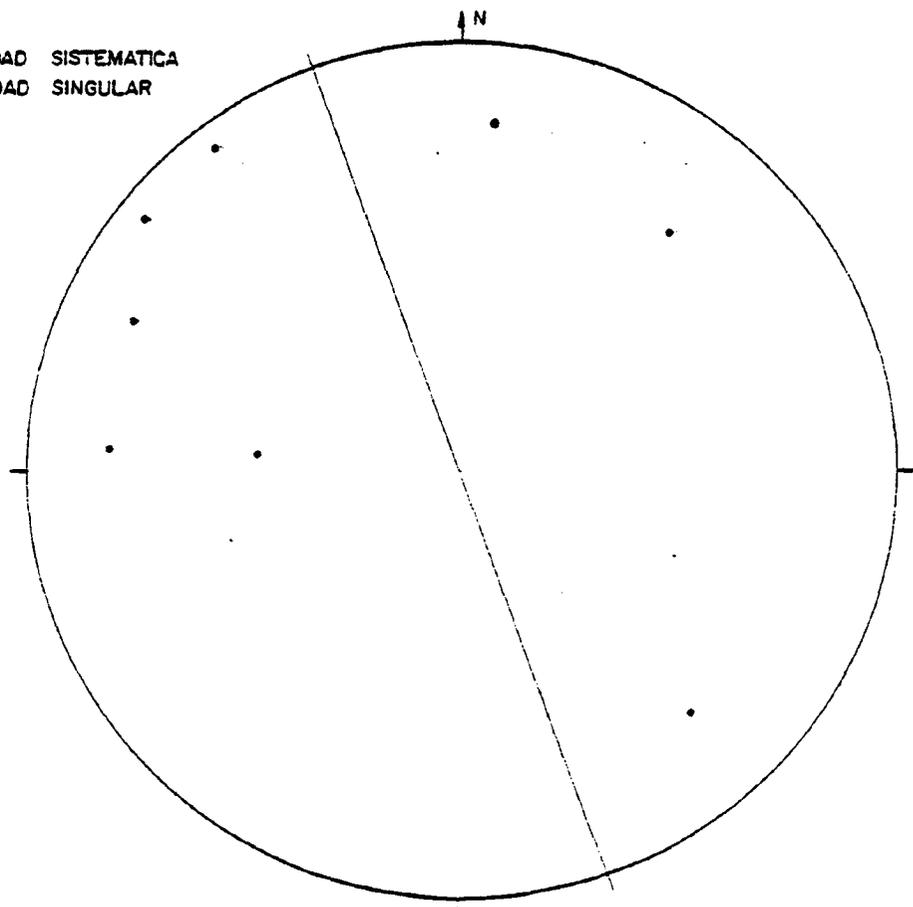
- DISCONTINUIDAD SISTEMATICA
- DISCONTINUIDAD SINGULAR



G.G.-6 DIRECCION HASTIAL - 160°

E-2

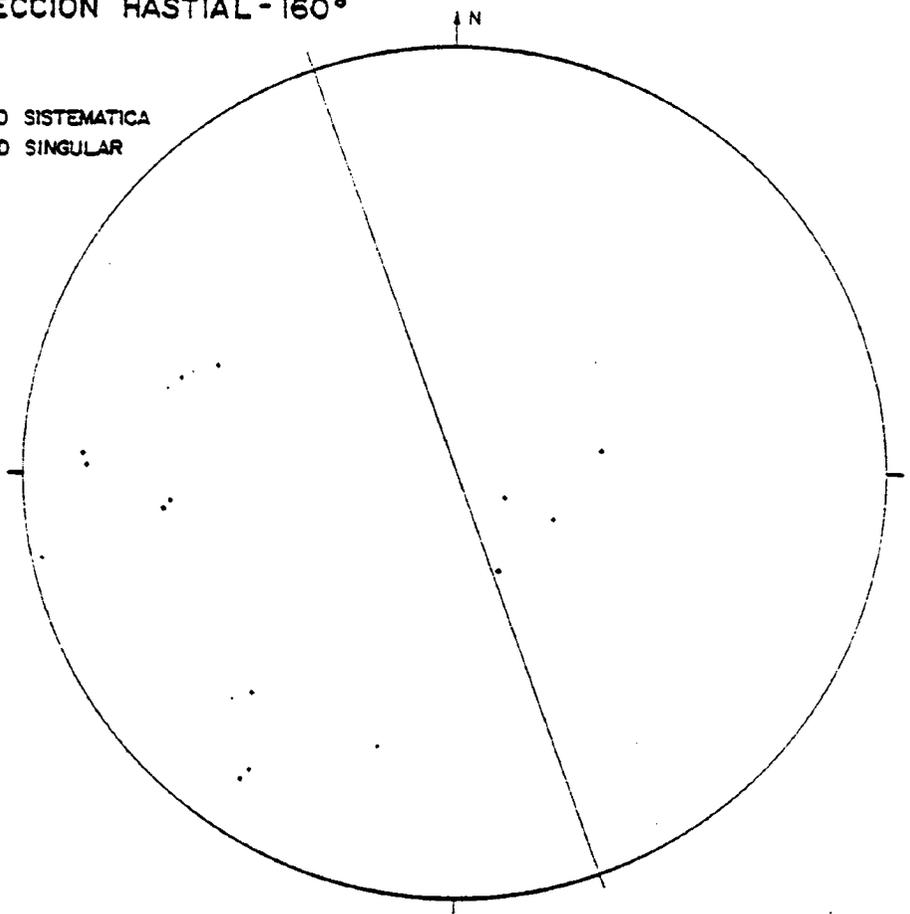
- DISCONTINUIDAD SISTEMATICA
- DISCONTINUIDAD SINGULAR



G.G. - 6ª DIRECCION HASTIAL - 160°

E-3

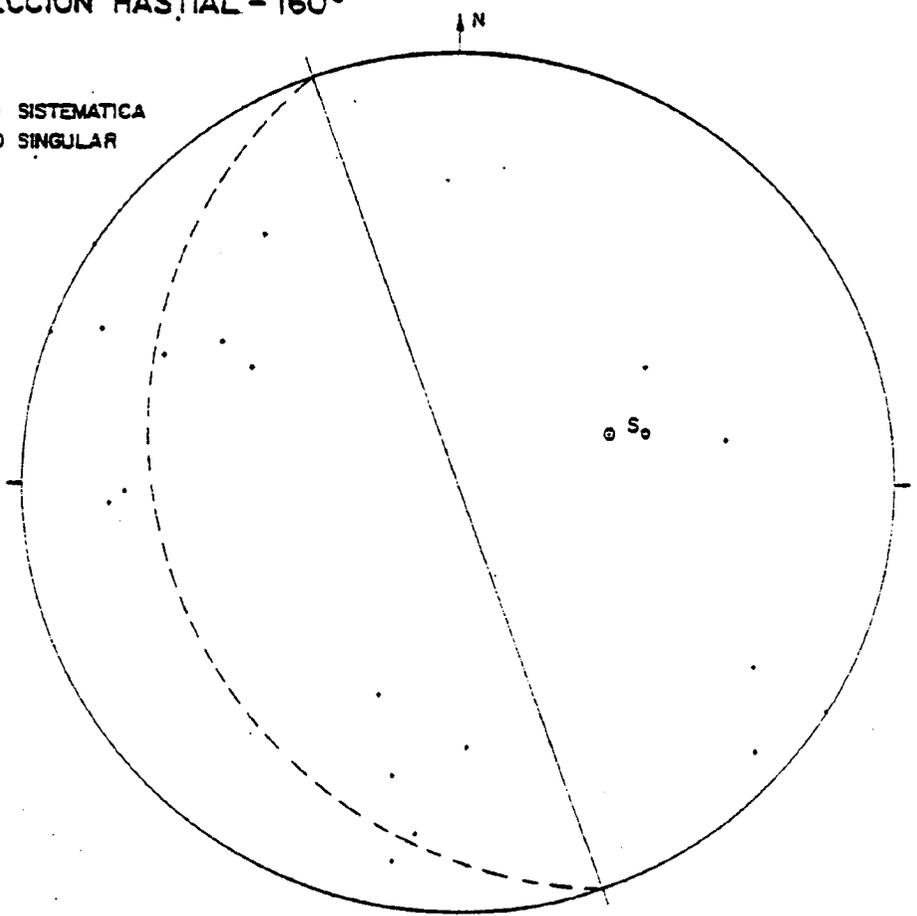
- DISCONTINUIDAD SISTEMATICA
- ◉ DISCONTINUIDAD SINGULAR



G.G. - 6ª DIRECCION HASTIAL - 160°

E-4

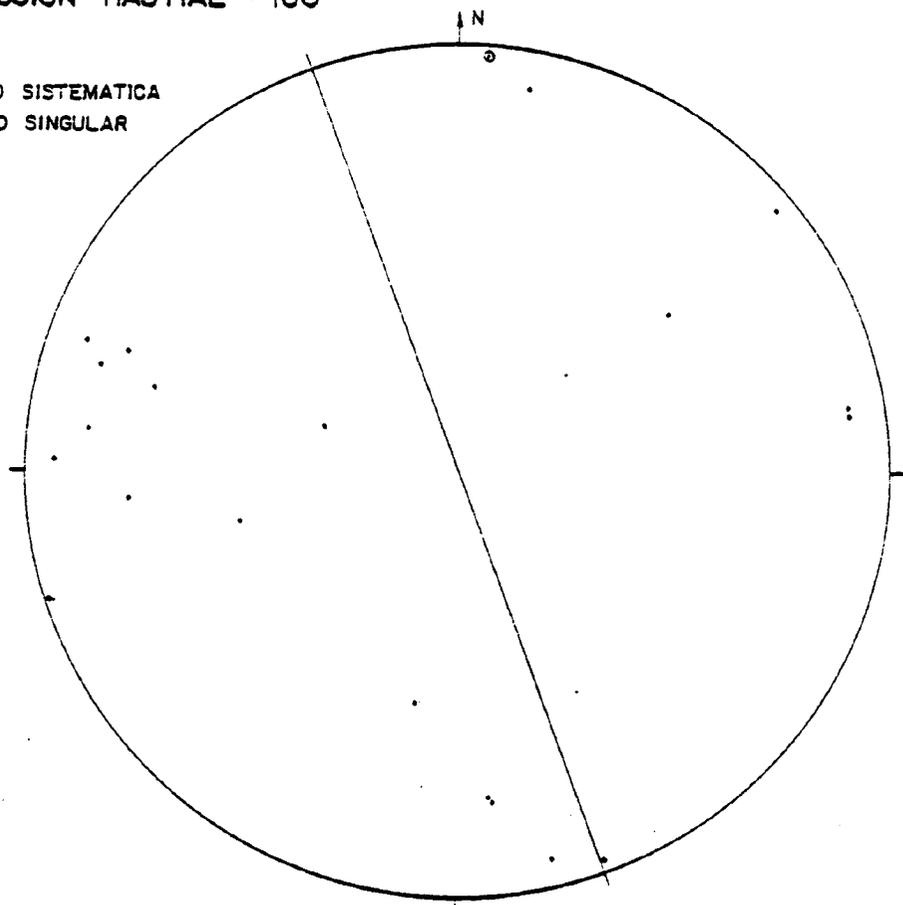
- DISCONTINUIDAD SISTEMATICA
- ◉ DISCONTINUIDAD SINGULAR



G.G. - 6º DIRECCION HASTIAL - 160º

E-5

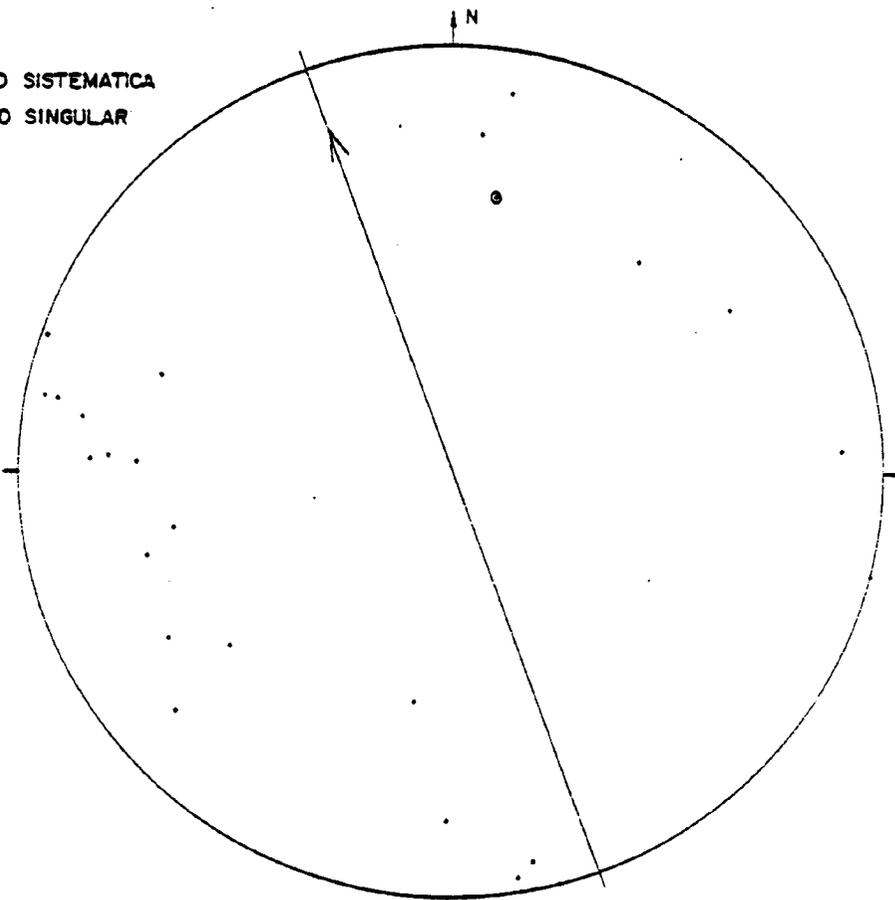
- DISCONTINUIDAD SISTEMATICA
- ⊙ DISCONTINUIDAD SINGULAR



G.G. - 6º DIRECCION HASTIAL - 160º

E-6

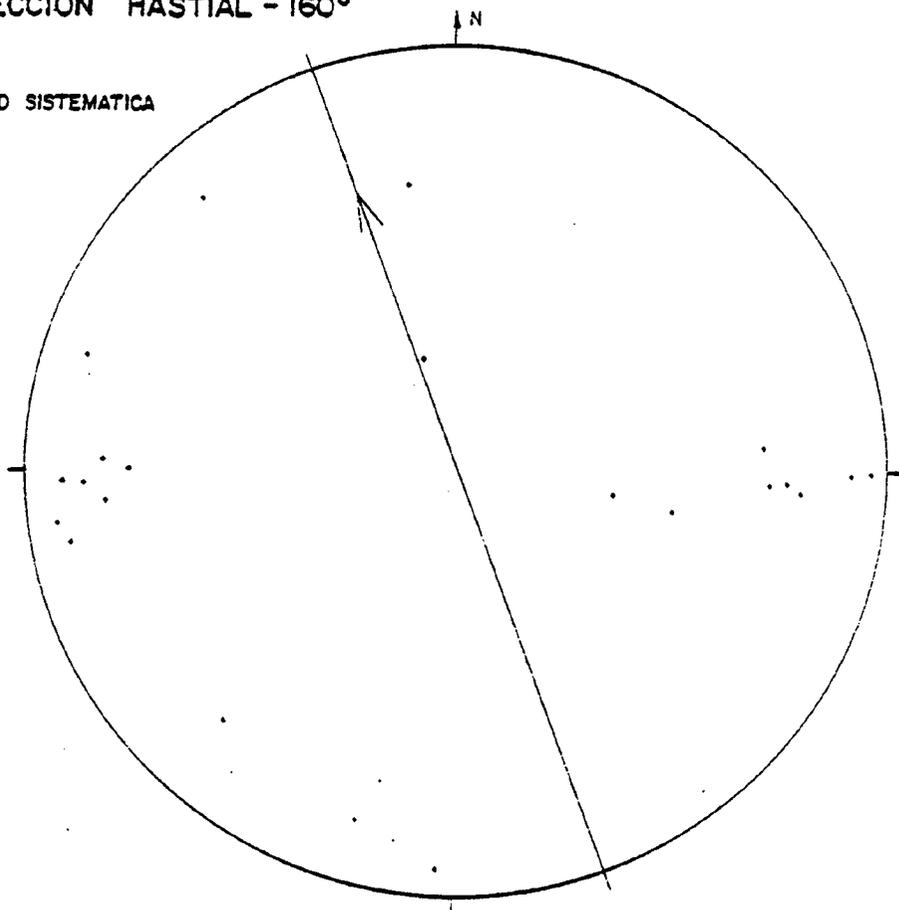
- DISCONTINUIDAD SISTEMATICA
- ⊙ DISCONTINUIDAD SINGULAR



G.G. - 6° DIRECCION HASTIAL - 160°

E-7

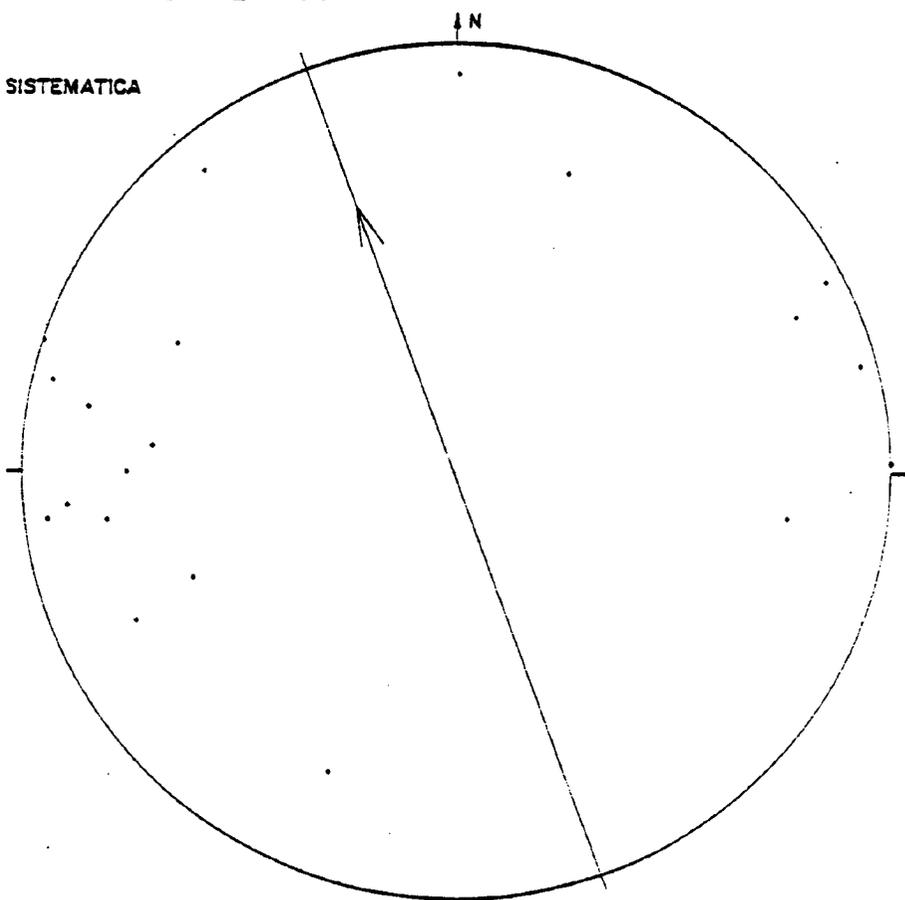
• DISCONTINUIDAD SISTEMATICA



G.G. - 6° DIRECCION HASTIAL - 160°

E-8

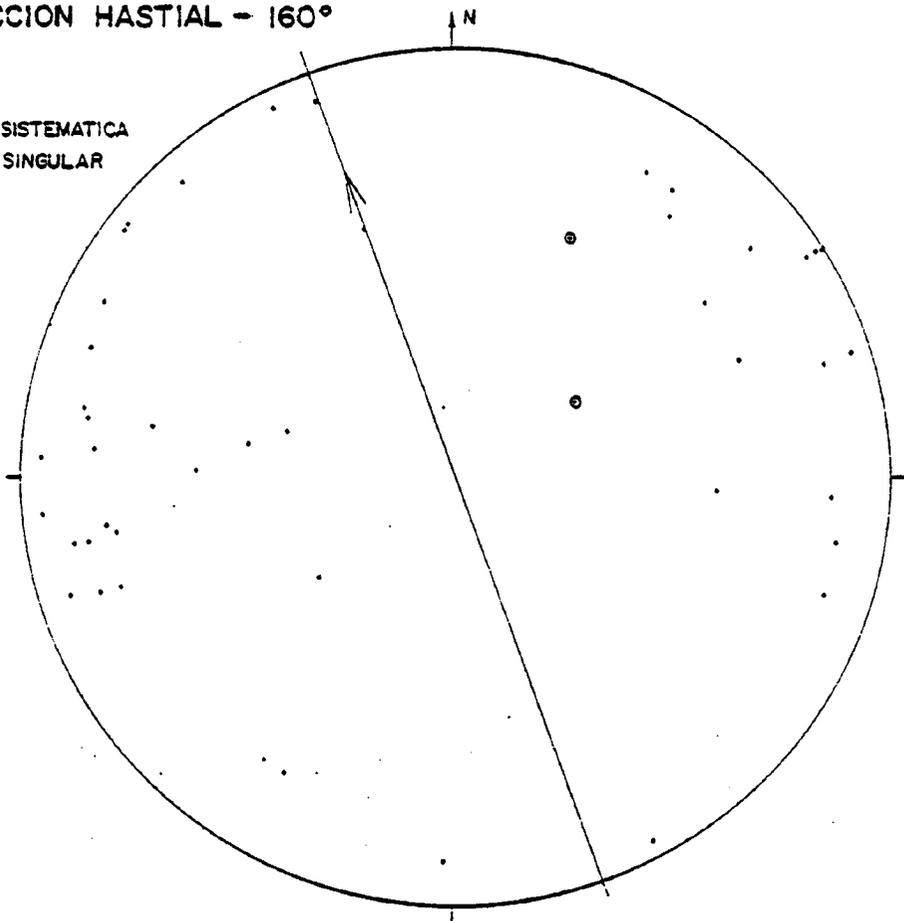
• DISCONTINUIDAD SISTEMATICA



G.G. - 6<sup>a</sup> DIRECCION HASTIAL - 160°

E - 9 - 10

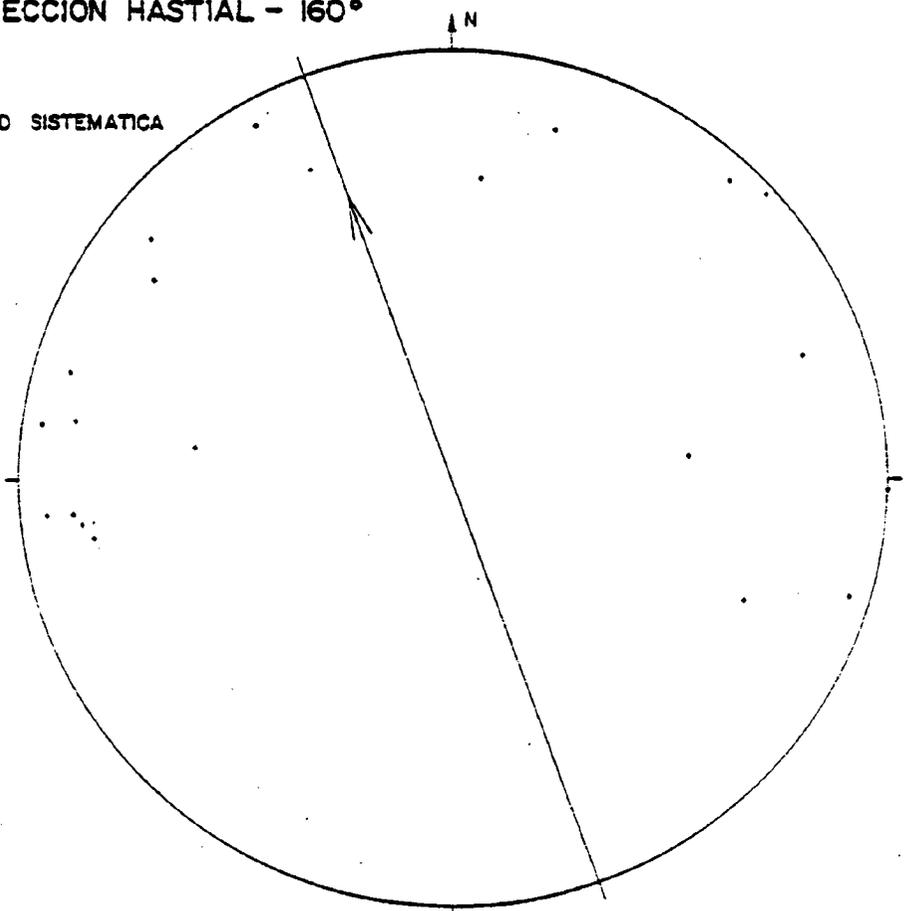
- DISCONTINUIDAD SISTEMATICA
- ⊙ DISCONTINUIDAD SINGULAR



G.G. - 6<sup>a</sup> DIRECCION HASTIAL - 160°

E - 11

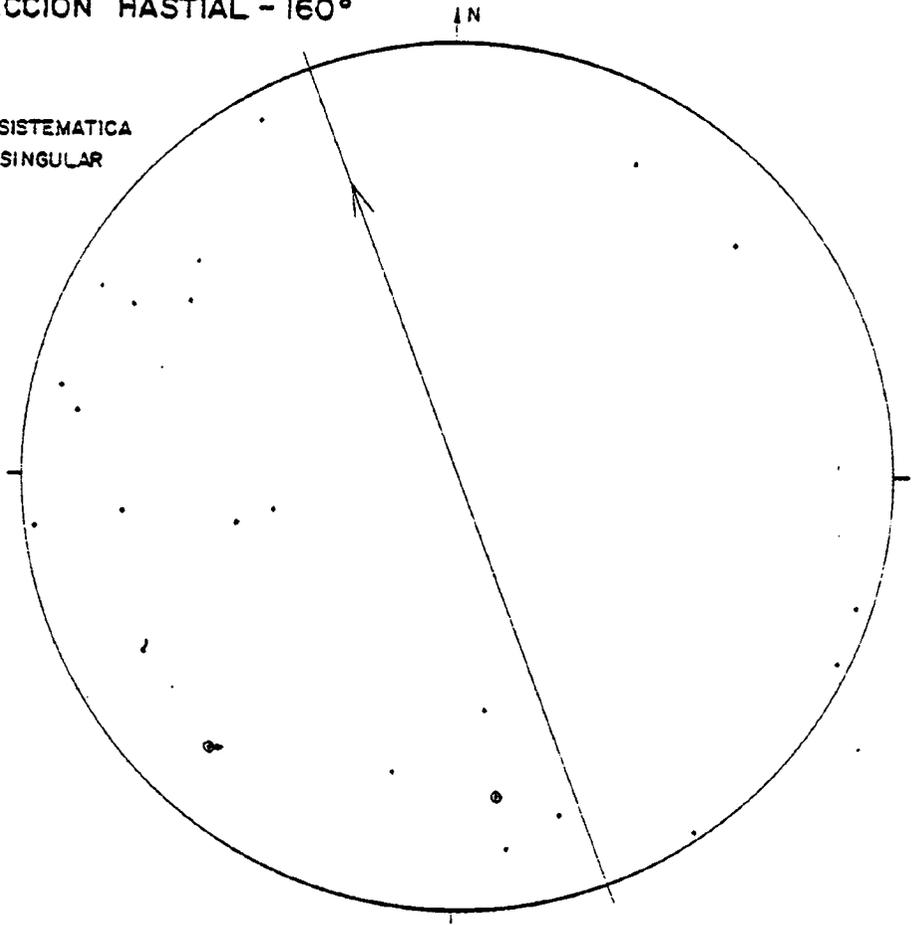
- DISCONTINUIDAD SISTEMATICA



G.G. - 6° DIRECCION HASTIAL - 160°

E-12

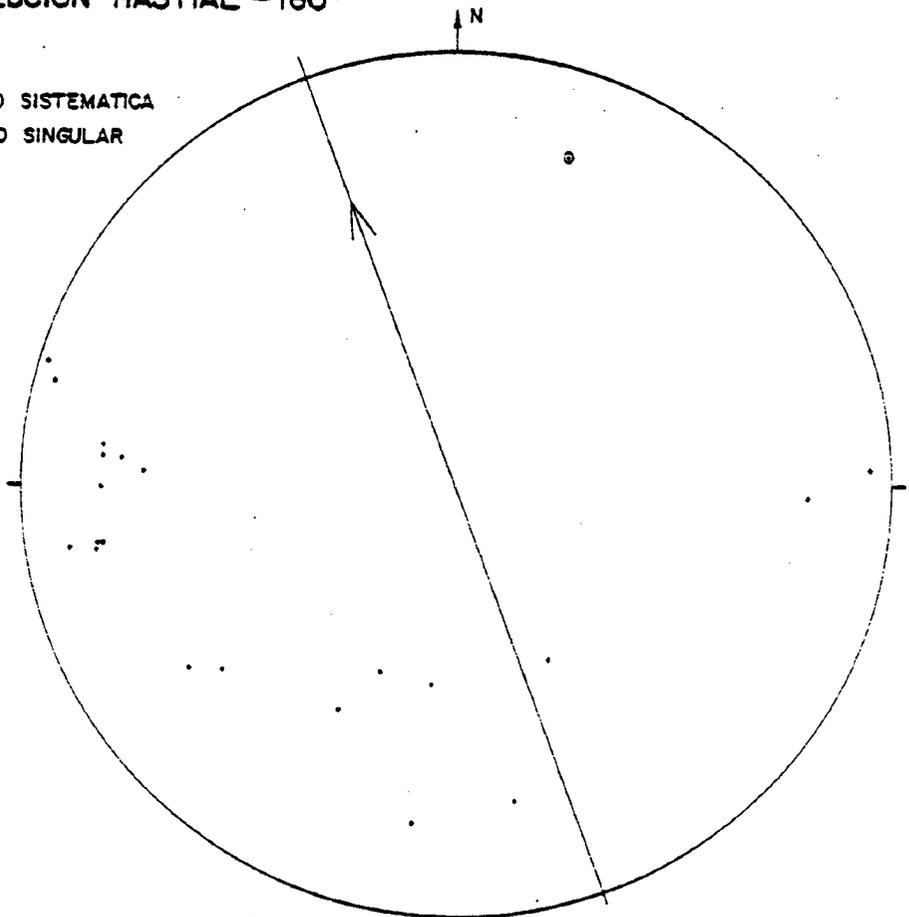
- DISCONTINUIDAD SISTEMATICA
- ◉ DISCONTINUIDAD SINGULAR



G.G. - 6° DIRECCION HASTIAL - 160°

E-13

- DISCONTINUIDAD SISTEMATICA
- ◉ DISCONTINUIDAD SINGULAR



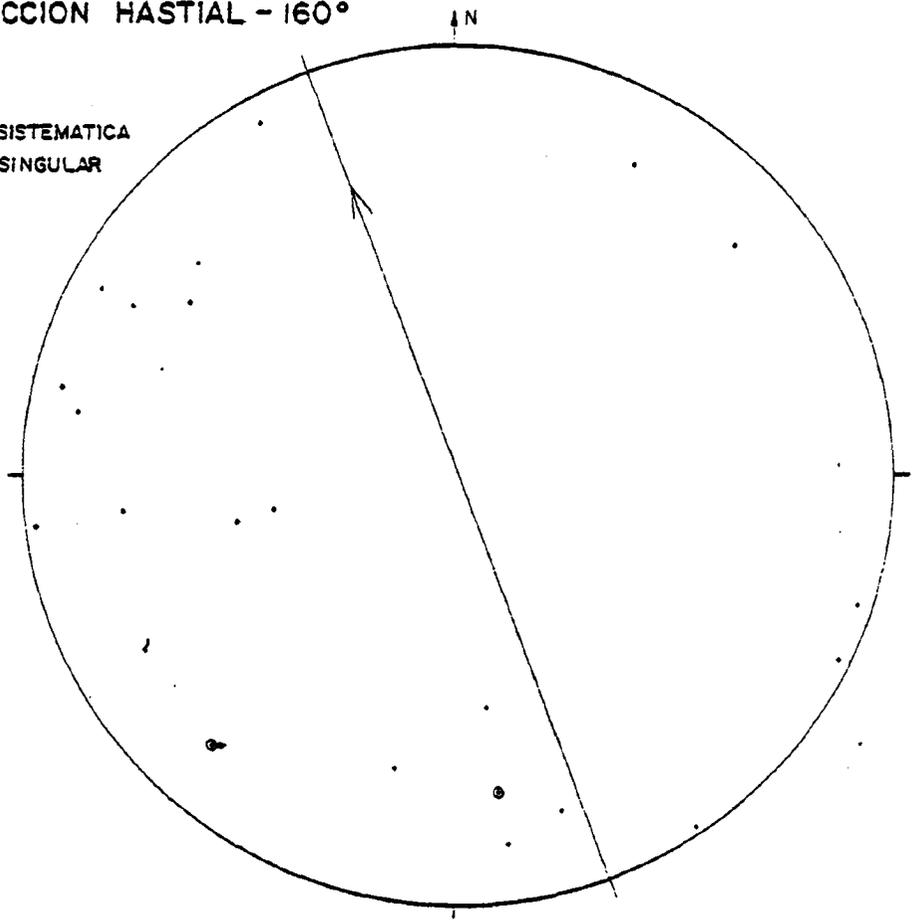
- 160 -

- 161 -

G.G. - 6° DIRECCION HASTIAL - 160°

E-12

- DISCONTINUIDAD SISTEMATICA
- ◉ DISCONTINUIDAD SINGULAR



G.G. - 6° DIRECCION HASTIAL - 160°

E-13

- DISCONTINUIDAD SISTEMATICA
- ◉ DISCONTINUIDAD SINGULAR

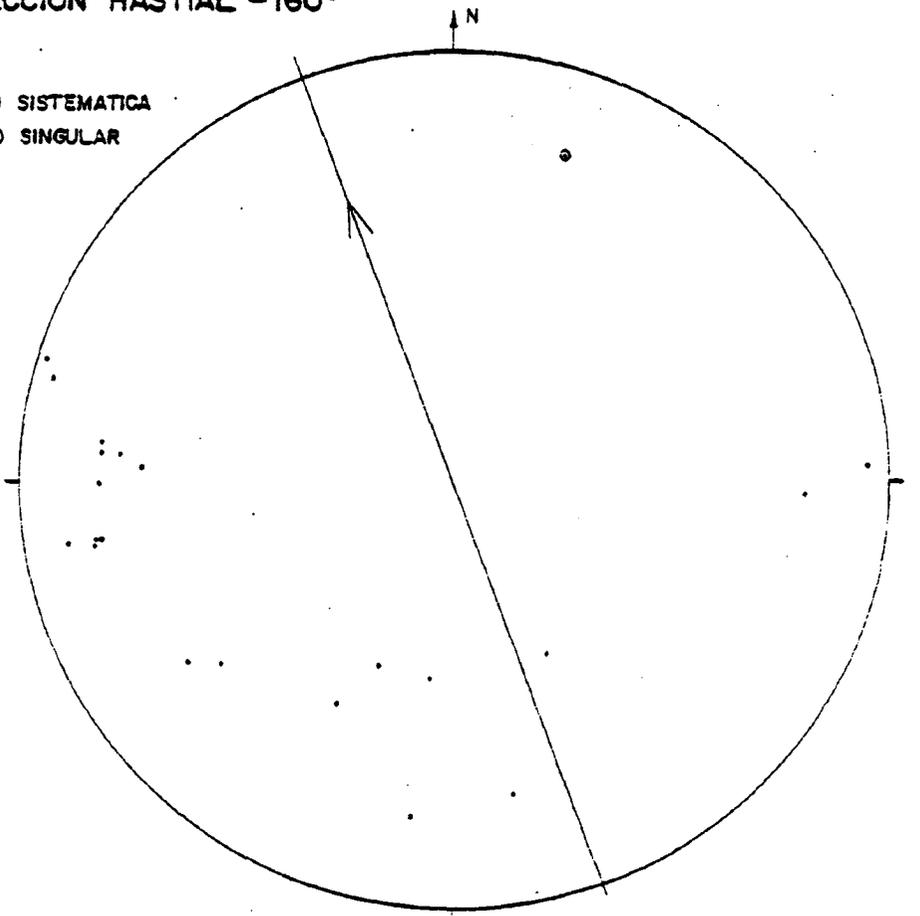
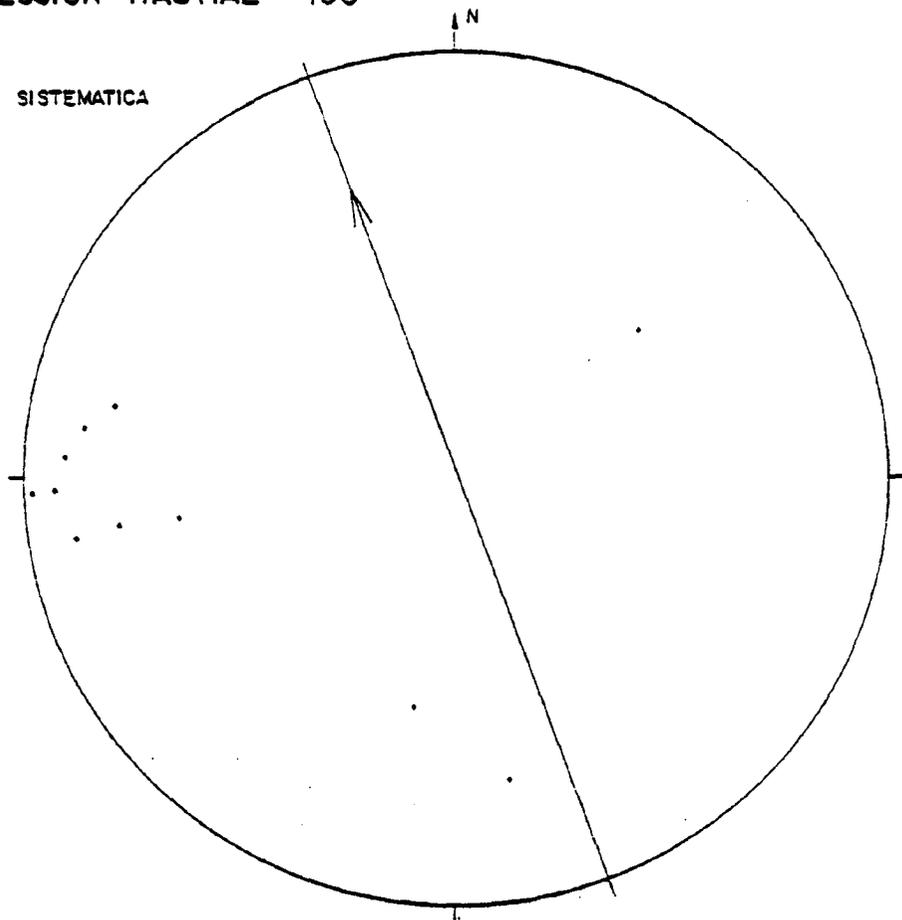


FIG. - 6° DIRECCION HASTIAL - 160°

E - 14

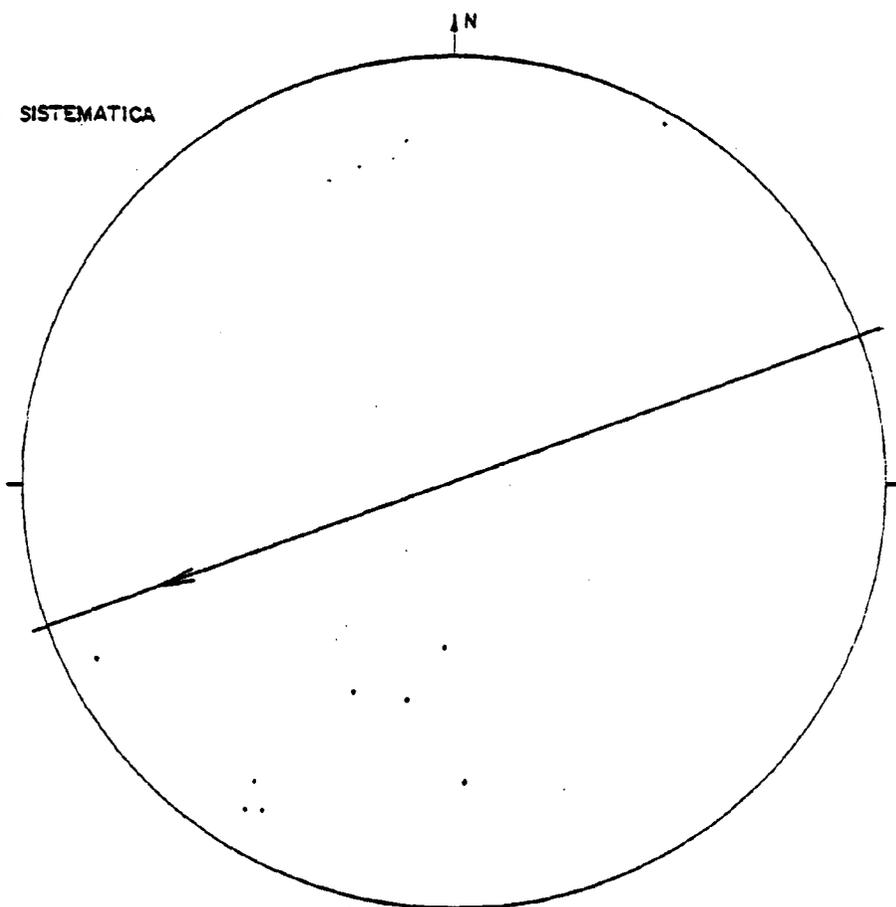
• DISCONTINUIDAD SISTEMATICA



R - 63

E - 15

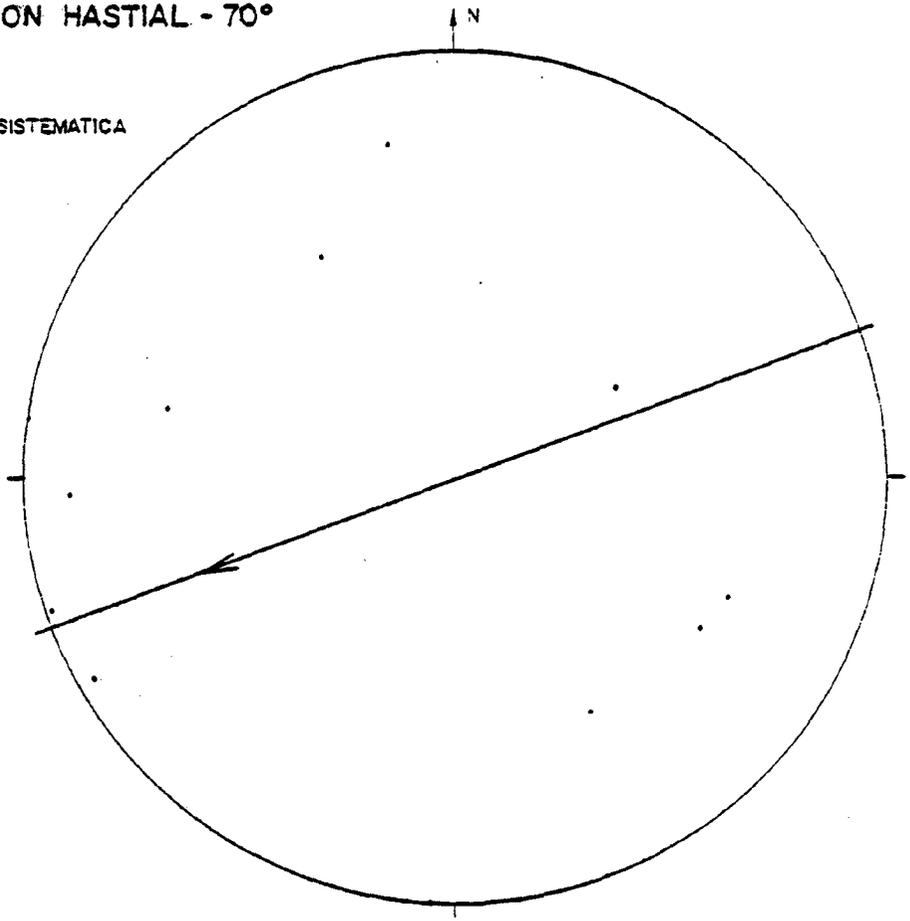
• DISCONTINUIDAD SISTEMATICA



R-63 DIRECCION HASTIAL - 70°

E-16

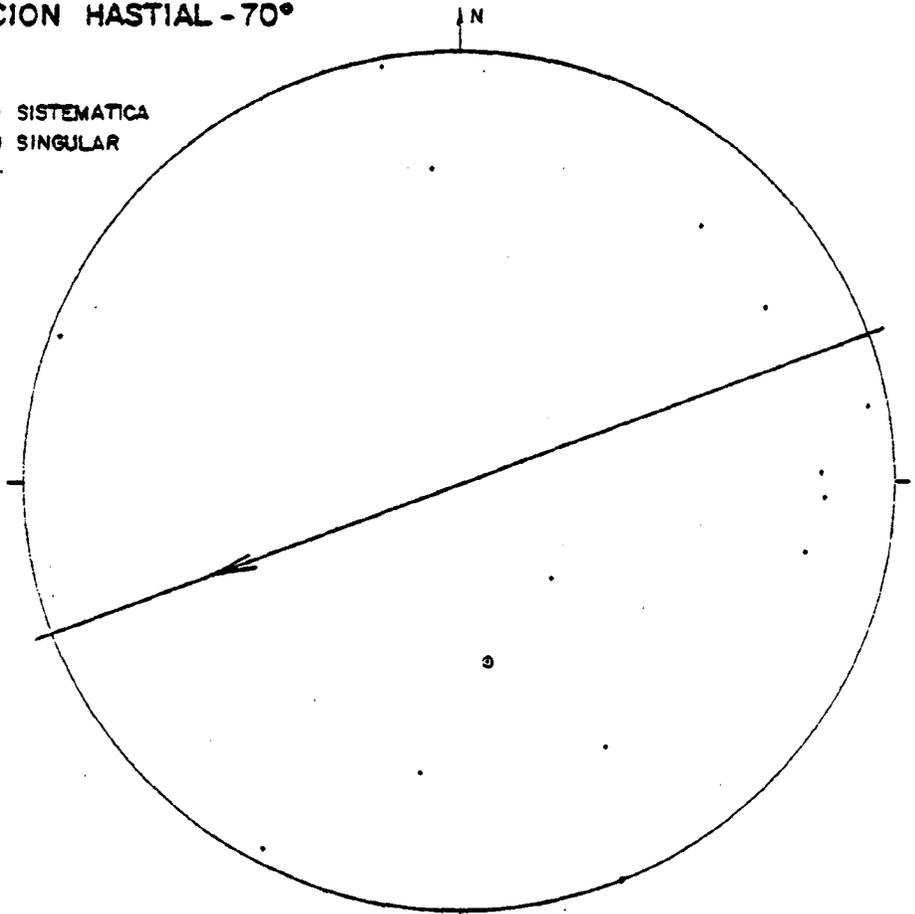
• DISCONTINUIDAD SISTEMATICA



R-63 DIRECCION HASTIAL - 70°

E-17

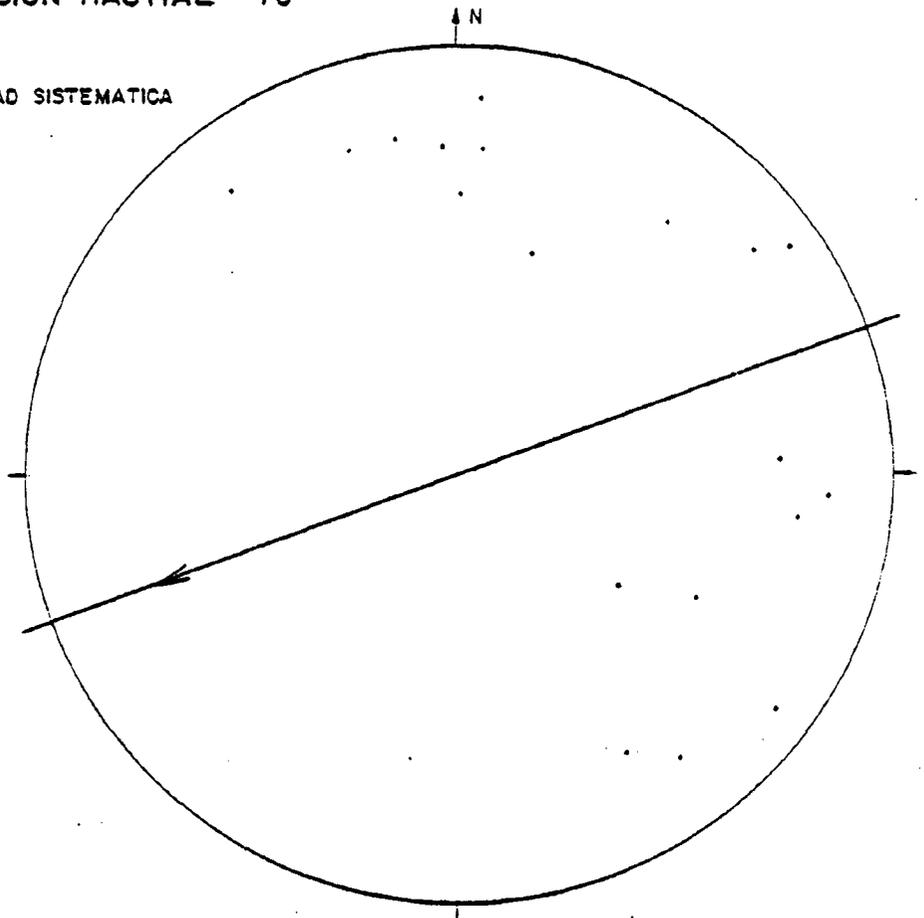
• DISCONTINUIDAD SISTEMATICA  
◉ DISCONTINUIDAD SINGULAR



R-63 DIRECCION HASTIAL - 70°

E-18

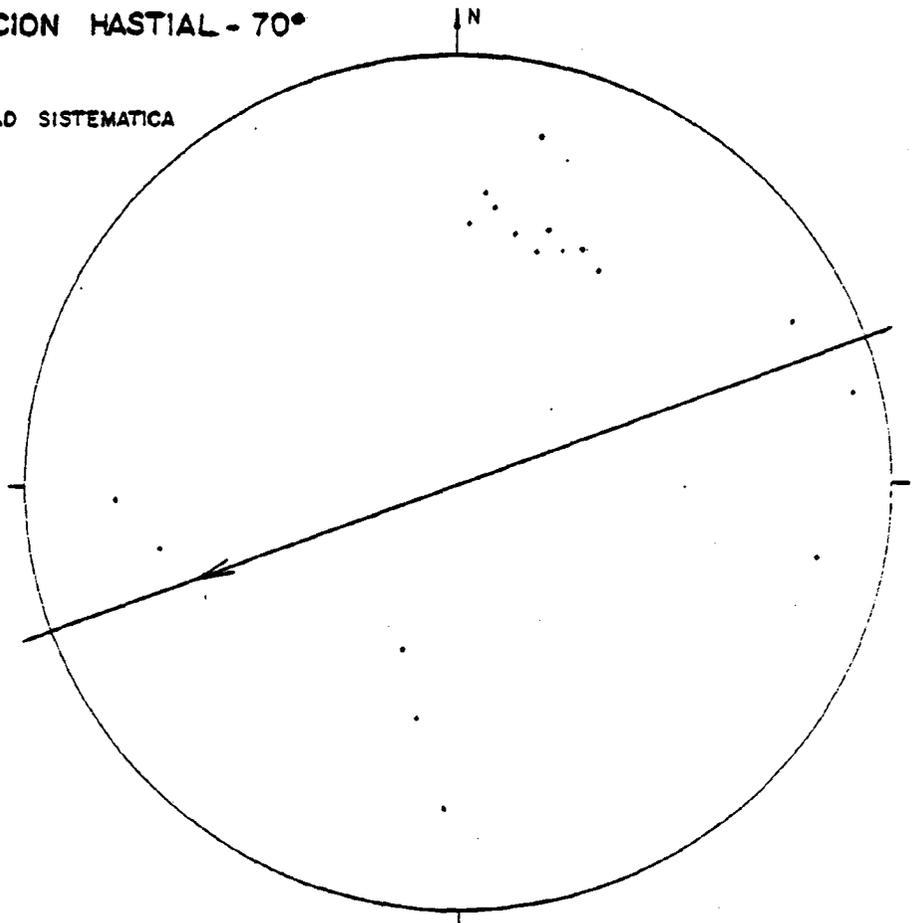
• DISCONTINUIDAD SISTEMATICA



R-63 DIRECCION HASTIAL - 70°

E-19

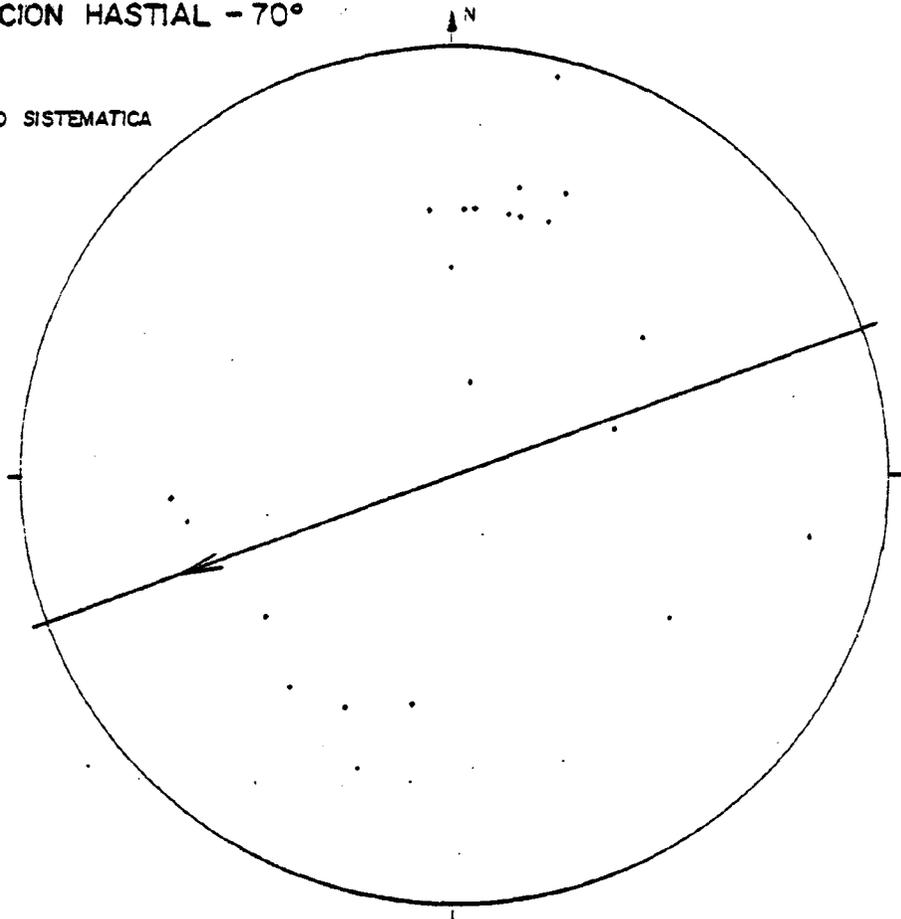
• DISCONTINUIDAD SISTEMATICA



R-63 DIRECCION HASTIAL -70°

E-20

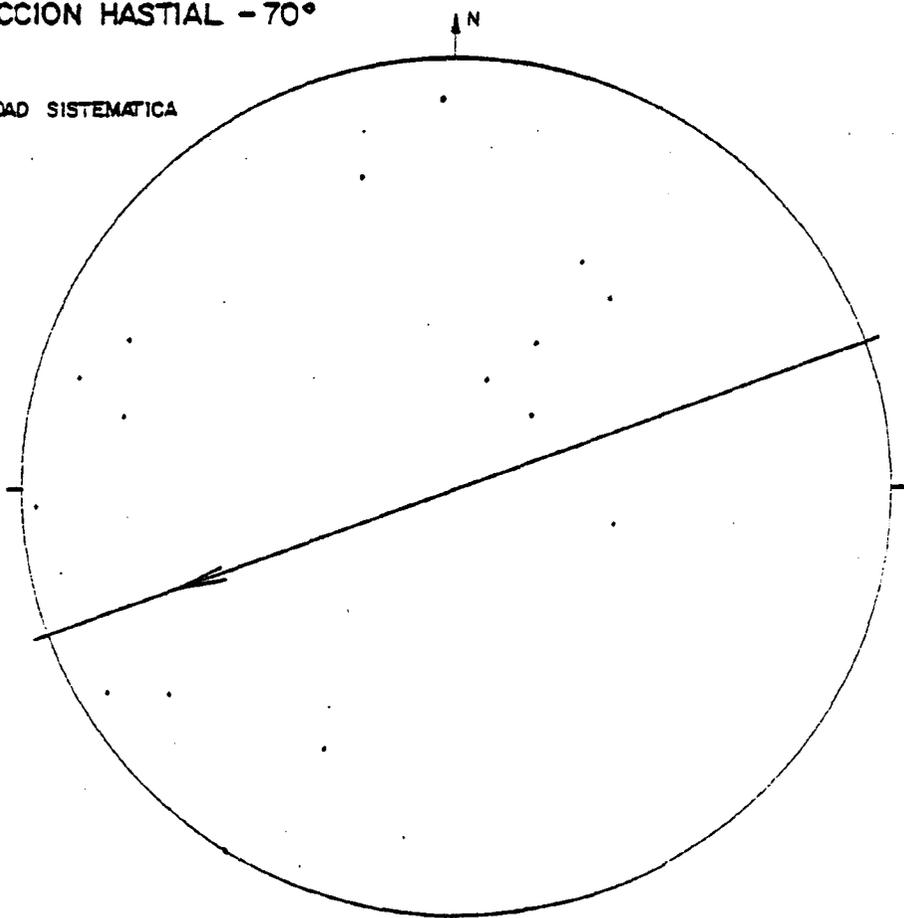
• DISCONTINUIDAD SISTEMATICA



R-63 DIRECCION HASTIAL -70°

E-21

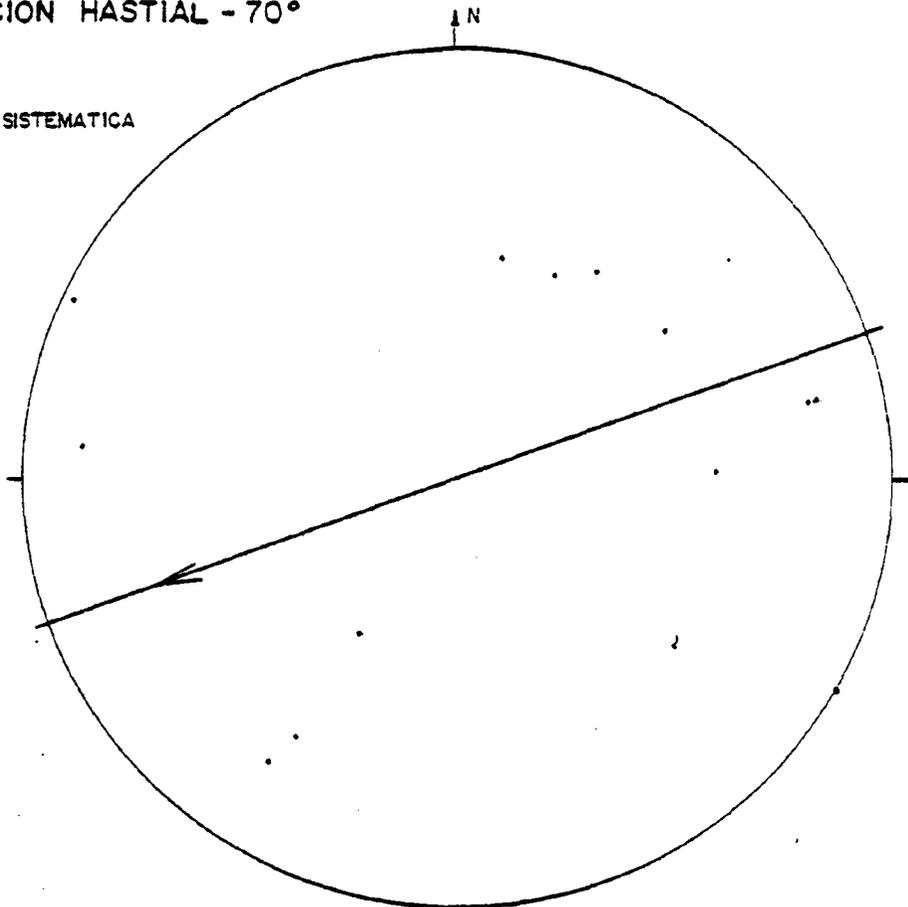
• DISCONTINUIDAD SISTEMATICA



R-63 DIRECCION HASTIAL - 70°

E-22

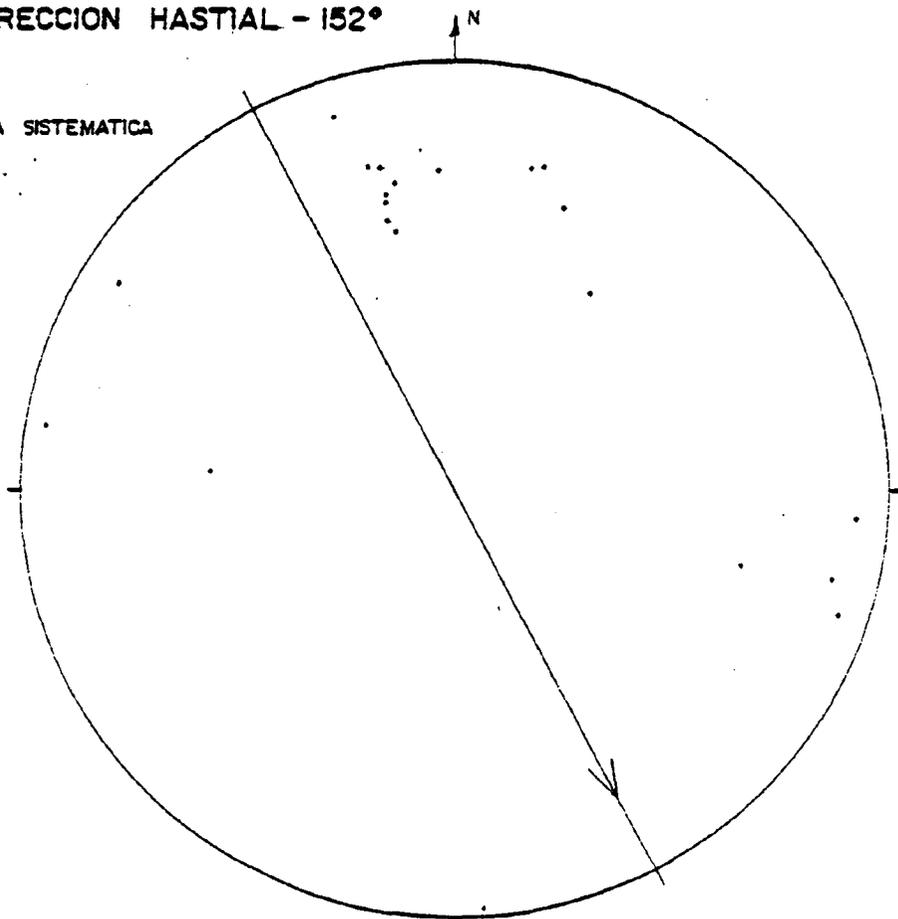
• DISCONTINUIDAD SISTEMATICA



N-S-2163 DIRECCION HASTIAL - 152°

E-23

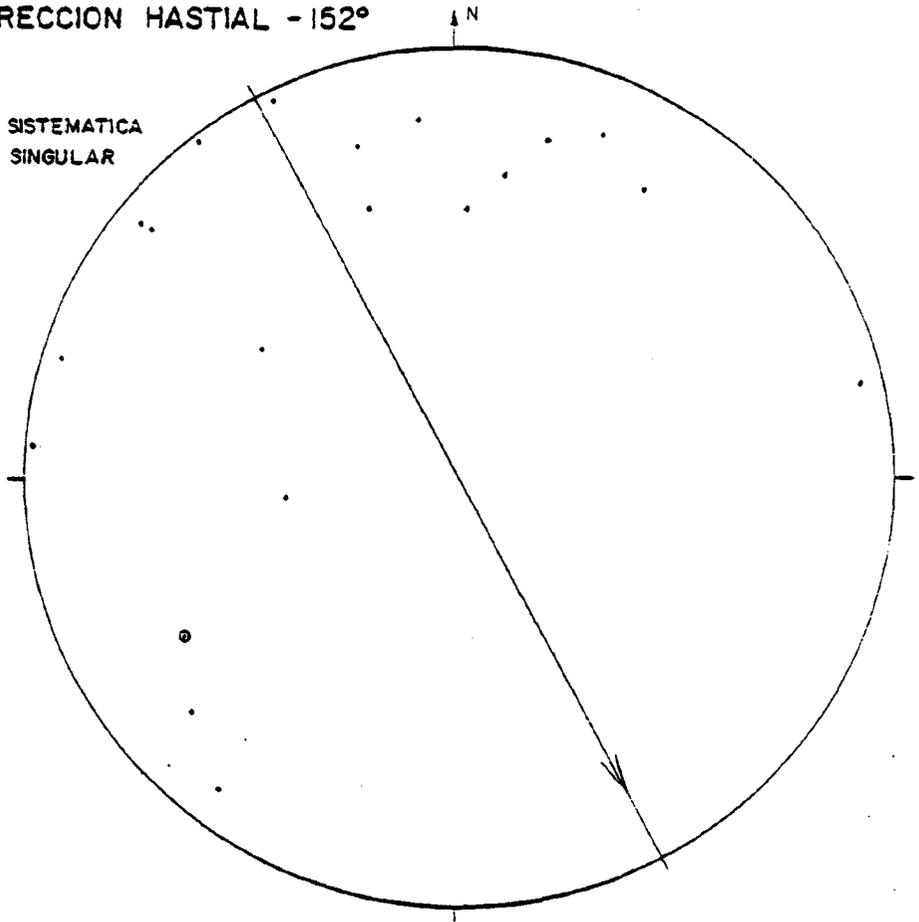
• DISCONTINUIDA SISTEMATICA



N-S-2/63 DIRECCION HASTIAL - 152°

E-24

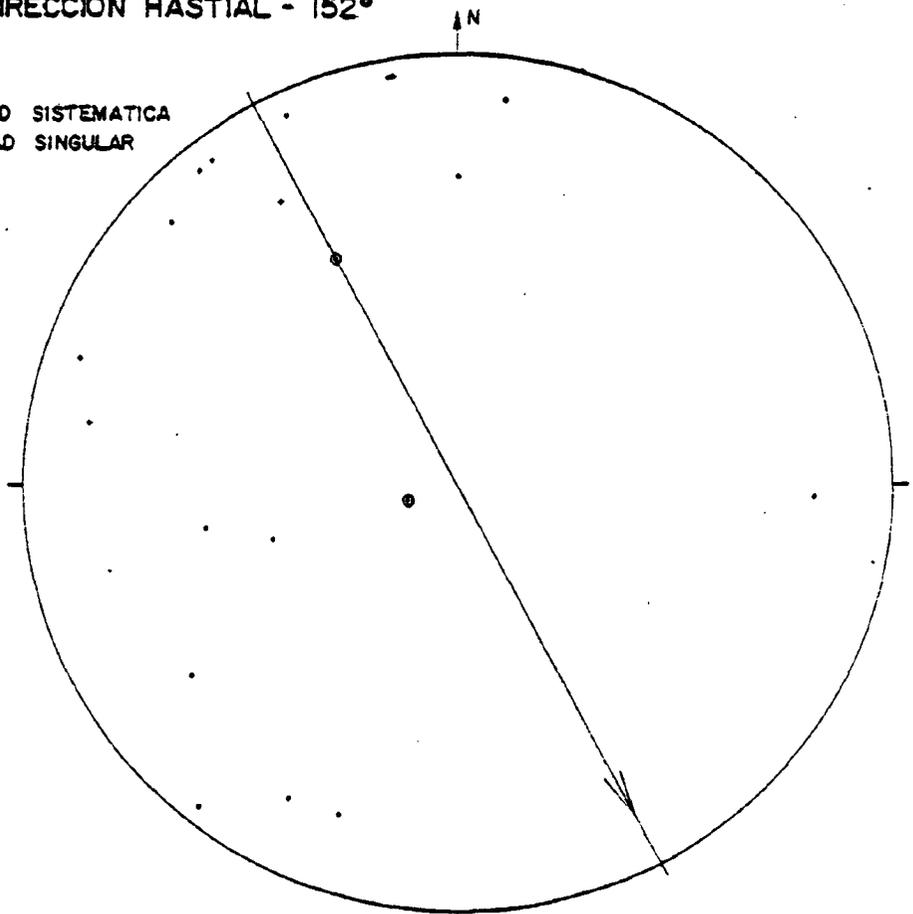
- DISCONTINUIDAD SISTEMATICA
- ⊙ DISCONTINUIDAD SINGULAR



N-S-2/63 DIRECCION HASTIAL - 152°

E-25

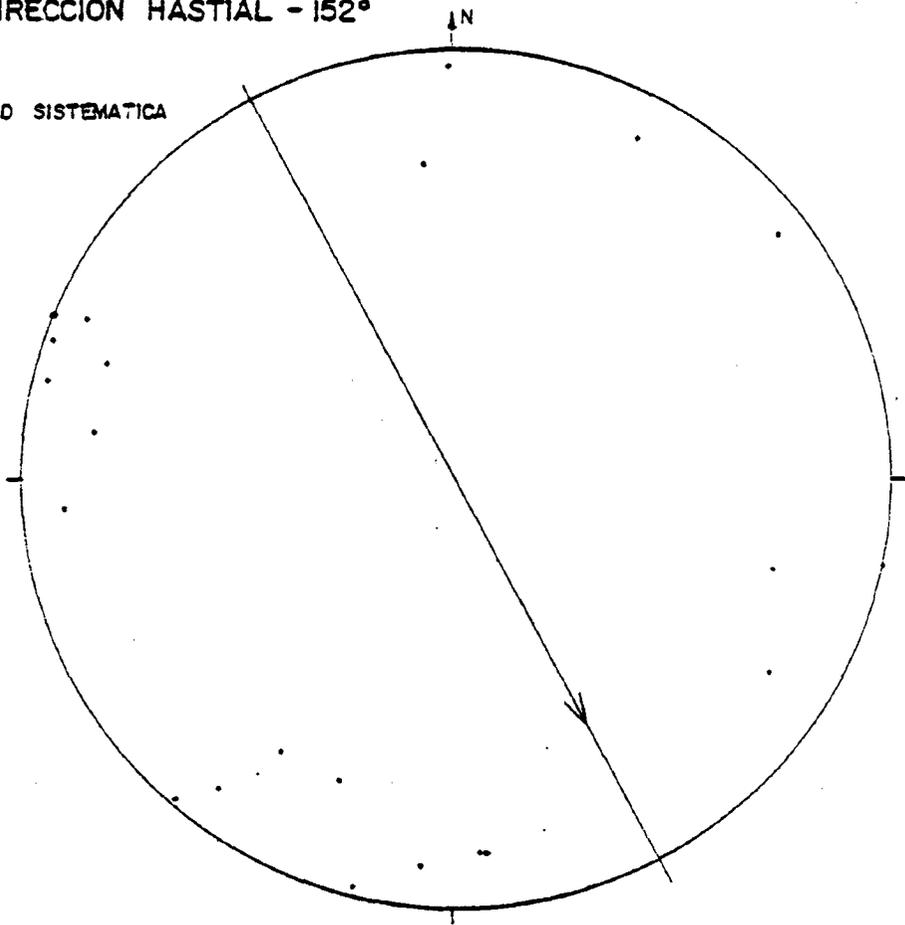
- DISCONTINUIDAD SISTEMATICA
- ⊙ DISCONTINUIDAD SINGULAR



N-S-2/63 DIRECCION HASTIAL - 152°

E-26

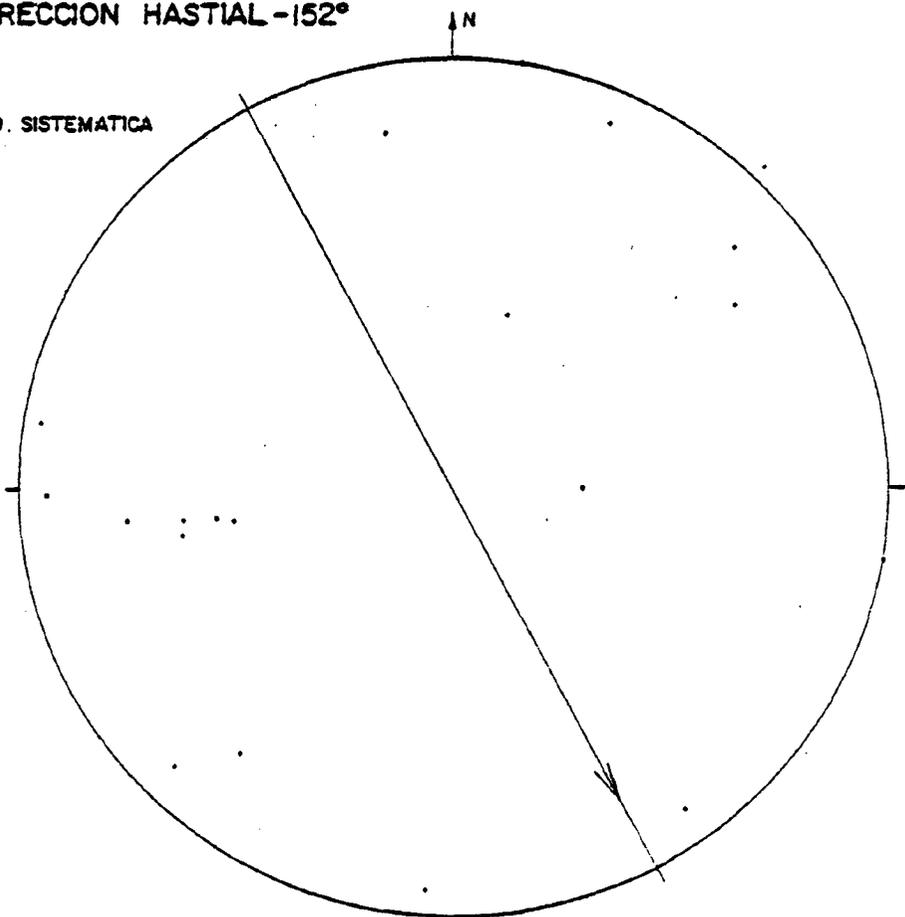
• DISCONTINUIDAD SISTEMATICA



N-S-2/63 DIRECCION HASTIAL - 152°

E-27

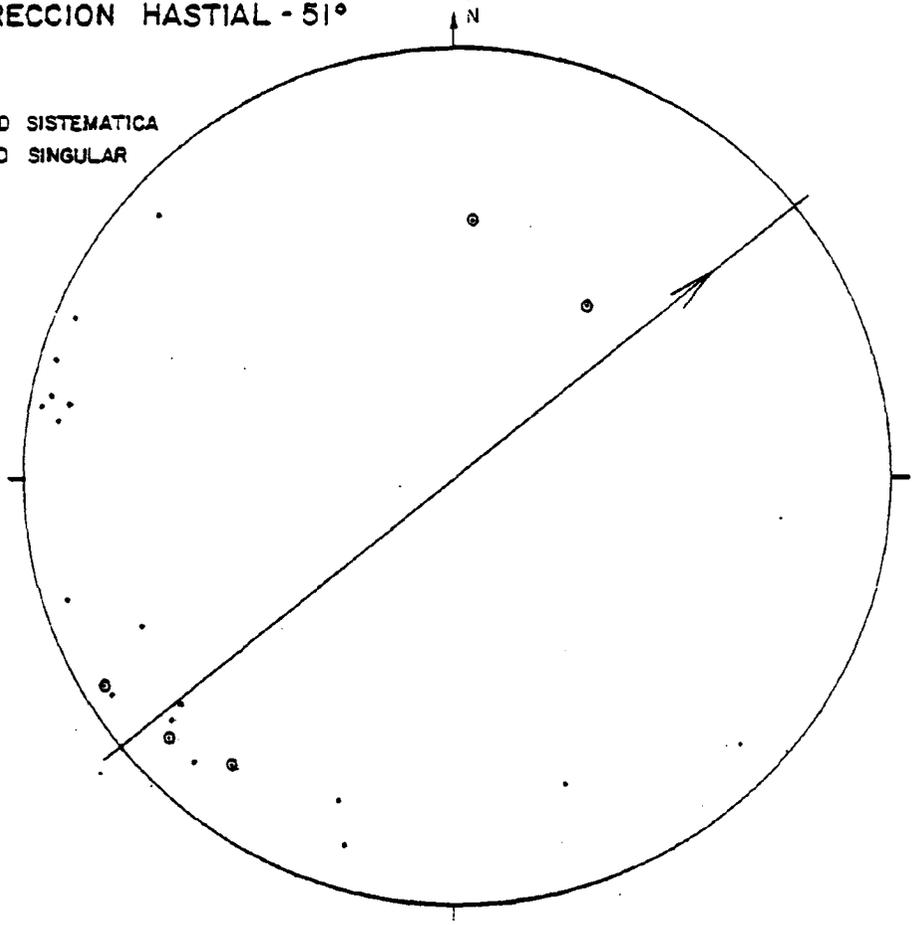
• DISCONTINUIDAD SISTEMATICA



P-S-2/P DIRECCION HASTIAL - 51°

E-28

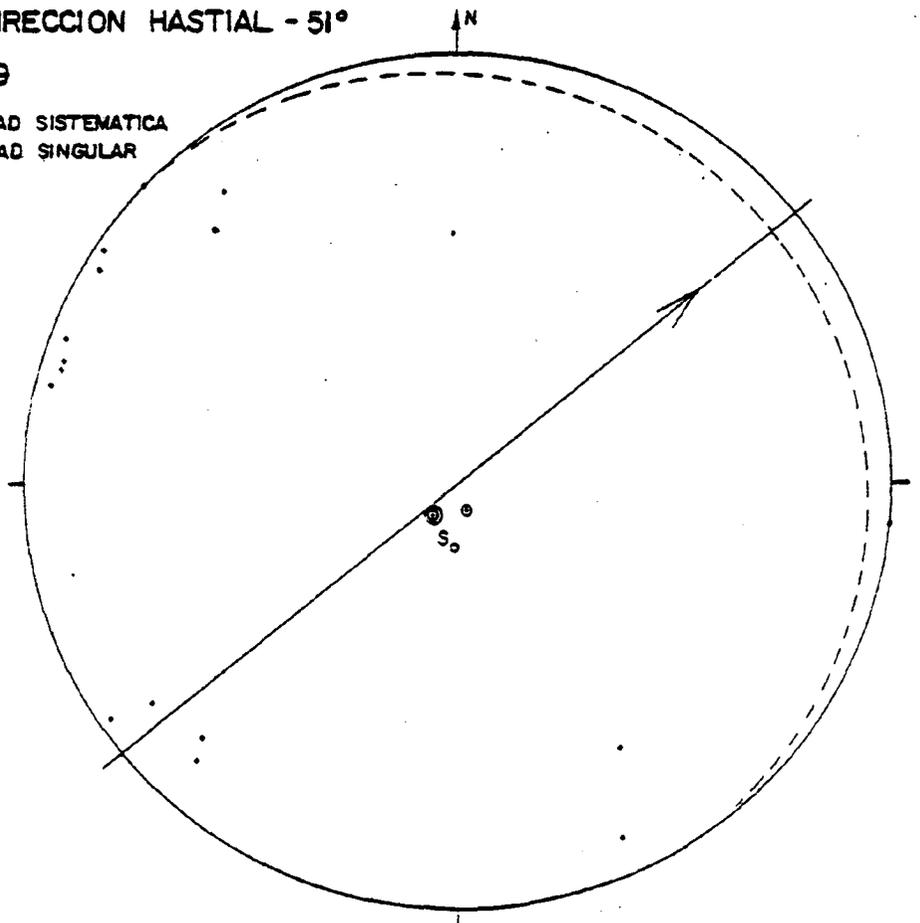
- DISCONTINUIDAD SISTEMATICA
- ⊙ DISCONTINUIDAD SINGULAR



P-S-2/P DIRECCION HASTIAL - 51°

E-29

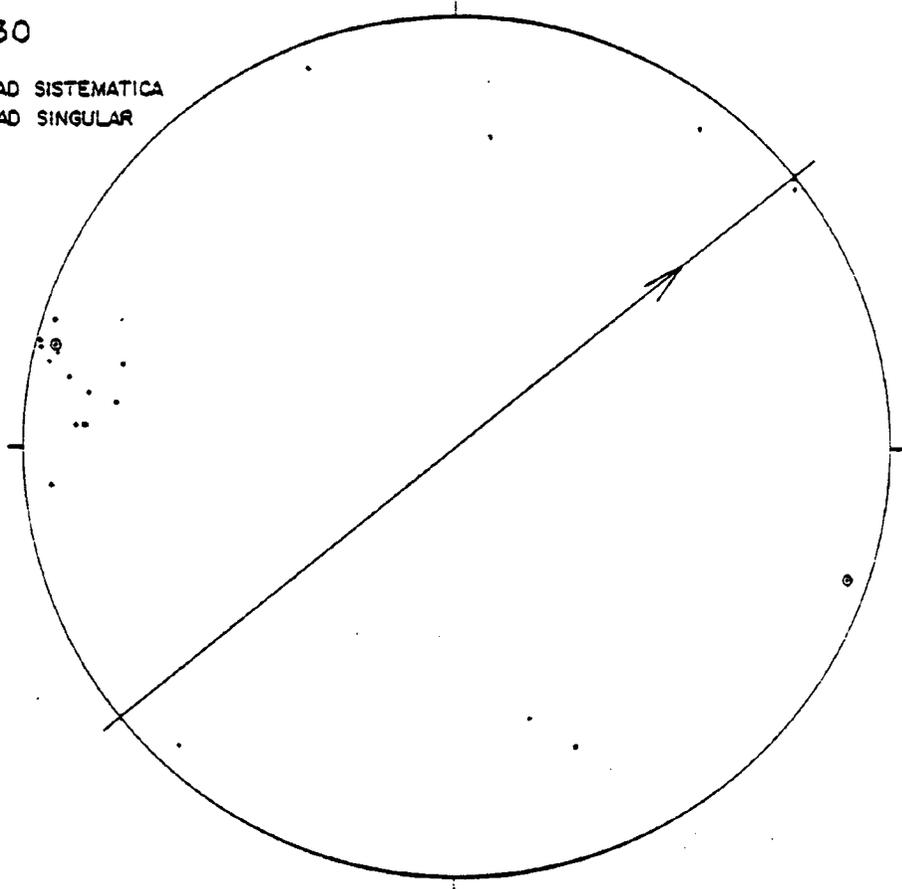
- DISCONTINUIDAD SISTEMATICA
- ⊙ DISCONTINUIDAD SINGULAR



P-S-2/P DIRECCION HASTIAL - 51°

E-30

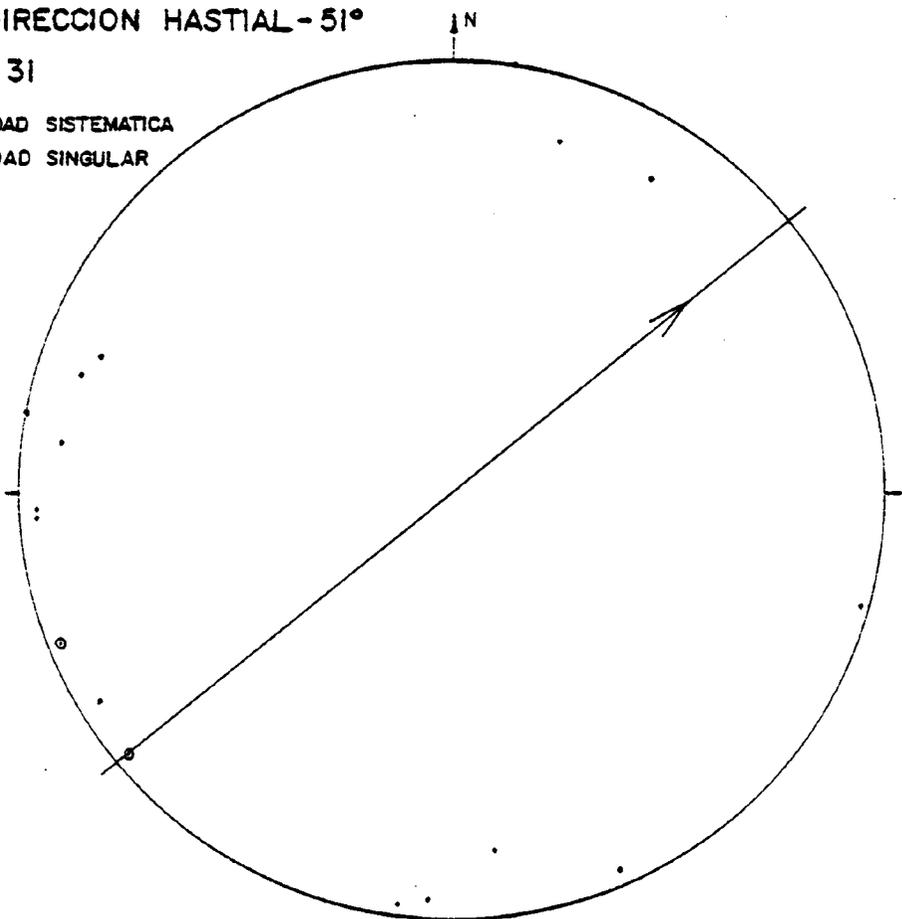
- DISCONTINUIDAD SISTEMATICA
- ⊙ DISCONTINUIDAD SINGULAR



P-S-2/P DIRECCION HASTIAL - 51°

E-31

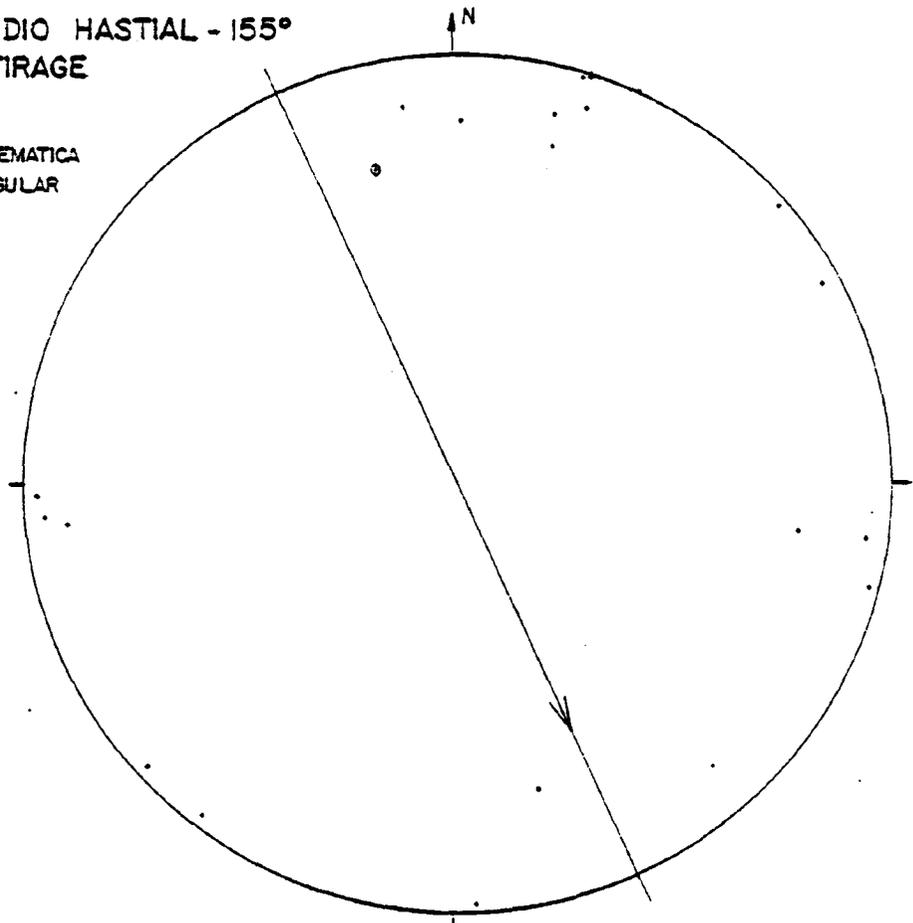
- DISCONTINUIDAD SISTEMATICA
- ⊙ DISCONTINUIDAD SINGULAR



NIVEL INTERMEDIO HASTIAL - 155°  
HACIA EL SOUTIRAGE

E-32

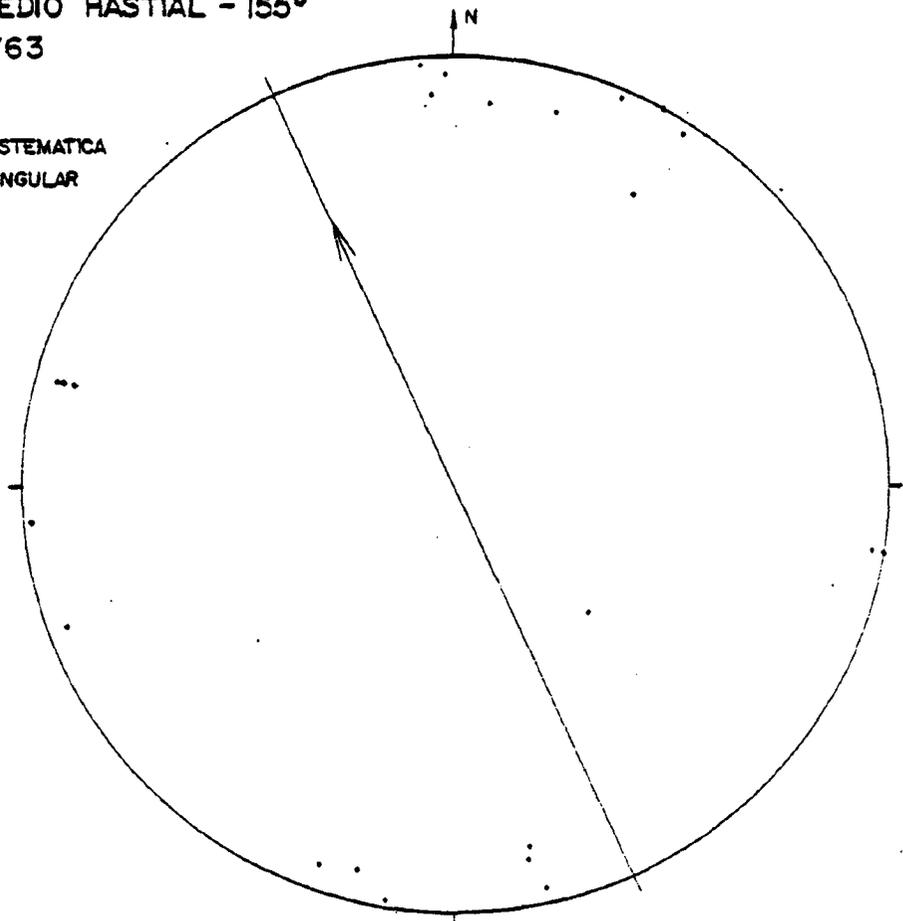
- DISCONTINUIDAD SISTEMATICA
- ◉ DISCONTINUIDAD SINGULAR



NIVEL INTERMEDIO HASTIAL - 155°  
HACIA P-S-2/63

E-33

- DISCONTINUIDAD SISTEMATICA
- ◉ DISCONTINUIDAD SINGULAR

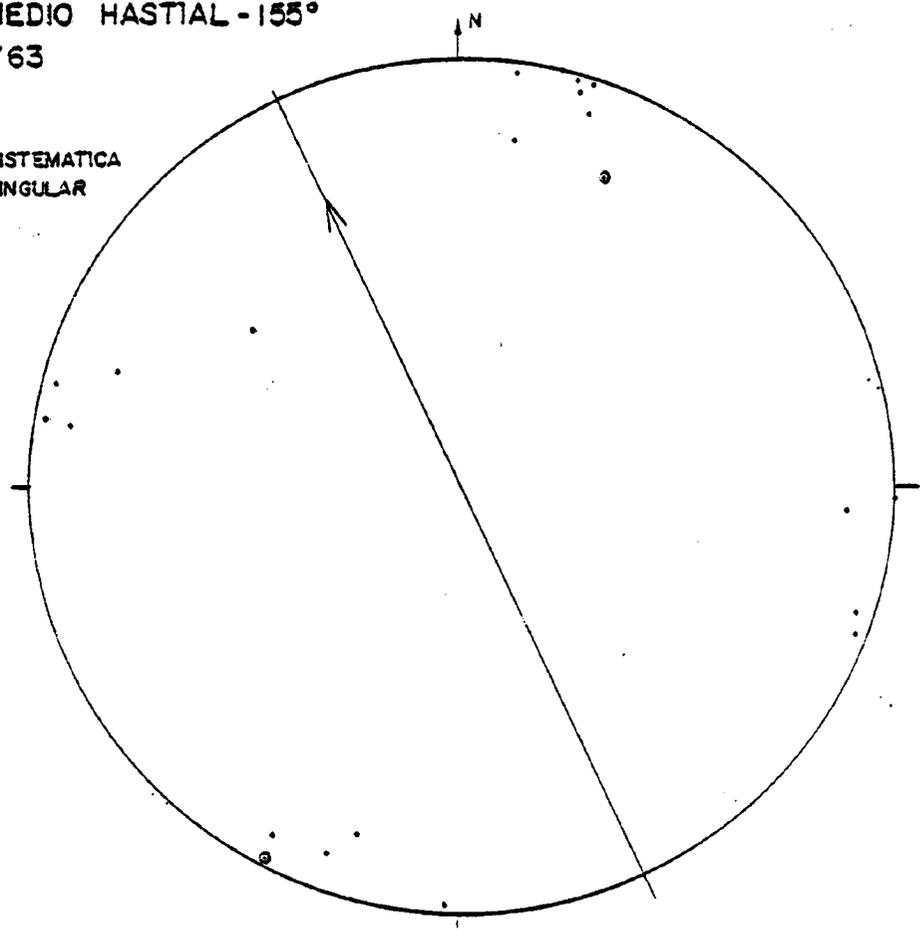


NIVEL INTERMEDIO HASTIAL -155°

HACIA P-S-2/63

E-34

- DISCONTINUIDAD SISTEMATICA
- ⊙ DISCONTINUIDAD SINGULAR

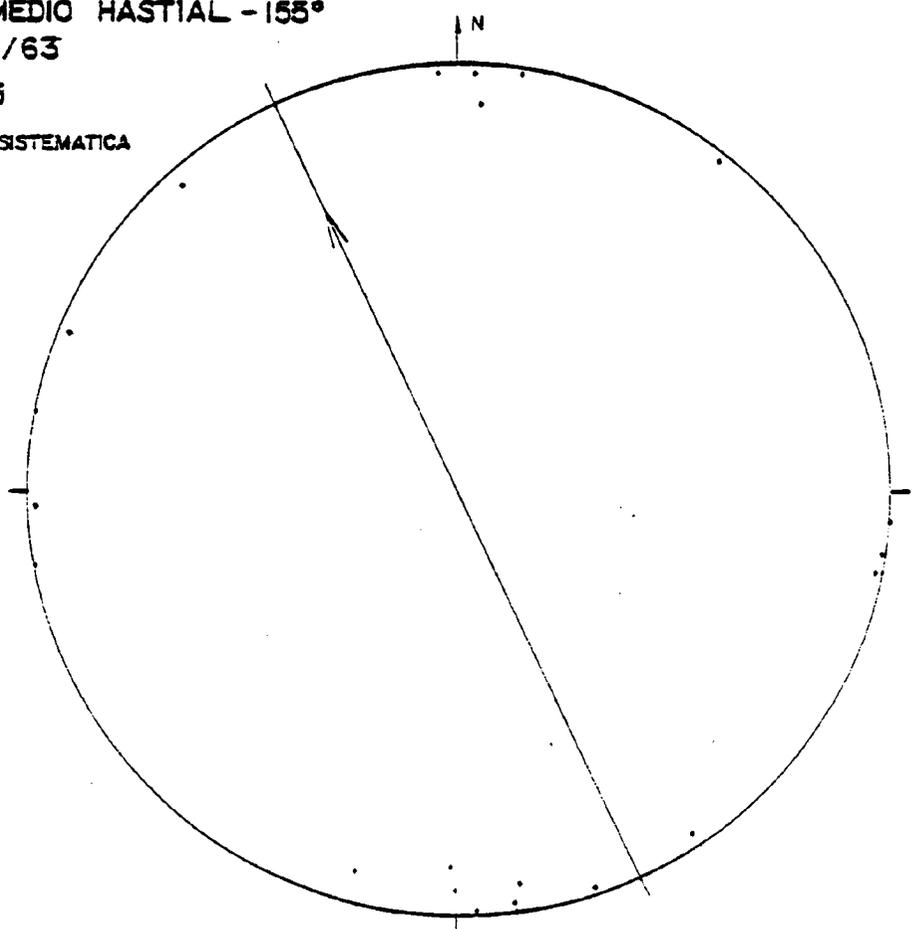


NIVEL INTERMEDIO HASTIAL -155°

HACIA P-S-2/63

E-35

- DISCONTINUIDAD SISTEMATICA

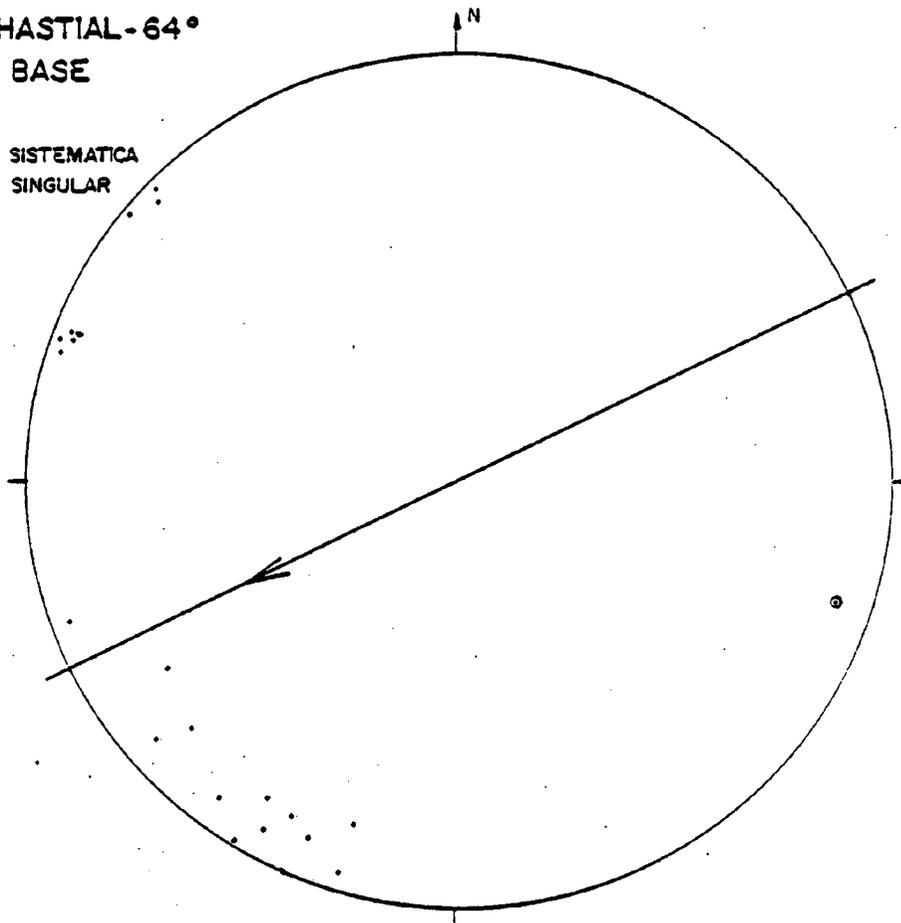


P-S-2/63 HASTIAL-64°

HACIA NIVEL BASE

E-36

- DISCONTINUIDAD SISTEMATICA
- ⊙ DISCONTINUIDAD SINGULAR

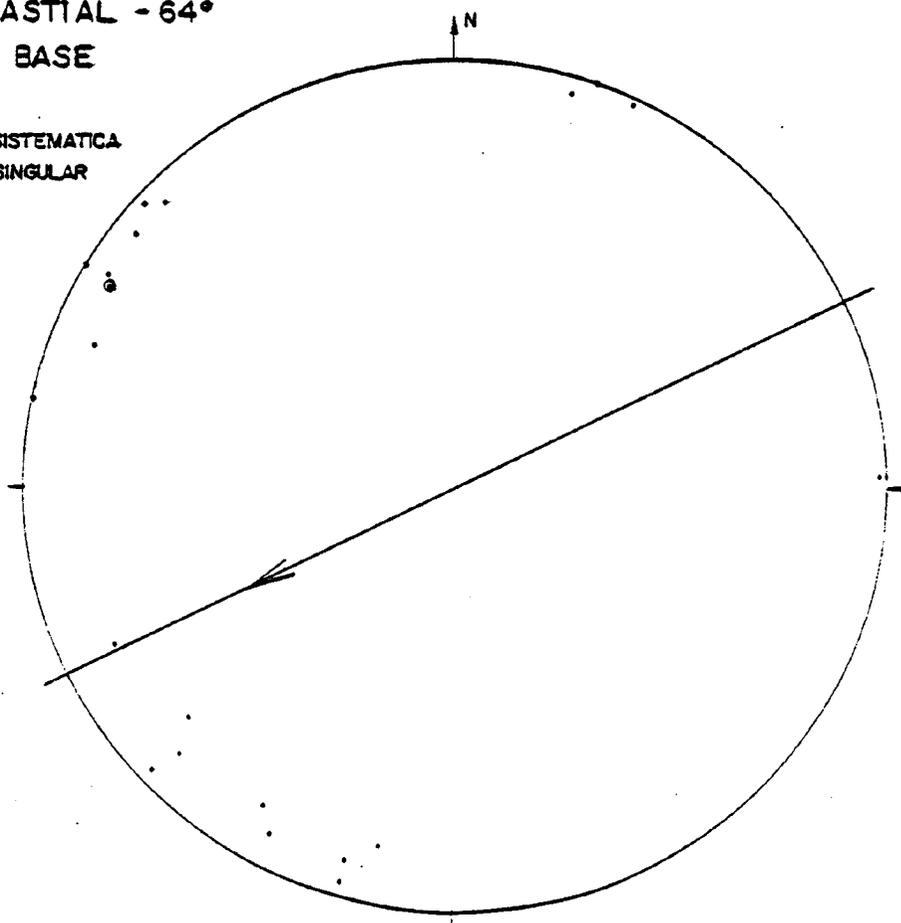


P-S-2/63 HASTIAL -64°

HACIA NIVEL BASE

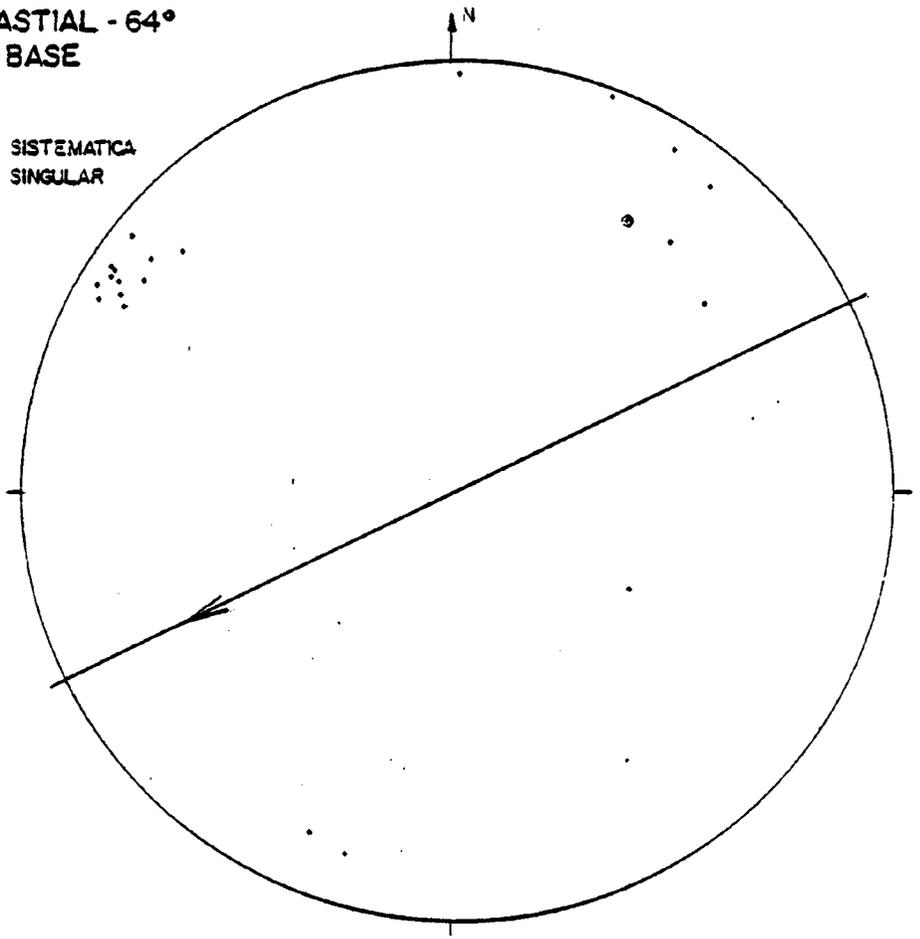
E-37

- DISCONTINUIDAD SISTEMATICA
- ⊙ DISCONTINUIDAD SINGULAR



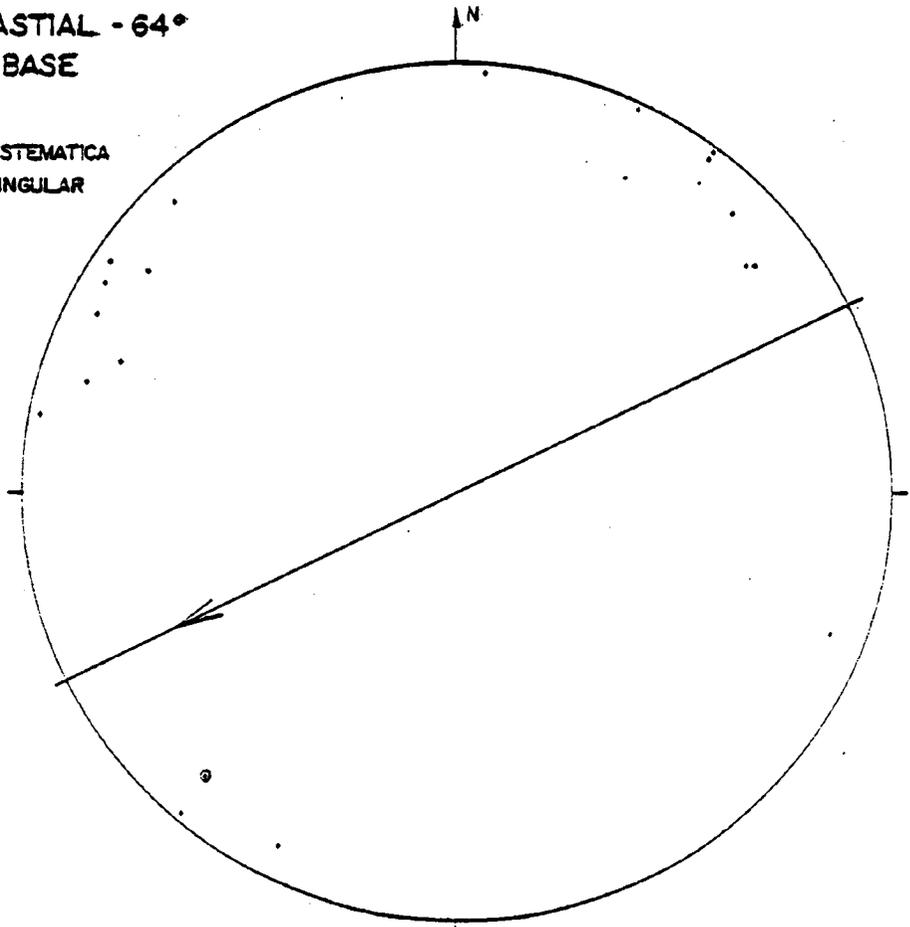
P-S-2/63 HASTIAL - 64°  
HACIA NIVEL BASE  
E-38

- DISCONTINUIDAD SISTEMÁTICA
- ◉ DISCONTINUIDAD SINGULAR



P-S-2/63 HASTIAL - 64°  
HACIA NIVEL BASE  
E-39

- DISCONTINUIDAD SISTEMÁTICA
- ◉ DISCONTINUIDAD SINGULAR

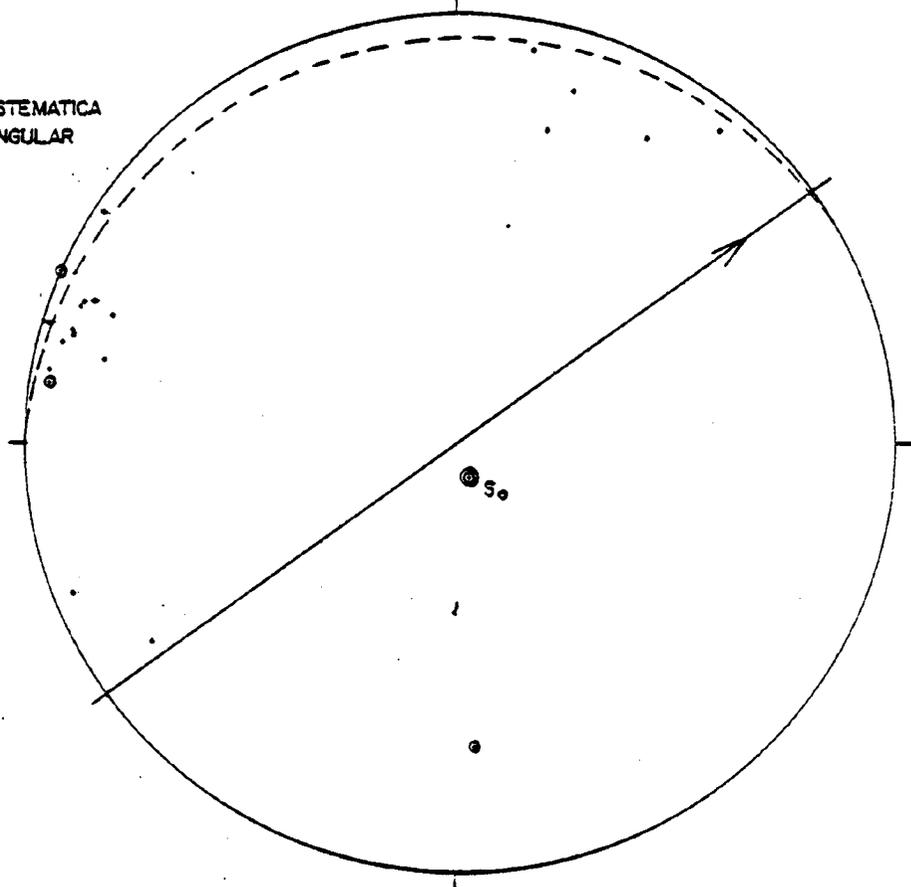


SOUTIRAGE T-S-2 DIRECCION FRENTE - 54° N

DIA 24-11-80

E-40

- DISCONTINUIDAD SISTEMATICA
- ⊙ DISCONTINUIDAD SINGULAR

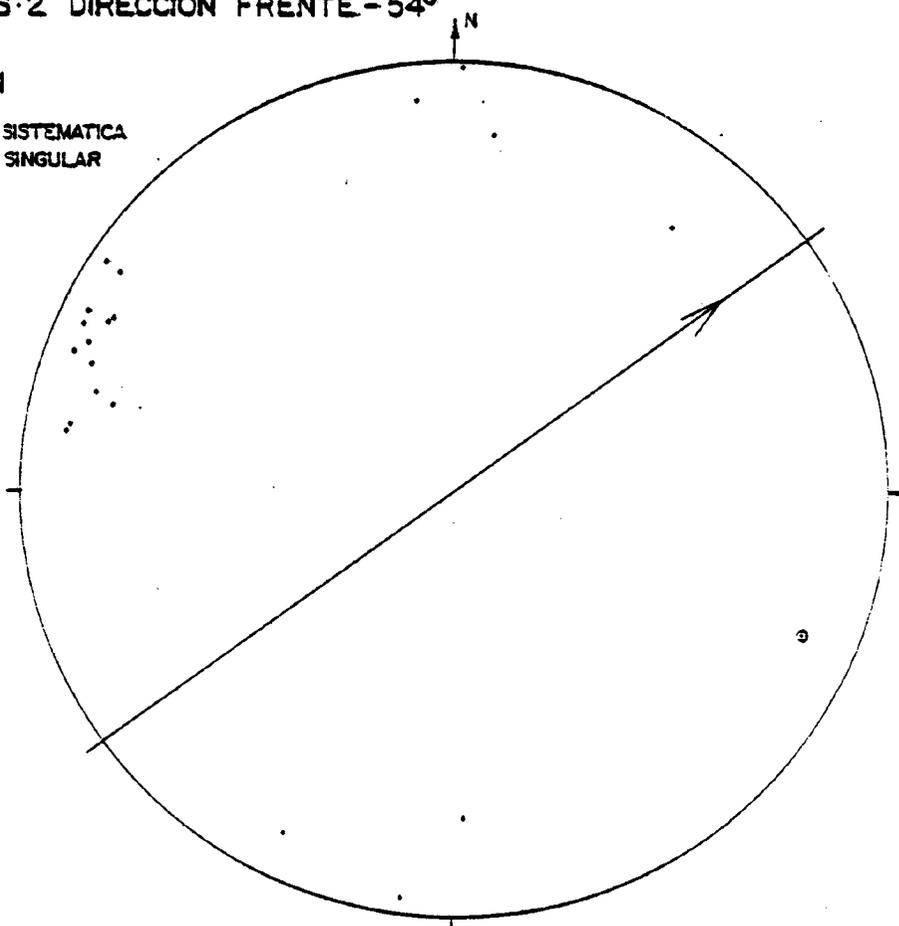


SOUTIRAGE T-S-2 DIRECCION FRENTE - 54° N

DIA 24-10-80

E-41

- DISCONTINUIDAD SISTEMATICA
- ⊙ DISCONTINUIDAD SINGULAR

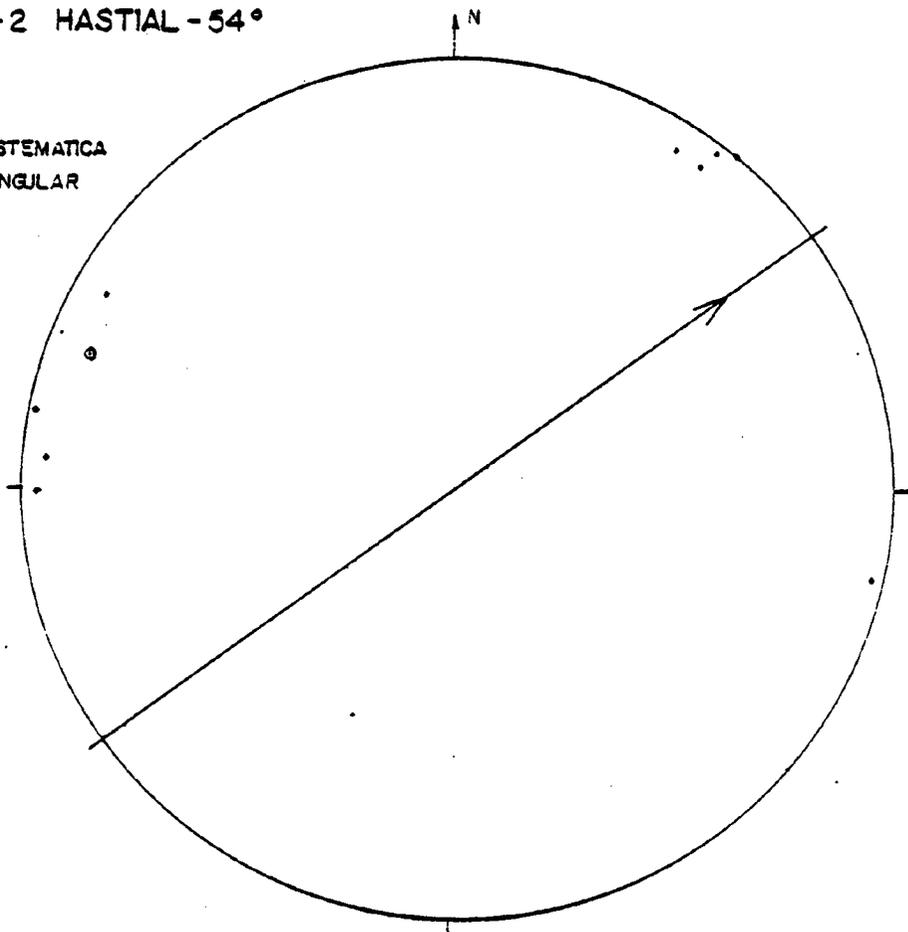


SOUTIRAGE T-S-2 HASTIAL-54°

DIA 24-10-80

E-42

- DISCONTINUIDAD SISTEMATICA
- ◉ DISCONTINUIDAD SINGULAR



SOUTIRAGE T-S-2 HASTIAL-54°

DIA 12-10-80

E-43

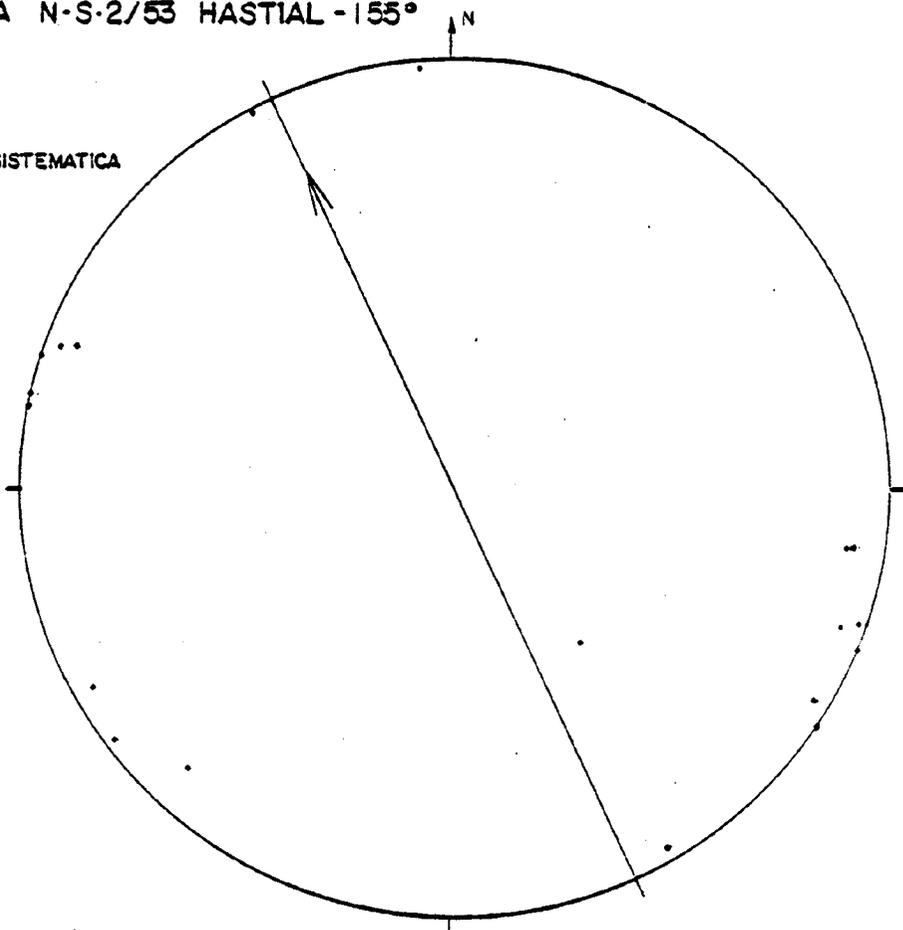
- DISCONTINUIDAD SISTEMATICA
- ◉ DISCONTINUIDAD SINGULAR



NIVEL CABEZA N-S-2/53 HASTIAL -155°  
HACIA R-53

E-44

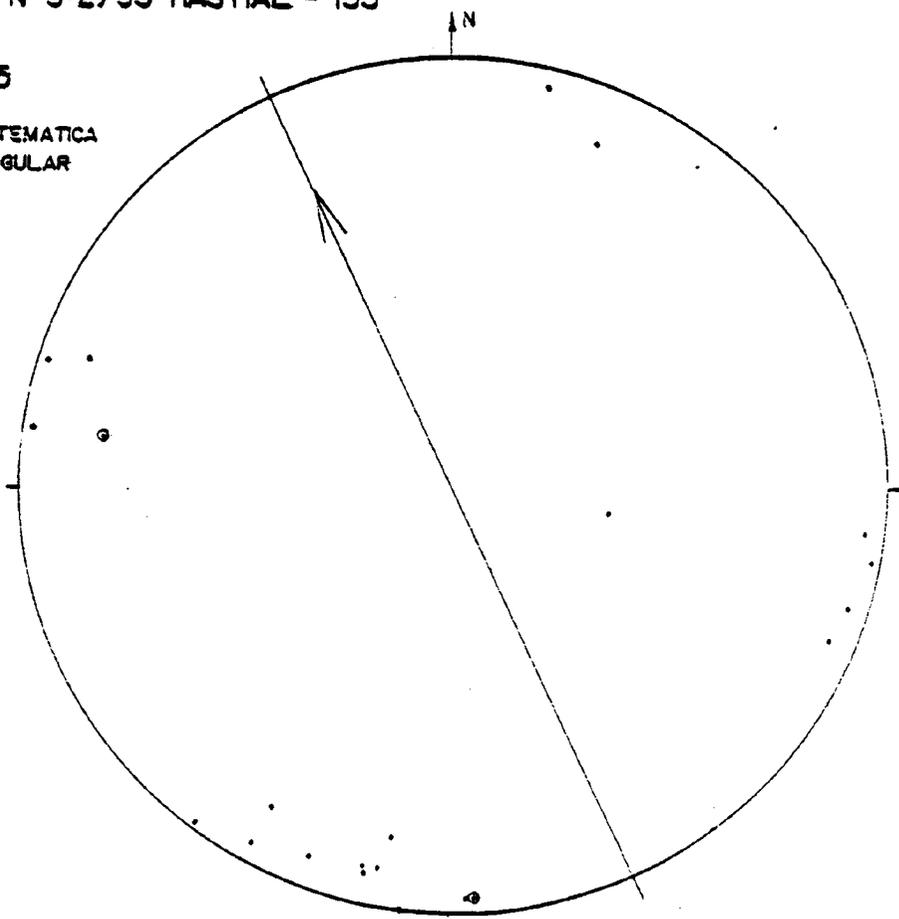
• DISCONTINUIDAD SISTEMATICA



NIVEL CABEZA N-S-2/53 HASTIAL - 155°  
HACIA R-53

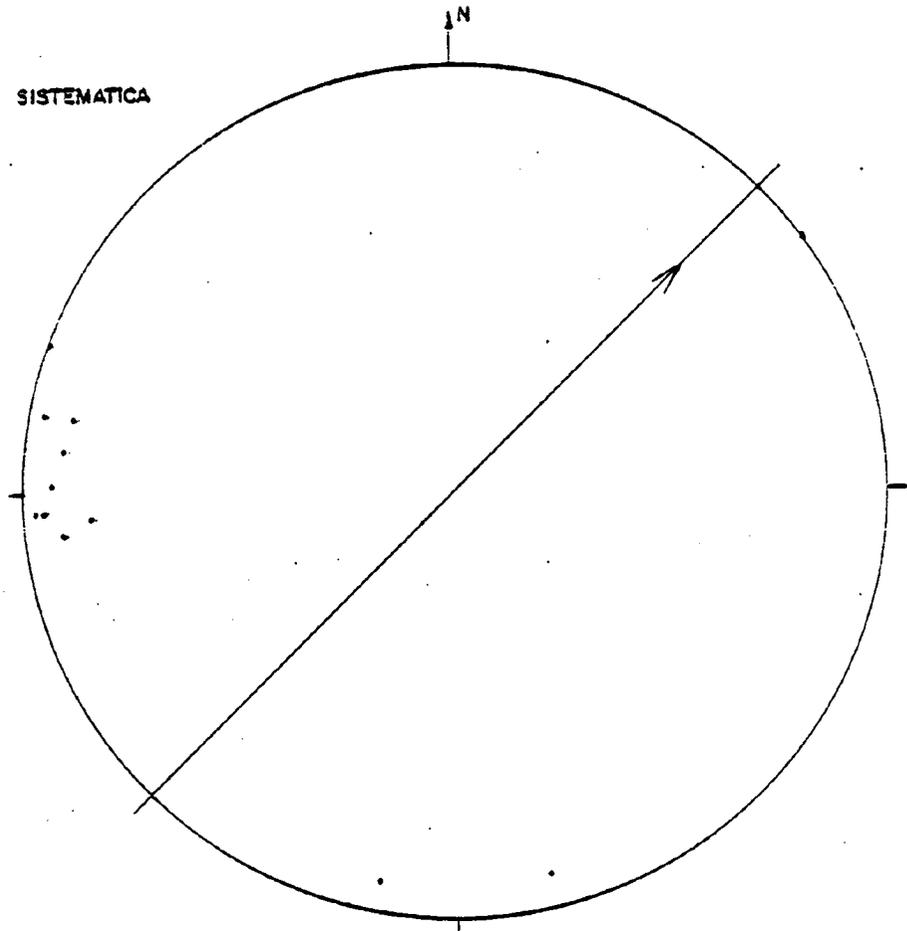
E-45

• DISCONTINUIDAD SISTEMATICA  
◉ DISCONTINUIDAD SINGULAR



R-53 HASTIAL - 45°  
HACIA G.G. 5°  
E-46

DISCONTINUIDAD SISTEMATICA

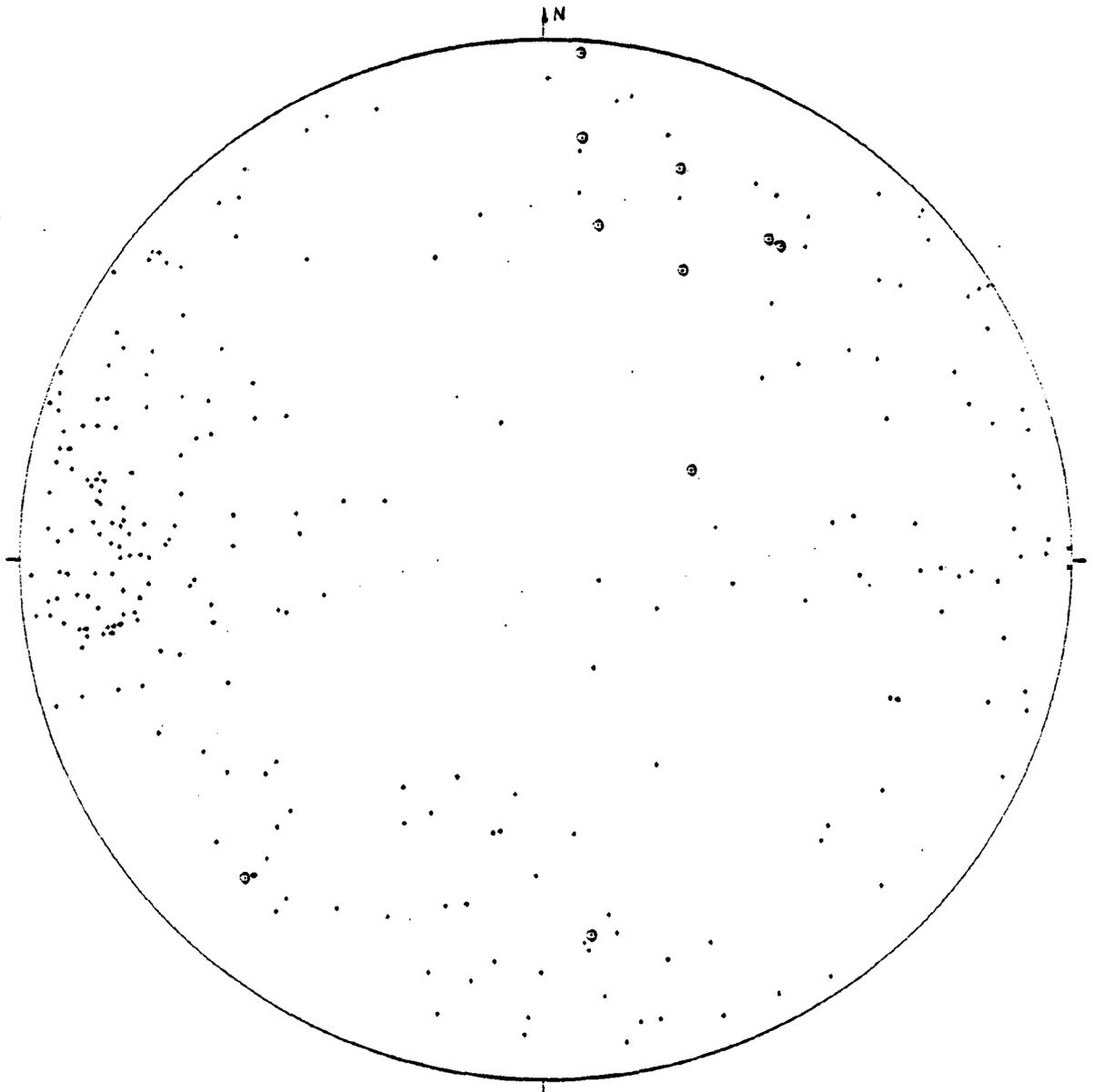


B.- RESUMEN DE LAS MEDIDAS POR GALERIAS

DISCONTINUIDADES DEL G-G-6<sup>a</sup>

Fig. II - 1

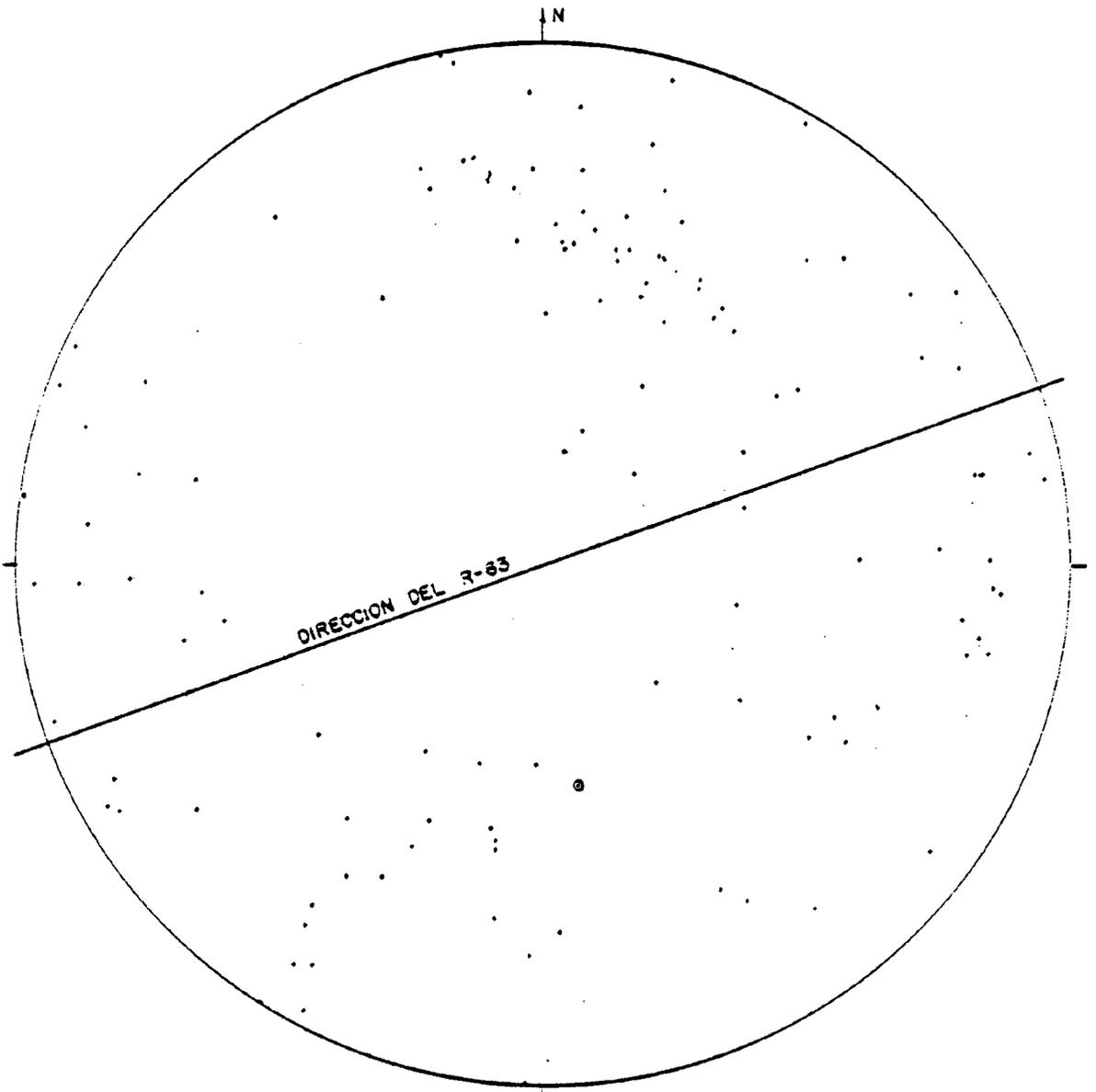
- 258 POLOS
- DIACLASAS
- ⊙ MICROFALLAS



DIACLASAS DEL R-63

Fig. II - 2

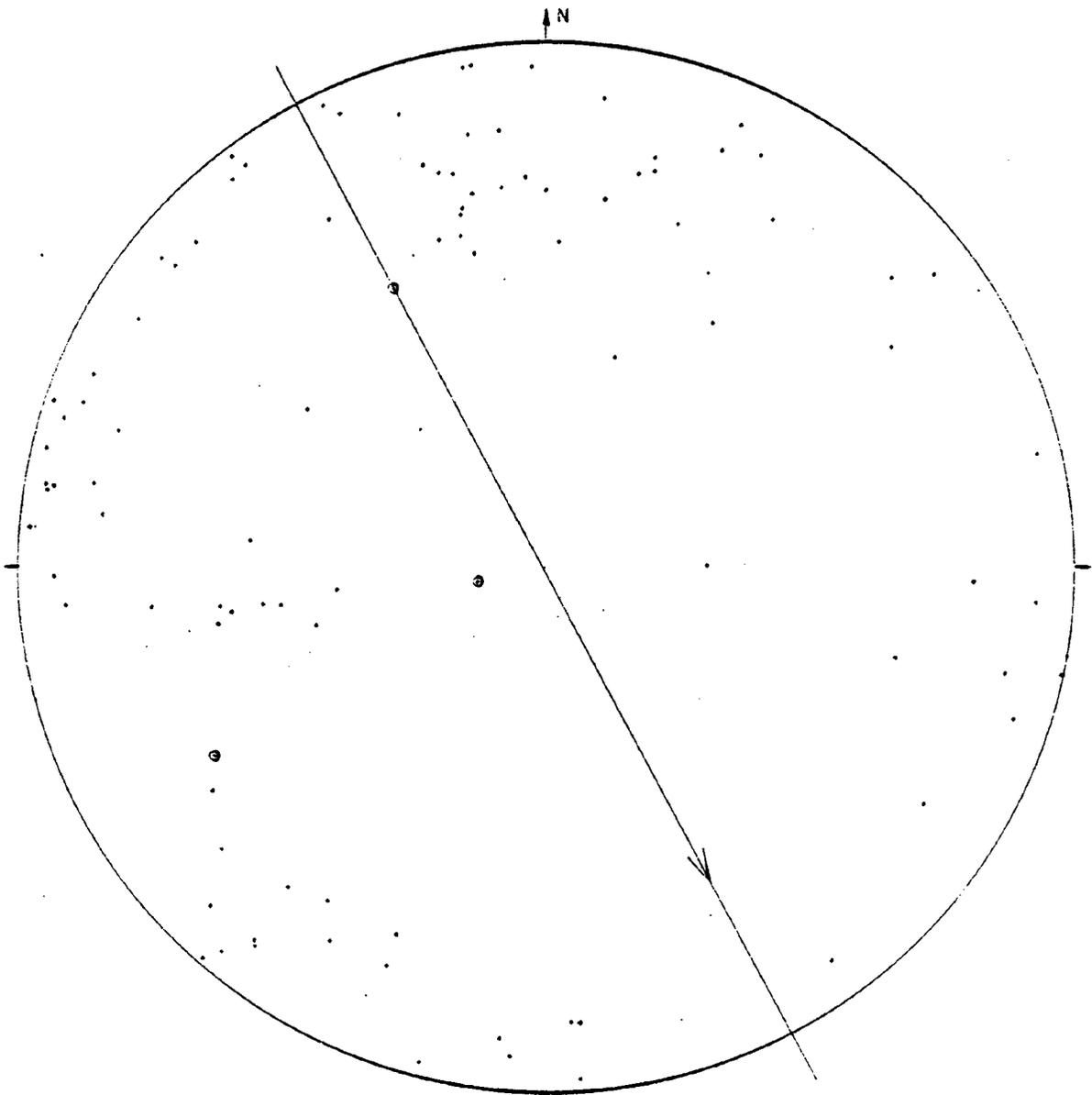
- 121 POLOS
- DIACLASAS
- ⊙ MICROFALLAS



DIACLASAS DEL N-S-2/63

Fig. II - 3

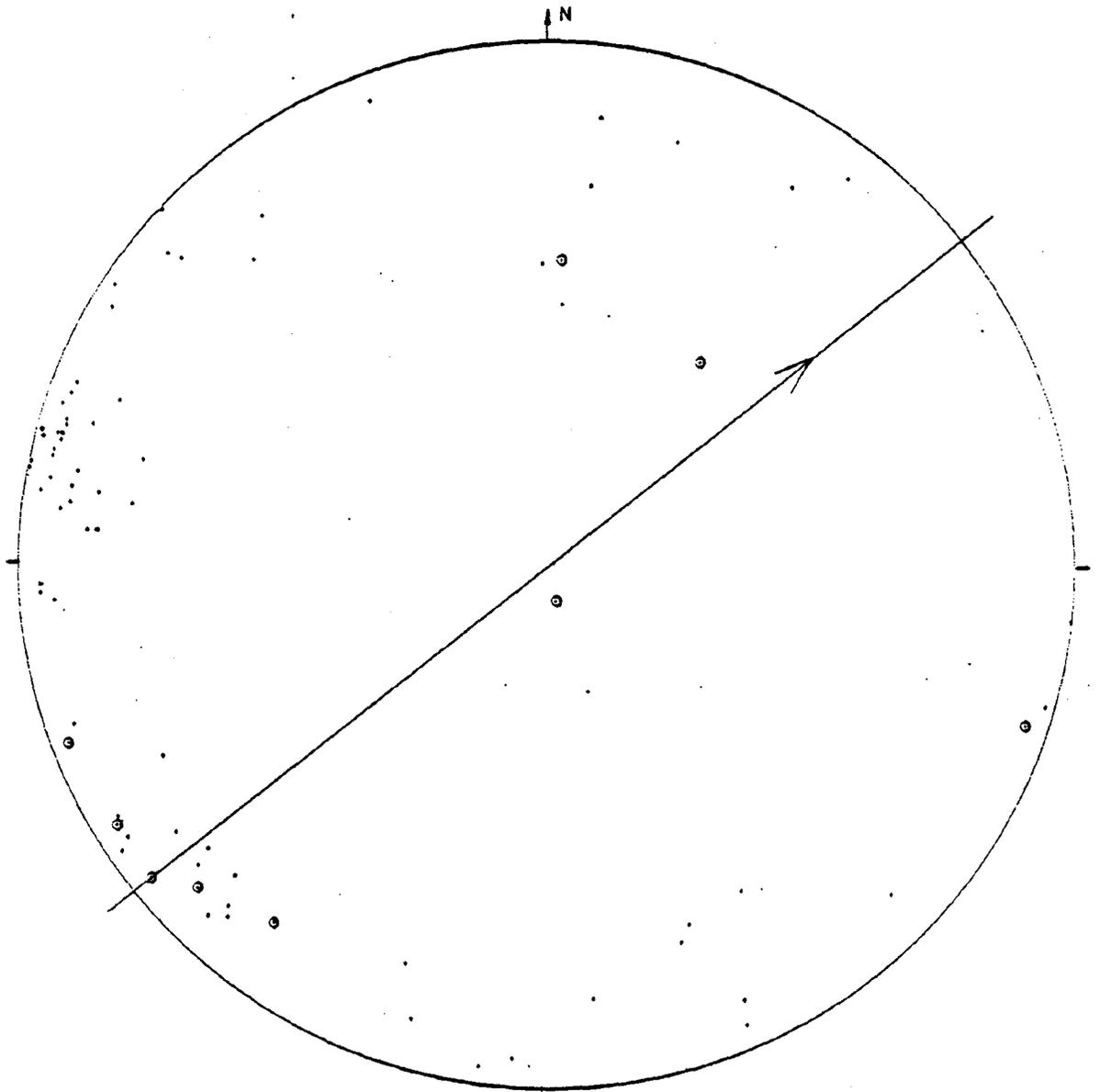
- 100 POLOS
- DIACLASAS
- ⊙ MICROFALLAS



DIACLASAS DEL P-S-2/P

Fig. II - 4

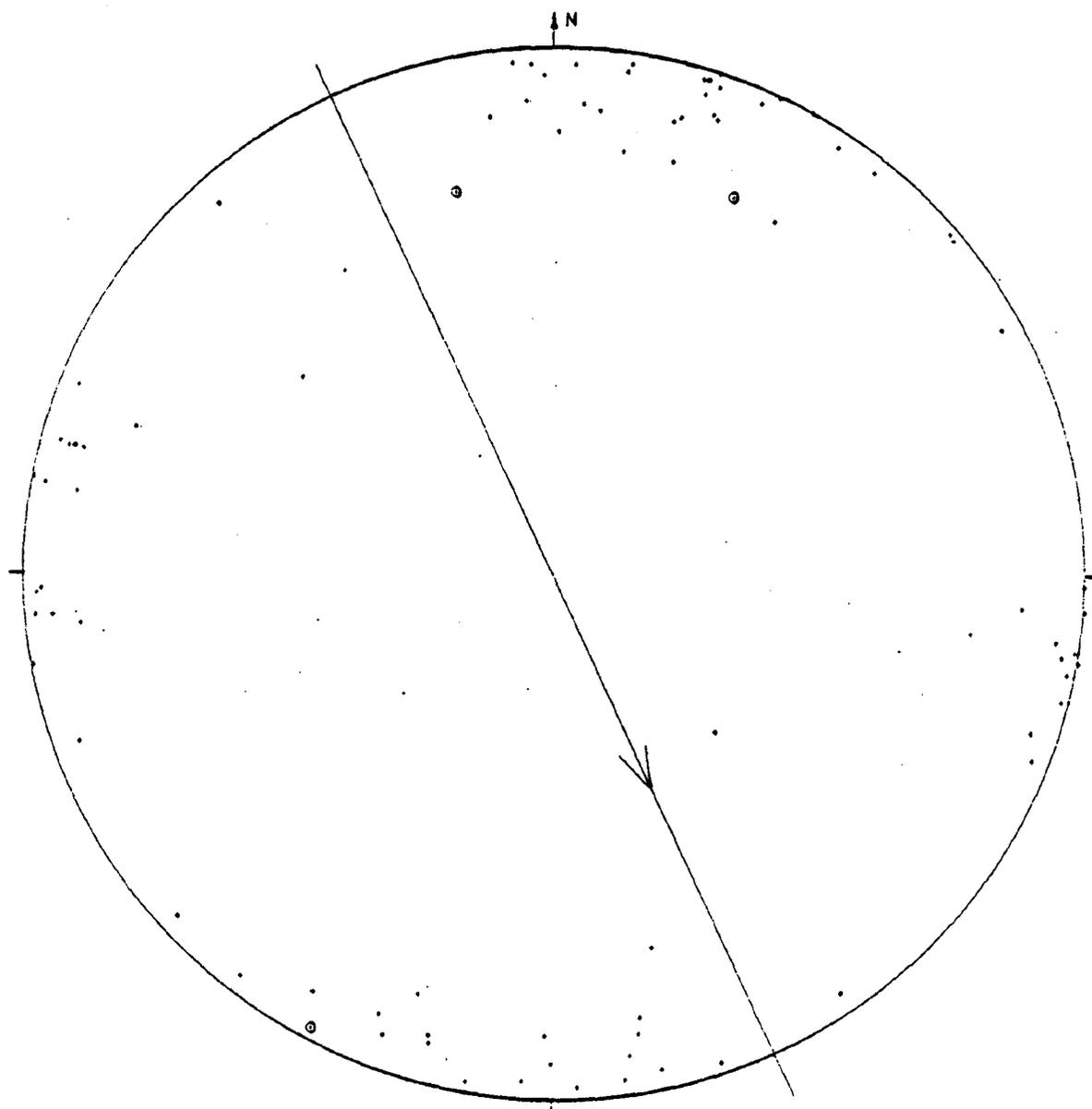
- 77 POLOS
- DIACLASAS
- MICROFALLAS



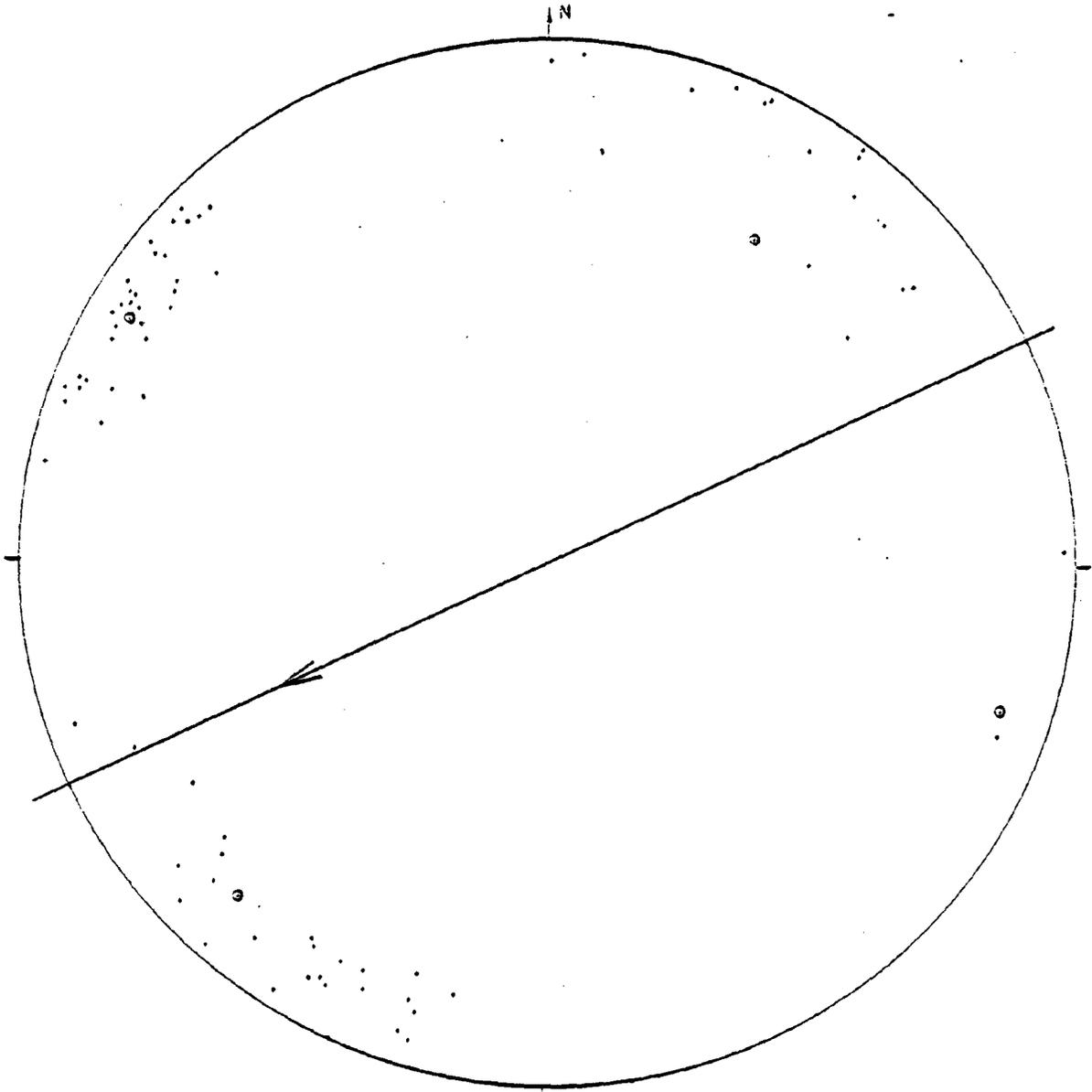
DIACLASAS DEL NIVEL INTERMEDIO

Fig. II - 5

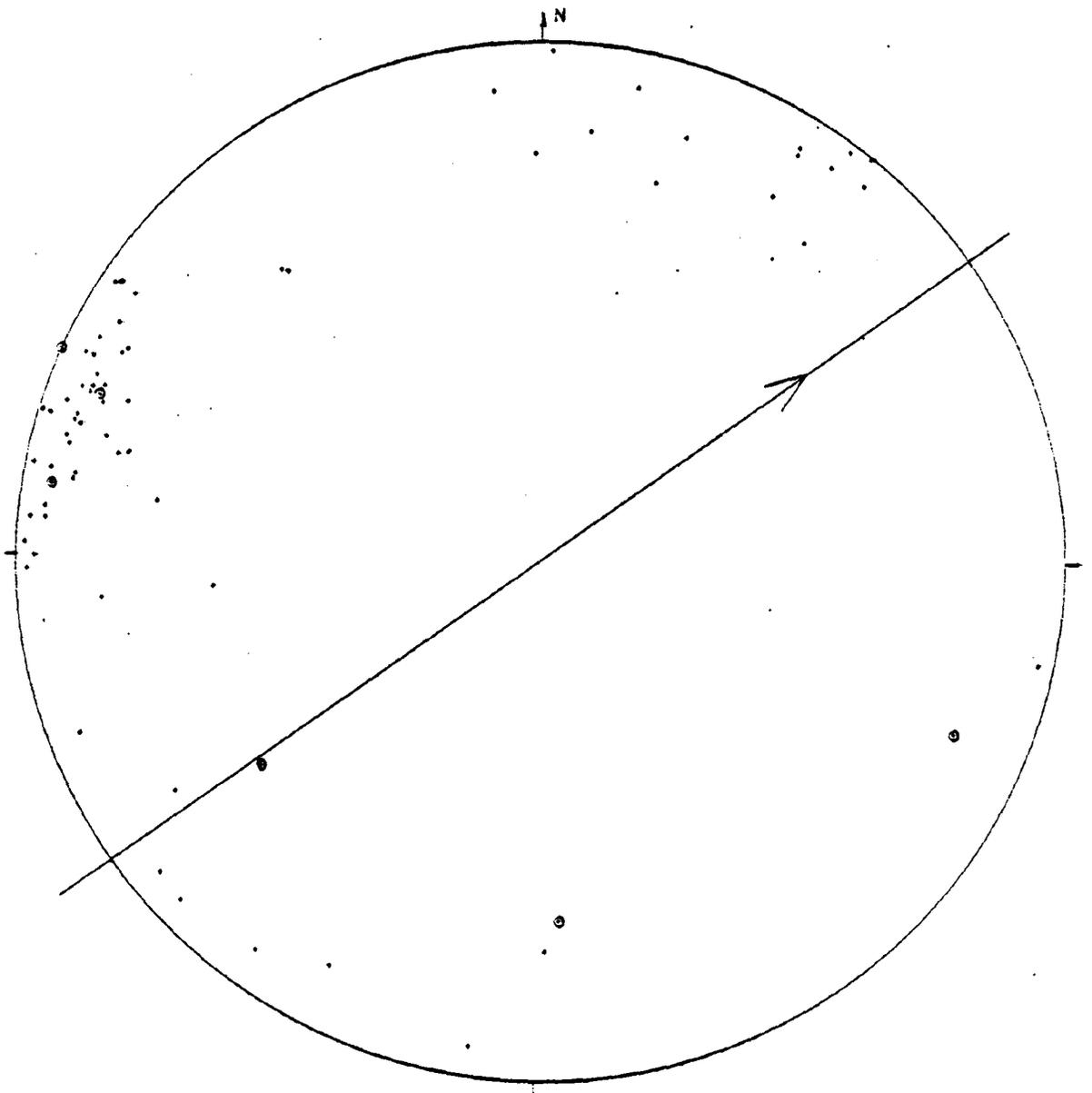
- 86 POLOS
- DIACLASAS
- ◉ MICROFALLAS



- 79 POLOS
- DIACLASAS
- ⊙ MICROFALLAS



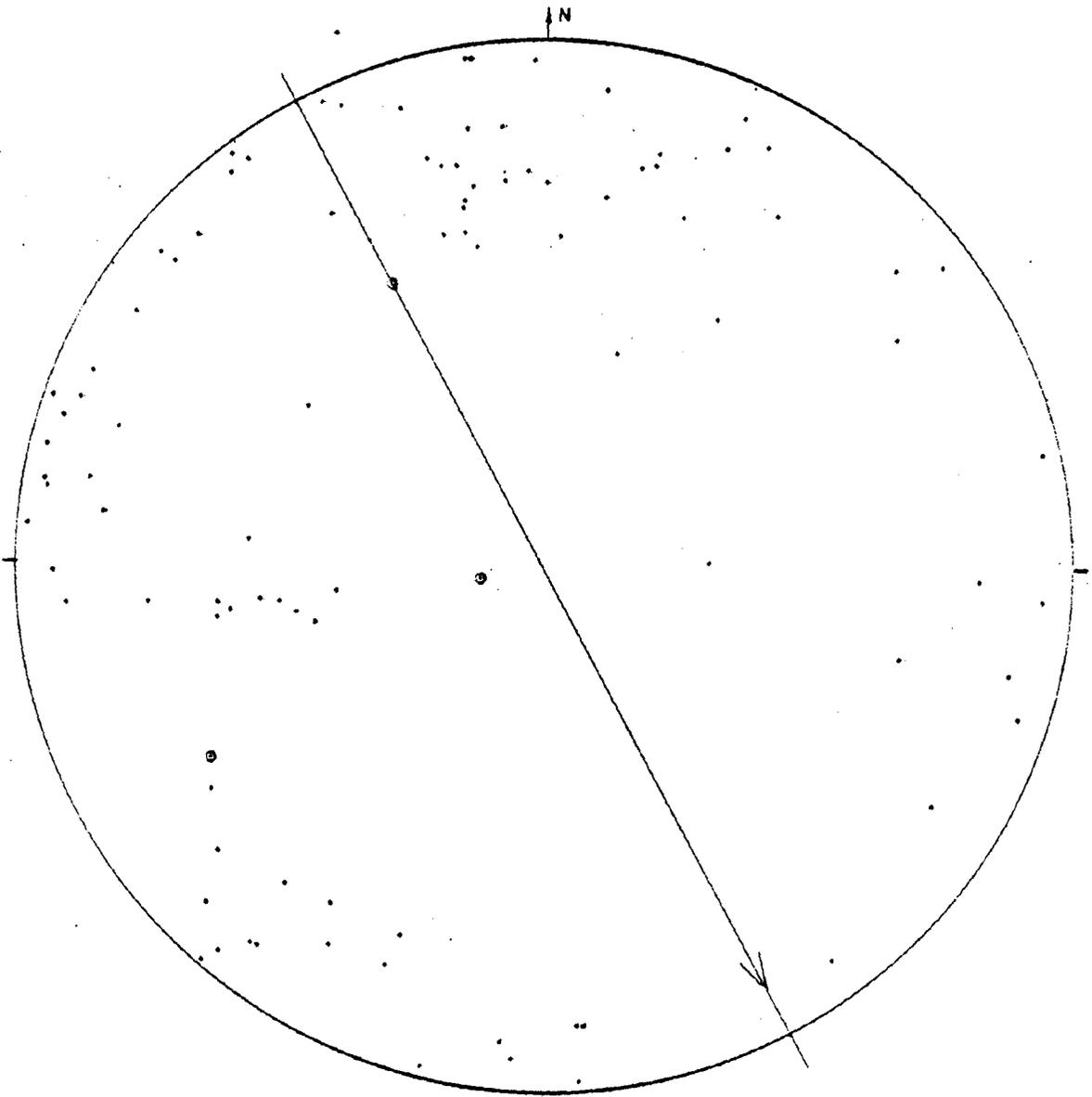
- 72 POLOS
- DIACLASAS
- ◉ MICROFALLAS



DISCONTINUIDADES DEL N-S-2/53

Fig. II - 8.

- 97 POLOS
- DIACLASAS
- ⊙ MICROFALLAS



A N E X O III

REPRESENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES  
MEDIDAS EN SUPERFICIE

---

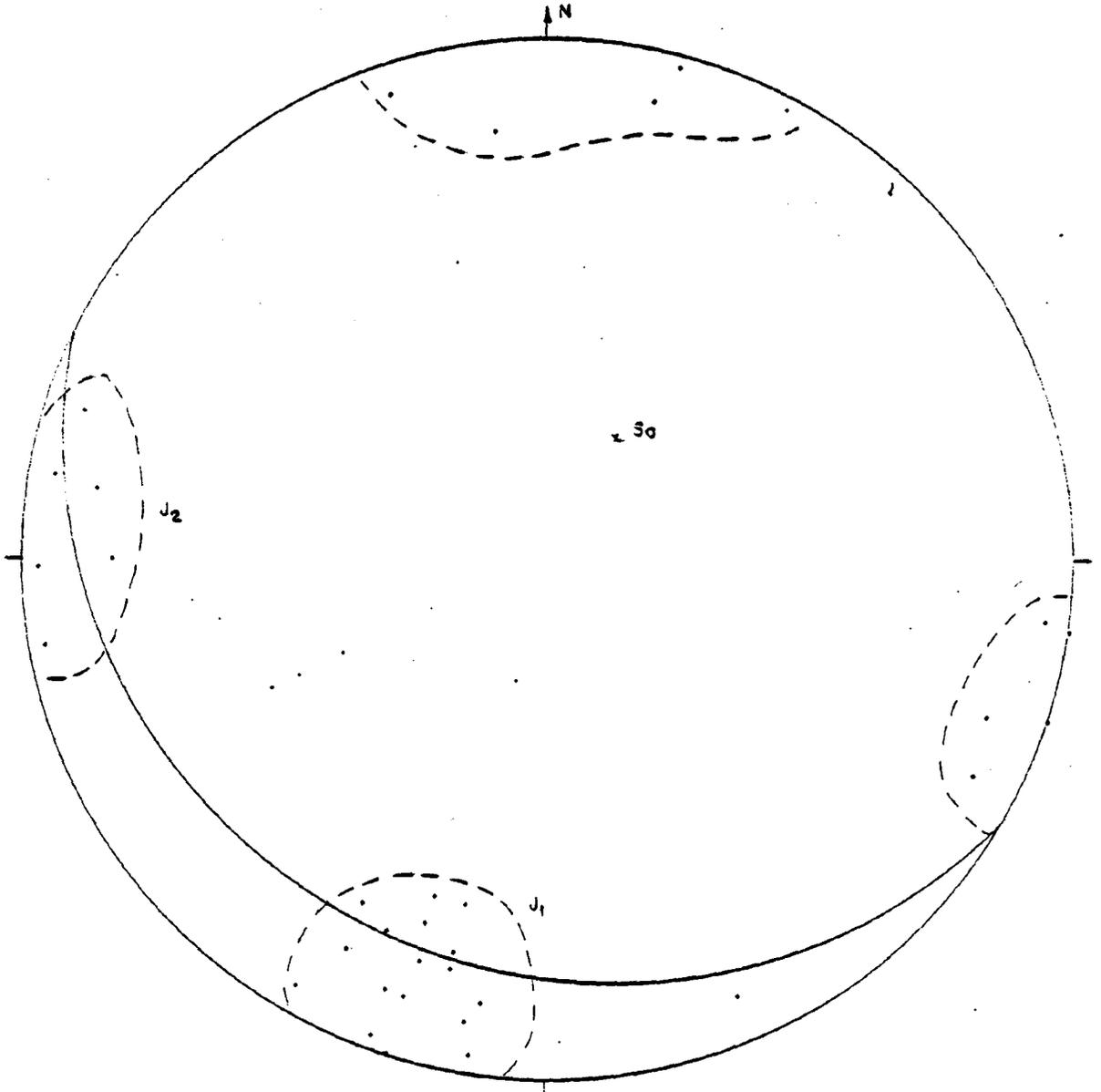
ESTACION ES-1

34 POLOS DE DIACLASAS

S<sub>0</sub>: 118-22 S

J<sub>1</sub>: 109-68 N

J<sub>2</sub>: 11-90



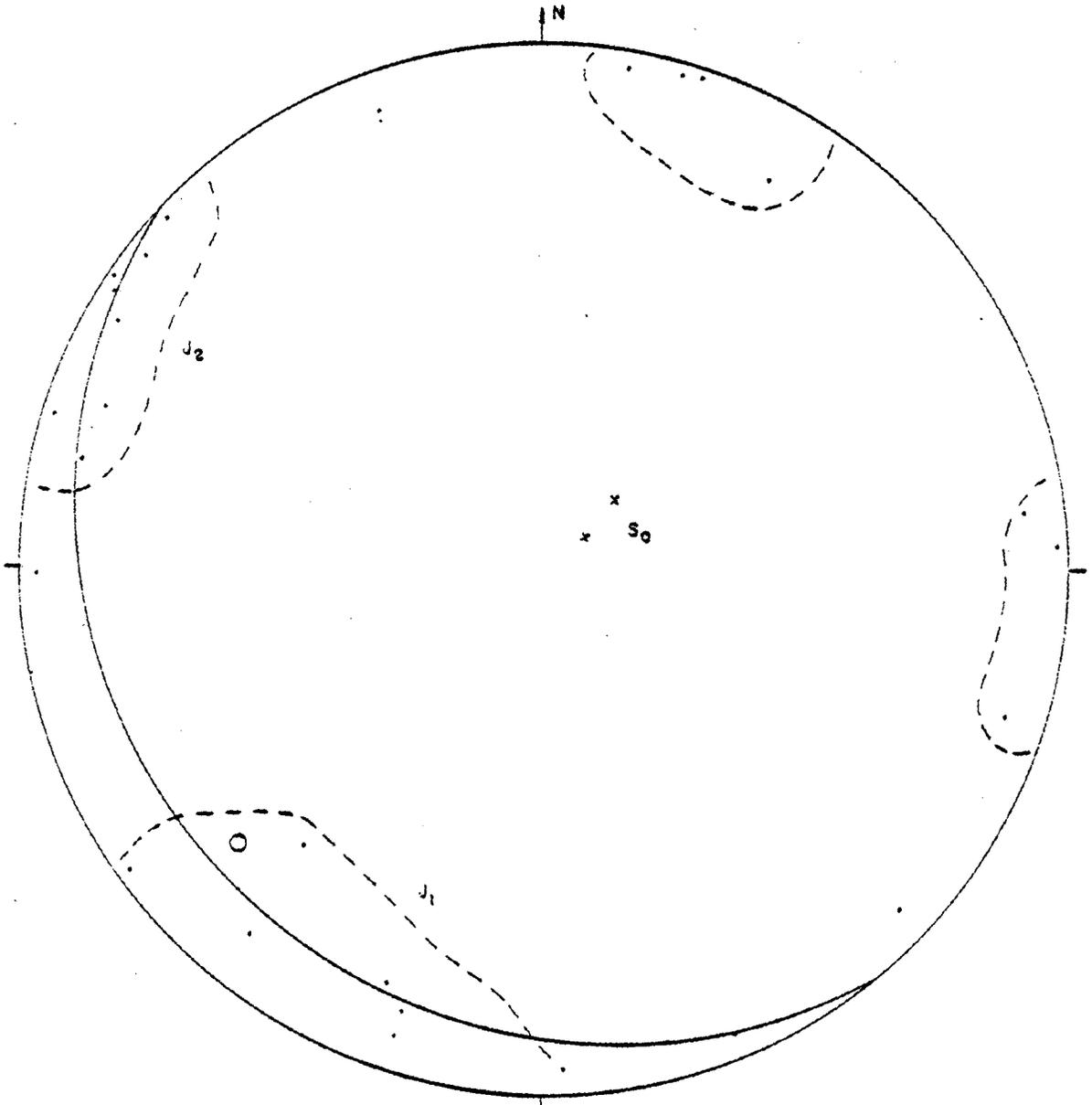
ESTACION ES-2

25 POLOS DE DIACLASAS

S<sub>0</sub> : 137-15 SW

J<sub>1</sub> : 30-84 NE

J<sub>2</sub> : 119-12 S



# ESTACION ES-3

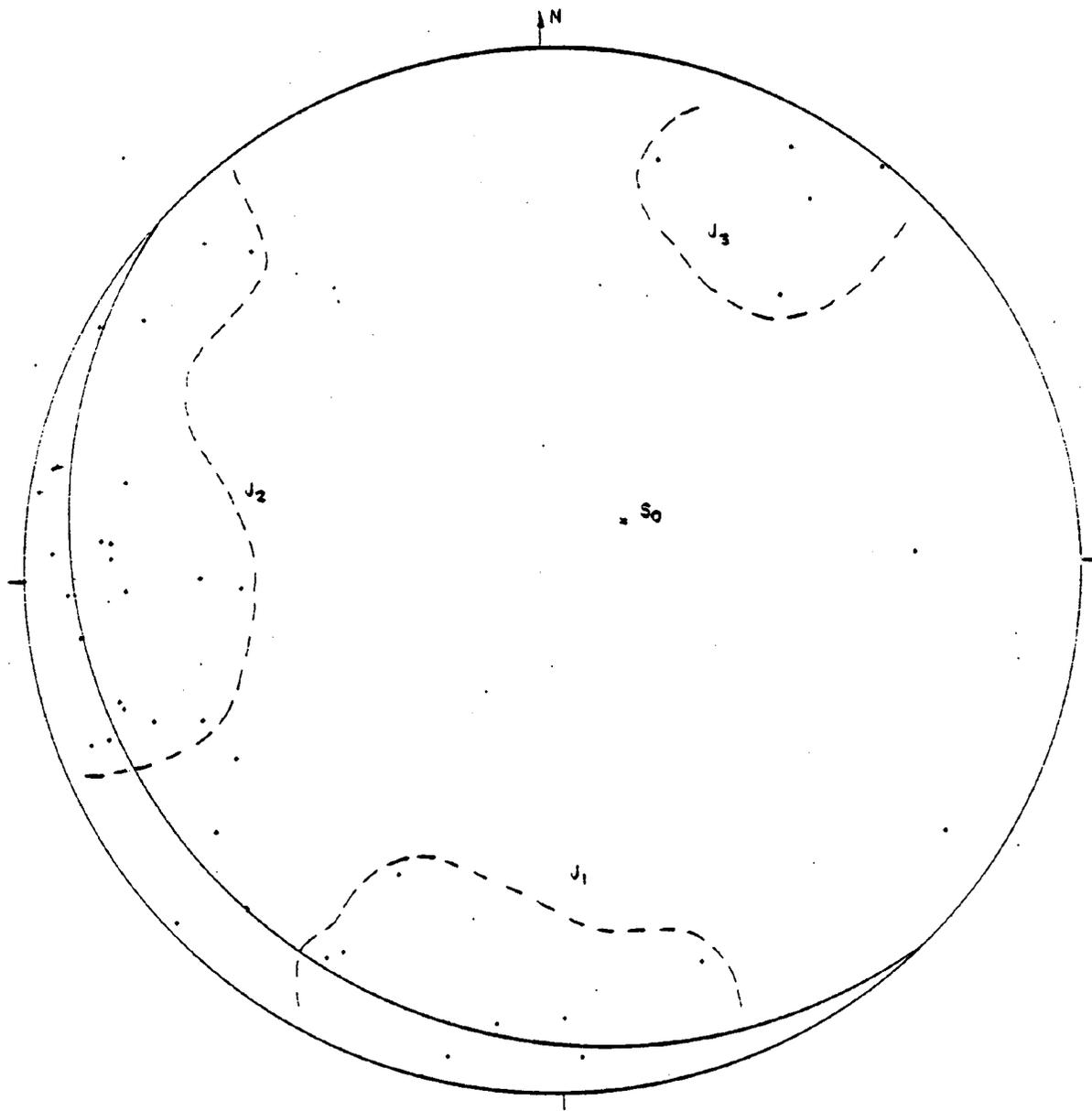
41 POLOS DE DIODASAS

S<sub>0</sub>: 144-13 SW

J<sub>1</sub>: 93-80 N

J<sub>2</sub>: 5-8 E

J<sub>3</sub>: 121-73 S



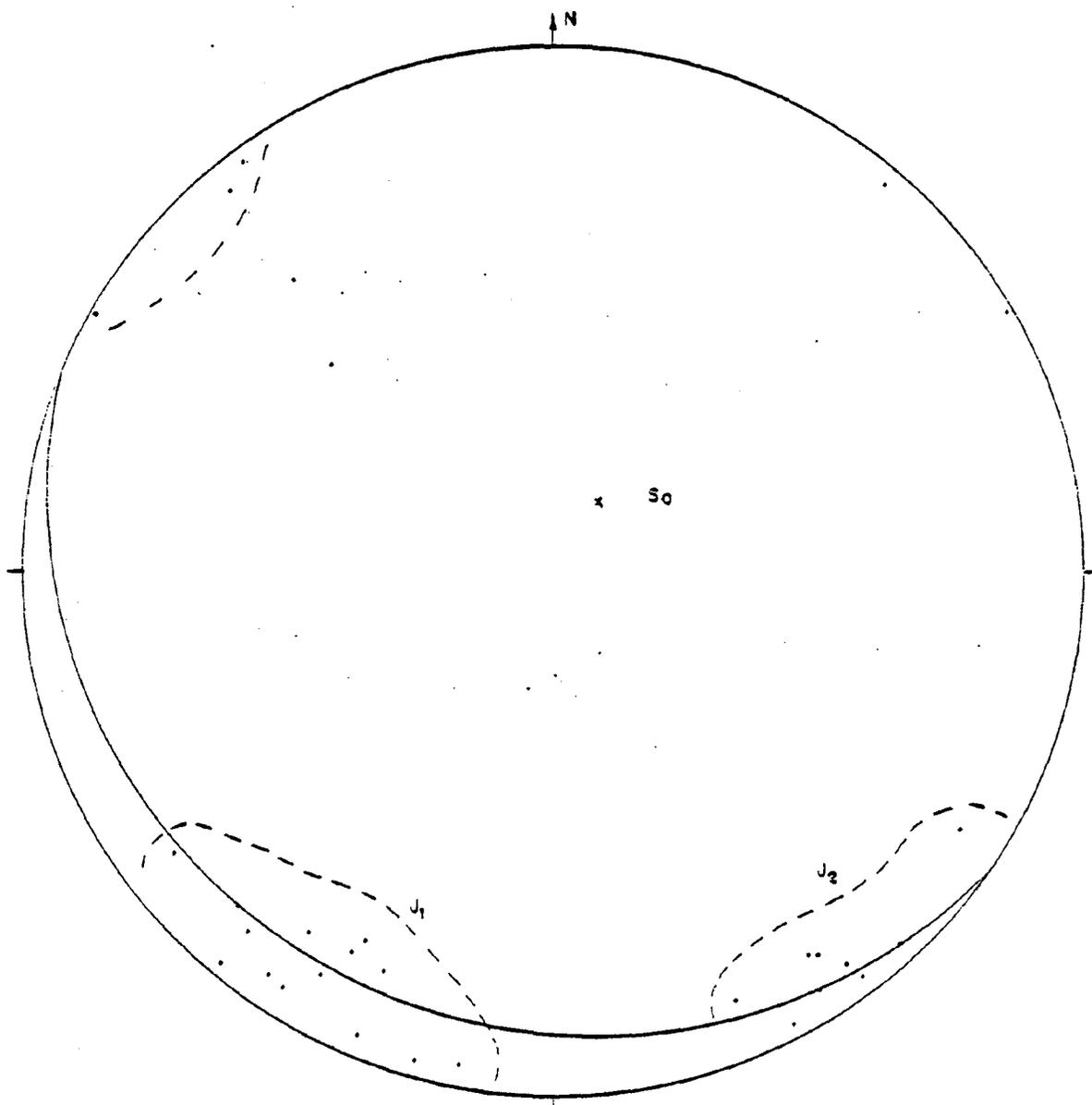
ESTACION ES-4

29 POLOS DE DIACLASAS

S<sub>0</sub>: 121-13 SW

J<sub>1</sub>: 122-80 NE

J<sub>2</sub>: 53-84 NW



ANEXO IV

PROGRAMA DE ANALISIS ESTRUCTURAL

(LISTADO FORTRAN IV)









```

154 0142 LINE(111)=91953612R
154 0143 9033 GJ 7034 II= 1,8
154 0144 00 7034 JJ=1,9
154 0145 IF(1-KRES(11,JJ,1)) 7034,7035,7036
154 0146 7035 IF(KRES(11,JJ,1)-CHIEF) 7034,7036,7036
154 0147 7035 CALL ZZ(LINE,KRES(11,JJ,2),KRES(11,JJ,3))
154 0148 7034 CONTINUE
154 0149 9033 WRITE(5,9100) LINE
154 0150 7100 FORMAT(IX,01A1)
    
```

C  
C  
C

CHECK TO SEE IF END OF DATA

EAPR0335  
EAPR0337  
EAPR0338

```

154 0151 READ(5,550) KJDE
154 0152 550 FORMAT(A1)
154 0153 IF (KJDE.EQ.'BLANC') GO TO 666
154 0154 GJ TO 444
154 0155 665 CALL EXIT
154 0156 444 CONTINUE
154 0157 GO TO 1639
154 0158 END
    
```

EAPR0347

EAPR0341

EAPR0340

\*OPTIONS IN EFFECT\*%NAME(MAIN) OPTIMIZE(2) LINECOUNT(50) SIZE(MAX) AUTODBL(NONE)

\*OPTIONS IN EFFECT\*SOURCE EBCDIC NOLIST NUDECK OBJECT NOMAP NOFORMAT GOSTMT NOXREF ALC NOANSF TERM 134 FLAG(1)

\*STATISTICS\* SOURCE STATEMENTS = 198, PROGRAM SIZE = 6642, SUBPROGRAM NAME = MAIN

\*STATISTICS\* NO DIAGNOSTICS GENERATED

\*\*\*\*\* END OF COMPILATION \*\*\*\*\*

1484K BYTES OF CORE NOT USED

REQUESTED OPTIONS:

OPTIONS IN EFFECT: NAME(MAIN) OPTIMIZE(2) LINC(JUNT(60) SIZE(MAX) AUTO(DBL(MONE)  
SOURCE EBCDIC NOLIST NOCHECK NOJELT NOMAP NOFORMAT POSTMT NOXREF ALL NOANSF TERM 174 FLAG(1)

C  
C

```

154 0002 SUBROUTINE ZZ(LINC,I,J)
154 0003 DIMENSION LINC(1)
154 0004 KJD=1
154 0005 IF(IJ-9115,15,20
154 0006 15 IF(IJ-1111,11,10
154 0007 11 LINE(1)=-378447432
154 0008 RETURN
154 0009 10 LINE(1)=-264224704+J*16777216
154 0010 GO TO (31,32),KJD
154 0011 20 I=I-1
154 0012 KJD=2
154 0013 JID=J/10
154 0014 JS=J
154 0015 J=J10
154 0016 GO TO 10
154 0017 32 KJD=1
154 0018 JID=JID*10
154 0019 J=JS-J10
154 0020 I=I+1
154 0021 GO TO 10
154 0022 31 RETURN
154 0023 END

```

OPTIONS IN EFFECT: NAME(MAIN) OPTIMIZE(2) LINC(JUNT(60) SIZE(MAX) AUTO(DBL(MONE)

OPTIONS IN EFFECT: SOURCE EBCDIC NOLIST NOCHECK NOJELT NOMAP NOFORMAT POSTMT NOXREF ALL NOANSF TERM 174 FLAG(1)

\*STATISTICS\* SOURCE STATEMENTS = 22, PROGRAM SIZE = 504, SUBPROGRAM NAME = ZZ

\*STATISTICS\* NO DIAGNOSTICS GENERATED

\*\*\*\*\* END OF COMPILATION \*\*\*\*\*

1536K BYTES OF CORE W/T USED

REQUESTED OPTIONS:

OPTIONS IN EFFECT: NAME(MAIN) OPTIMIZE(2) LINECJUNT(60) SIZE(MAX) AUTODBL(INONE)  
 SOURCE EBCDIC NOLIST NUDECK OBJECT NMAP NFORMAT GOSTMT NXRFF ALC NANSF TERM IPR FLAG(1)

```

C
C
C      SUBROUTINE TO NUMBER PLUS LOCATION &APRJ150
C
154 0002      SUBROUTINE NUMPR(LINE,IND,<Z)          FAPR0151
154 0003      DIMENSION LINE(1)                    FAPR0152
154 0004      IF(LINE(IND)-1077952576) 54,771,774
154 0005      54 IF(LINE(IND)+918536128) 772,771,772
154 0006      771 KHAR=<Z                          FAPR0155
154 0007      GJ TO 81                               FAPR0156
154 0008      772 IF(LINE(IND)-1514923488) 772,771,772
154 0009      772 IF(LINE(IND)-<Z)774,775,774      FAPR0158
154 0010      775 KHAR=230570212
154 0011      GJ TO 51                               FAPR0151
154 0012      774 IF(LINE(IND)-264224704) 778,61,778
154 0013      778 GJ 775 KJJ = 3+9                  FAPR0152
154 0014      KHAR=-264224704*KJJ+16177216
154 0015      IF(LINE(IND)-KHAR) 61,776,776      FAPR0154
154 0016      775 CONTINUE                          FAPR0155
154 0017      KHAR=-264224704
154 0018      51. LINE(IND)=KHAR                   FAPR0157
154 0019      RETURN                                FAPR0158
154 0020      END                                  FAPR0159
    
```

\*OPTIONS IN EFFECT:NAME(MAIN) OPTIMIZE(2) LINECJUNT(60) SIZE(MAX) AUTODBL(INONE)

\*OPTIONS IN EFFECT:SOURCE EBCDIC NOLIST NUDECK OBJECT NMAP NFORMAT GOSTMT NXRFF ALC NANSF TERM IPR FLAG(1)

\*STATISTICS\* SOURCE STATEMENTS = 19, PROGRAM SIZE = 470, SUBPROGRAM NAME = NUMPR

\*STATISTICS\* NO DIAGNOSTICS GENERATED

\*\*\*\*\* END OF COMPILATION \*\*\*\*\* 1536K BYTES OF CORE NOT USED



```

C      BUILD THE PRINT LINE
154 0045      IF(KK-25)45,45,45
154 0046      45 DO 47 MD=1,31
154 0047      47 LINE(MD)=1414023480
154 0048      DO TO 33
154 0049      45 DO 49 N=1,91
154 0050      49 LINE(N)=1077952576
154 0051      LINE(41)=-210576128
154 0052      33 IF(IJ-7)93,32,83
154 0053      83 IF(LCTN(K1,1)-KK)31,31,32
154 0054      31 IND=LCTN(K1,2)
C      IF PLOTS SUPERIMPOSED, PRINT THE NUMBER
154 0055      CALL NUMR(LINE,IND,1312037600)
154 0056      K1=K1+1
154 0057      DO TO 33
154 0058      32 IF(IJ-11)82,44,82
154 0059      82 IF(K2-NR)342,42,43
154 0060      42 IF(LCTN(K2,1)-KK)93,93,43
154 0061      93 IND=LCTN(K2,2)
154 0062      CALL NUMR(LINE,IND,KHRN)
154 0063      K2=K2+1
154 0064      DO TO 32
C      DECIDE WHETHER TO PRINT RESULTANT
154 0065      43 DO TO (161,162,163,70),K6
154 0066      161 IF(K5-1)73,164,70
154 0067      164 IF(IJ-1)73,72,70
154 0068      162 IF(K5-1)73,165,70
154 0069      165 IF(IJ-2)73,72,70
154 0070      163 IF(K5-2)73,166,70
154 0071      166 IF(IJ-2)73,72,70
154 0072      72 IF(KK-NR)70,71,70
154 0073      71 LINE(IND)=-650100572
C      PRINT THE LINE
154 0074      70 WRITE(5,111) LINE
154 0075      33 CONTINUE
154 0076      K1=1
154 0077      K2=1
154 0078      32 CONTINUE
154 0079      RETURN
154 0080      111 FORMAT(1H,51A11)
154 0081      END

```

```

EAPR5104
EAPR5105
EAPR5106
EAPR5107
EAPR5108
EAPR5109
EAPR5110
EAPR5111
EAPR5112
EAPR5113
EAPR5114
EAPR5115
EAPR5116
EAPR5117
EAPR5118
EAPR5119
EAPR5120
EAPR5121
EAPR5122
EAPR5123
EAPR5124
EAPR5125
EAPR5126
EAPR5127
EAPR5128
EAPR5129
EAPR5130
EAPR5131
EAPR5132
EAPR5133
EAPR5134
EAPR5135
EAPR5136
EAPR5137
EAPR5138
EAPR5139
EAPR5140
EAPR5141
EAPR5142
EAPR5143
EAPR5144
EAPR5145

```

```

*STATISTICS IN EFFECT:NAME(MAIN) OPTIMIZE(2) LINES(C) 160 SIZE(MAX) 40960(L)160
*STATISTICS IN EFFECT:SOURCE EDCOL NOLIST NOEXEC OBJECT NMAP NOERRNOI DOSTMT NOXREF ALC NANSF TERM 174 FLAG(1)
*STATISTICS# SOURCE STATEMENTS = 00, PROGRAM SIZE = 2214, SUBPROGRAM NAME = REFPL
*STATISTICS# NO DIAGNOSTICS GENERATED
***** END OF COMPILATION *****
*STATISTICS# NO DIAGNOSTICS THIS STEP

```

FORTRAN II EXTENDED COMPILER ENTERED

\*STATISTICS\* SOURCE STATEMENTS = 190, PROGRAM SIZE = 6642, SUBPROGRAM NAME = MAIN

\*STATISTICS\* NO DIAGNOSTICS GENERATED

\*\*\*\*\* END OF COMPILATION \*\*\*\*\*

1484K BYTES OF CORE NOT USED

\*STATISTICS\* SOURCE STATEMENTS = 22, PROGRAM SIZE = 504, SUBPROGRAM NAME = 72

\*STATISTICS\* NO DIAGNOSTICS GENERATED

\*\*\*\*\* END OF COMPILATION \*\*\*\*\*

1536K BYTES OF CORE NOT USED

\*STATISTICS\* SOURCE STATEMENTS = 19, PROGRAM SIZE = 470, SUBPROGRAM NAME = JJ433

\*STATISTICS\* NO DIAGNOSTICS GENERATED

\*\*\*\*\* END OF COMPILATION \*\*\*\*\*

1536K BYTES OF CORE NOT USED

\*STATISTICS\* SOURCE STATEMENTS = 80, PROGRAM SIZE = 2314, SUBPROGRAM NAME = NETPL

\*STATISTICS\* NO DIAGNOSTICS GENERATED

\*\*\*\*\* END OF COMPILATION \*\*\*\*\*

1520K BYTES OF CORE NOT USED

\*STATISTICS\* NO DIAGNOSTICS THIS STEP

ANEXO V

COMENTARIO AL INDICE  $I_{df} = \frac{V_P}{V_S}$

### BREVE COMENTARIO CONCERNIENTE A ESTE PROBLEMA

1) INDICE ( $I_{df}$ ) =  $\frac{V_p}{V_s}$

La velocidad de las ondas P y S,  $V_p$  y  $V_s$  aumenta con la presión, dado que la fracturación preexistente en las rocas se cierra y los módulos elásticos aumentan. Lo contrario ocurrirá si existe una descompresión. Sí, no obstante, las fracturas se llenan de agua la velocidad de las ondas P aumenta para bajas presiones. Para presiones bajas la velocidad  $V_s$  de las ondas transversales no es afectada por la presencia de agua. Una roca o formación sometida a esfuerzos diferenciales se dilata previamente a la rotura, ocasionando nuevas fracturas. Esto sugiere que en una roca, sometida a esfuerzos, la relación  $V_p/V_s$  disminuya si la roca se dilata y aumenta si penetra agua de las zonas circundantes. Este modelo "dilatación-difusión", explica las anomalías en la relación  $\frac{V_p}{V_s} = I_{df}$  (índice dilatación - difusión) que se observa cuando la roca está sometida a tensiones diferenciales.

Se sabe, así mismo, por experiencia que  $I_{df}$  disminuye durante la deformación de una roca seca y aumenta durante la deformación de una roca saturada de fluidos. Sin embargo, no se ha observado lo inverso.

Ocurre, pues, que durante la fracturación o el deslizamiento la velocidad de las ondas acústicas en las rocas varía,

siendo las variables que intervienen las siguientes:

- (1) Textura (de fracturación)
- (2) Porosidad de las fracturas.
- (3) Cantidad de volátiles.
- (4) Velocidad de deformación.
- (5) Cambio de los esfuerzos a que está sometida.
- (6) Constantes elásticas de la matriz.
- (7) Dilatación.
- (8) Dirección de propagación y polarización de las ondas (anisotropía).

Analizado un espectro de las ondas emitidas durante la fracturación se observa que la envolvente del mismo consta de tres segmentos: uno de tendencia horizontal y baja frecuencia y dos de alta frecuencia diferente pendiente y dos frecuencias "en ángulo" distintas entre sí.

Estas frecuencias en ángulo pueden utilizarse para calcular la longitud de la fractura por la fórmula de Moskovina (1971).

Existe además el fenómeno de "emisión acústica". Todas estas consideraciones apuntan a que en este tipo de investigaciones se registren simultáneamente otros impulsos aparte de los provocados, no fáciles de diferenciar o indescifrables en los registros convencionales y la posibilidad de un control de la masa rocosa durante la modificación del esfuerzo a que está sometida durante la explotación.

A N E X O VI

MEDIDAS DE CONVERGENCIA Y PRESIONES (LECTURAS)

S E C C I O N

CELULAS N°	FECHA	LECTURA	OBSERVACIONES
1	25 de Noviembre 1.980	2 kgrs/cm <sup>2</sup>	ZONA DE INFLUENCIA ESTACION DE CONVERGENCIA Núm 3 (la más distante del Tajo)
2	"	2 kgrs/cm <sup>2</sup>	"
3	"	4 kgrs/cm <sup>2</sup>	ZONA DE INFLUENCIA ESTACION DE CONVERGENCIA Núm 2 (la más próxima al Tajo)
4	"	3 kgrs/cm <sup>2</sup>	ZONA DE INFLUENCIA ESTACION DE CONVERGENCIA Núm 2 (Distante 3,40 m de la anterior, hacia la salida)

S E C C I O N

CELULAS N°	FECHA	LECTURA	OBSERVACIONES
1	28 de Noviembre 1.980	2 kgrs/cm <sup>2</sup>	ZONA DE INFLUENCIA ESTACION DE CONVERGENCIA Núm 3
2	"	2 kgrs/cm <sup>2</sup>	"
3	"	5 kgrs/cm <sup>2</sup>	ZONA DE INFLUENCIA ESTACION DE CONVERGENCIA Núm 2
4		3 kgrs/cm <sup>2</sup>	"

S E C C I O N

CELULAS N°	FECHA	LECTURA	OBSERVACIONES
1	12 de Diciembre 1.980	2 kgrs/cm <sup>2</sup>	ZONA DE INFLUENCIA ESTACION DE CONVERGENCIA Núm 3 (la más distante del Tajo)
2	"	2 kgrs/cm <sup>2</sup>	"
3	"	10 kgrs/cm <sup>2</sup>	ZONA DE INFLUENCIA ESTACION DE CONVERGENCIA Núm 2 (la más próxima al Tajo)
4	"	3 kgrs/cm <sup>2</sup>	ZONA DE INFLUENCIA ESTACION DE CONVERGENCIA Núm 2 (Distante 3,40 m de la anterior, hacia la salida)

SECCION

CELULAS N°	FECHA	LECTURA	OBSERVACIONES
1	16 de Diciembre 1.980	2 kgrs/cm <sup>2</sup>	
2	"	2 kgrs/cm <sup>2</sup>	
3	"	11,5 kgrs/cm <sup>2</sup>	Se encuentra actualmente a 18 m del frente del tajo.
4	"	3 kgrs/cm <sup>2</sup>	

S E C C I O N

CELULAS N°	FECHA	LECTURA	OBSERVACIONES
1	19 de Diciembre 1.980	2 kgrs/cm <sup>2</sup>	
2	"	2 kgrs/cm <sup>2</sup>	
3	"	15 kgrs/cm <sup>2</sup>	
4		3 kgrs/cm <sup>2</sup>	

S E C C I O N

CELULAS N°	FECHA	LECTURA	OBSERVACIONES
1	30 de Diciembre 1.980	2 kgrs/cm <sup>2</sup>	
2	"	2 kgrs/cm <sup>2</sup>	
3	"	26 kgrs/cm <sup>2</sup>	Se encuentra a 6 m del hastial del tajo.
4		NUEVA MEDICION 2,5 kgrs/cm <sup>2</sup>	Se ha soltado, por haberse desmoronado el carbón sobre el que estaba apoyada, se coloca nuevamente 1 metro más hacia el pozo
			de acceso y se le da presión nuevamente.

S E C C I O N

CELULAS N°	FECHA	LECTURA	OBSERVACIONES
1	2 de Enero de 1.981	2 kgrs/cm <sup>2</sup>	
2	"	2 kgrs/cm <sup>2</sup>	
3	"	28 kgrs/cm <sup>2</sup>	Se encuentra a 1 m del tajo.
4	"	25 kgrs/cm <sup>2</sup>	

S E C C I O N

CELULAS N°	FECHA	LECTURA	OBSERVACIONES
1	13 de Enero de 1.981	2 kgrs/cm <sup>2</sup>	
2	"	2 kgrs/cm <sup>2</sup>	
3	"	3,5 kgrs/cm <sup>2</sup>	
4	"	4 kgrs/cm <sup>2</sup>	

MEDIDAS DE CONVERGENCIA 25 de Noviembre de 1.980

ESTACION Núm.	PUNTOS	DISTANCIA EN- TRE PUNTOS	PUNTOS	DISTANCIA EN- TRE PUNTOS	PUNTOS	DISTANCIA ENTRE PUNTOS
1 <sup>a</sup>	1-3	1'82 m	2-7	1'78 m	7-4	2'77 m
	3-5	2'54 m	7-6	1'96 m	4-6	2'10 m
	5-1	3'58 m	2-6	3'18 m	6-7	1'96 m
2 <sup>a</sup>	1-3	2'25 m	2-7	2'00 m	7-4	2'15 m
	3-5	2'24 m	7-6	1'70 m	4-6	1'58 m
	1-5	3'52 m	2-6	3'16 m	7-6	1'70 m
3 <sup>a</sup>	1-3	1'70 m	2-7	2'12 m	7-4	2'31 m
	3-5	2'43 m	7-6	1'60 m	4-6	1'84 m
	5-1	3'29 m	6-2	3'20 m	7-6	1'60 m
1 <sup>a</sup>	1-3	1'69 m	2-7	2'10 m	7-4	<u>28 de Noviembre 1.980</u> 2'28 m
	3-5	2'42 m	7-6	1'80 m	4-6	1'75 m
	5-1	3'32 m	2-6	3'35 m	6-7	1'80 m
2 <sup>a</sup>	1-3	2'15 m	2-7	2'05 m	7-4	1'98 m
	3-5	2'25 m	7-6	1'50 m	4-6	1'25 m
	1-5	3'62 m	2-6	3'04 m	7-6	1'50 m
3 <sup>a</sup>	1-3	1'80 m	2-7	2'10 m	7-4	2'74 m
	3-5	2'50 m	7-6	1'95 m	4-6	2'10 m
	5-1	3'60 m	6-2	3'20 m	7-6	1'95 m

A N E X O VII

LISTADO PROGRAMA 3D-SOLID SAP



DEVICE 130 MODE C3

BLOCK COUNT = NO

FILE MARK

BLOCK 170 DATA 80 ECF1BATA BOPAGE0010002 76170-0000000P04

BLOCK 171 DATA 80 ECF2FB3200000030N0422541/DATA 8-85763

FILE MARK

BLOCK 173 DATA 80 HDR1SSAP BOPAFCE0010003 76178 0000000000

BLOCK 174 DATA 80 HDR2FB3200000030N0422541/DATA 8 85763

FILE MARK

BLOCK 176 DATA 3200

C\*\*\*\*\*  
C SAP2 A STATIC ANALYSIS PROGRAM FOR THREE-DIMENSIONAL STRUCTURES  
C\*\*\*\*\*

COMMON /JUNK / HED(20),JUR(210)  
COMMON /ELPAR / NPAR(14),MUNP,MAND,NELTYP,M1,M2,M3,M4,M5,M101,MEQ  
1\*LEFEB

COMMON /EN / 00012594

C\*\*\*\*\*  
C PROGRAM CAPACITY CONTROLLED BY THE FOLLOWING THREE STATEMENTS  
C\*\*\*\*\*

COMMON A(15000)  
REAL\*8 AD(7500)  
EQUIVALENCE (A(11),AD(11))

C\*\*\*\*\*  
C-----PROGRAM CONTROL DATA  
C\*\*\*\*\*

5 READ(15,1001) MEO,MUNMP,NELTYP,LL  
IF (MUNMP.EQ.0) STOP  
WRITE(6,200) MEO,MUNMP,NELTYP,LL

C\*\*\*\*\*  
C-----INPUT JOINT DATA--TD ARRAY ON TAPE B  
C\*\*\*\*\*

M1=1  
M2=M1\*6\*MUNMP  
M3=M2\*MUNMP  
M4=M3\*MUNMP  
M5=M4\*MUNMP  
M6=M5\*MUNMP

CALL INPUT(AIN1),AIN2),AIN3),AIN4),AIN5),MUNMP,NEQ)  
CALL FORM-ELFMENT-S1FFN(SPEC--S1FF,ON-TAPE,12-S1FFSS,MATRIX-ON-TAPE)  
C\*\*\*\*\*

MHAND=0  
C\*\*\*\*\*



\*\*\* DEVICE 130 MODE C3

BLOCK COUNT = 00

NUMFL=0

REWIND-1

REWIND 12

DO 900 M=1,NCLTYP

REAB -15,10R11-NPAR

BLOCK 177 DATA 3200

WRITE -11-NPAR

NUMFL=NUMFL+NPARI2

MTYPE=MPAR11

CALL FTYPE-1A,N10T,M1YPE1

900

CONTINUE

C\*\*\*\*\*  
C-----INPUT MODAL LOADS AND JOINT MASSES-----WRITE ON TAPE 11  
C\*\*\*\*\*

NEOR=(INDT-4\*LL)/2/(MRAND\*LL+1)/2

NHLOCK=(NEQ-1)/NEOR+1

IF (NEOR.GT.NE01) NEOR=NE0

N3=N2+6\*LL

NO3=NO3+NEOR\*LL

CALL INFLA(NT1,AIN21,ADIND3,ADIND4,1,NUMNP,NE0D,LL)

C\*\*\*\*\*  
C-----FORM TOTAL STIFFNESS MATRIX --ON TAPE 10  
C\*\*\*\*\*

NE2B=2\*NE0D

NO2=N1+NE2B\*MRAND

NO3=NO2+NE2B\*LL

NO4=NO3+NE2B

NO4=IND4-11\*2+1

NO5=NO4\*LL

IF (NS.GT.M101) CALL ERROR(NE-M101)

CALL ADOS1(FADVIN1,ADIND2,ADIND3,AIN4),NUMEL,NBLOCK,NE2B,  
\*LT,MRAND1

C\*\*\*\*\*  
C-----SOLVE FOR DISPLACEMENT UNKNOWNNS  
C\*\*\*\*\*

NSH=(MRAND\*LL)+NEQR

N2=N1+NEQR

NO2=N2/2+1

NO3=NO2+NSB

CALL USOLA(AIN1,ADIND2),ADIND3,NEQR,MRAND,LL,NBLOCK,NSB,10,11,9,  
\*12,121

C\*\*\*\*\*  
C-----PRINT DISPLACEMENTS  
C\*\*\*\*\*

BLOCK 178 DATA 1200

N2=N1+NUMR6\*6

NO2=N2/2+1

NO3=NO2+6\*LL

CALL PRINDIA(NT1,ADIND2),ADIND3,NEQR,NUMNP,LL,NBLOCK,NE0,121  
C\*\*\*\*\*

C-----COMPUT STRESSES



\*\*\* DEVICE 130 MODE C3

```

BLOCK COUNT = NO
C*****
N2=N1+4+LL
NH2=N2/2+1
N3=(ND2-1)*NEQB+LL)*2+1
LB=(MTOT-N3)/(NEQ+12)
CALL STRESS(AIN1),AD(ND2),AIN3,NEQB,LB,LL,HEQ,NBLOCK,A,MTOT)
GO TO 5

```

```

C*****
100 FORMAT(20A4/6I5)
200 FORMAT(1H1,20A4//)
. 20H NUMBER OF NODAL POINTS = ,15//
. 20H NUMBER OF ELEMENT TYPES = ,15//
. 20H NUMBER OF LOAD CASES = ,15//
201 FORMAT(34H2 TOTAL NUMBER OF EQUATIONS =,15,
1 /34H BANDWIDTH =,15,
2 /34H NUMBER OF EQUATIONS IN A BLOCK =,15,
3 /34H NUMBER OF BLOCKS =,15)

```

```

100) FORMAT (14I5)
END
SUBROUTINE INPUT(JID,X,Y,Z,I,NUMNP,NEQ)
C*****
C----READ OR GENERATE NODAL POINT DATA
C*****

```

```

DIMENSION X(NUMNP),Y(NUMNP),Z(NUMNP),ID(NUMNP),I(NUMNP)
WRITE (6,2000)
WRITE (6,2001)
NOLD=0
30 READ (5,1000) N,(IDIN,I),I=1,6),X(N),Y(N),Z(N),KN,T(N)
WRITE (6,2002) N,(IDIN,I),I=1,6),X(N),Y(N),Z(N),KN,T(N)
IF (NOLD.EQ.0) GO TO 50

```

```

C*****
C----CHECK IF GENERATION IS REQUIRED
C*****
DO 20 I=1,6

```

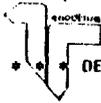
BLOCK 179 DATA 3200

```

IF (IDIN,I).EQ.0.AND.ID(NOLD,I).LT.0) IDIN,I)=ID(NOLD,I)
20 CONTINUE
IF (KN.EQ.0) GO TO 50
NUM=(N-NOLD)/KN
NUMN=NUM-1
IF (NUMN.LT.1) GO TO 50
XNUM=NUM
DX=(X(N)-X(NOLD))/XNUM
DY=(Y(N)-Y(NOLD))/XNUM
DZ=(Z(N)-Z(NOLD))/XNUM
DT=(T(N)-T(NOLD))/XNUM
K=NOLD
DO 30 J=1,NUMN
KK=K
K=K+KN
X(K)=X(KK)+DX
Y(K)=Y(KK)+DY
Z(K)=Z(KK)+DZ
T(K)=T(KK)+DT

```

219



\*\*\* DEVICE 100 MODE C3

```

BLOCK COUNT = NO
DO 30 I=1,6
  ID(I,1)=ID(IK,I)
  IF (ID(I,1).GT.1) ID(I,1)=ID(IK,I)+KN
30 CONTINUE
50 NODEN=
  I=(N.NE.NUMNP) GO TO 10
C-----PRINT ALL NODAL POINT DATA
C-----
  WRITE (6,2003)
  WRITE (6,2005) (N,(ID(N,I),I=1,6),X(N),Y(N),Z(N),T(N),N=1,NUMNP)
C-----NUMBER UNKNOWN AND SET MASTER NODES NEGATIVE
C-----
  NEQ=0
  DO 60 N=1,NUMNP
    DO 60 I=1,6
      ID(N,I)=IABS(ID(N,I))
      IF (ID(N,I)=1) 57,58,59
60 CONTINUE
57 NEQ=NEQ+1

```

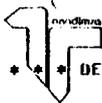
BLOCK 180 DATA 3200

```

10(N,1)=NEQ
GO TO 60
58 ID(N,1)=0
GO TO 60
59 ID(N,1)=-ID(N,1)
60 CONTINUE
WRITE (6,2004) (N,(ID(N,I),I=1,6),N=1,NUMNP)
REWIND 8
WRITE (8) ID
C-----
RETURN
1000 FORMAT (7I5,3E10,0.15,F10.0)
2000 FORMAT (//23H NODAL POINT INPUT DATA /
2001 FORMAT (5HNODE,3X,24HBOUNDARY CONDITION CODES ,11X,
. 23H NODAL POINT COORDINATES / 7H NUMBER,2X,1HX,4X,1HY,4X,1HZ,3X,
. 2HX,3X,2HY,3X,2HZ,12X,1HX,12X,1HY,12X,1HZ,12X,1HT /
2002 FORMAT (15,6I5,3F13.3,15,F13.3)
2003 FORMAT (//21H GENERATED NODAL DATA /
2004 FORMAT (//17H EQUATION NUMBERS /
1 35H N X Y Z YX YY ZZ / 17I5))
2005 FORMAT (15,6I5,4F13.3)
END
SUBROUTINE FLTYPE (A,HTOT,MTYPE)
C-----CALL APPROPRIATE ELEMENT SUBROUTINE
C-----
DIMENSION A(HTOT)
GO TO (1,2,3,4,5,6,7,8),MTYPE
C-----THREE DIMENSIONAL TRUSS ELEMENTS
C-----
) CALL TRUSS(A,HTOT)

```

220



\*\*\* DEVICE 130 MODE C3

BLOCK COUNT = NO

GO TO 900

C\*\*\*\*\*

C----THREE DIMENSIONAL BEAM ELEMENTS

C\*\*\*\*\*

2 CALL BEAMIA,MTOT)

GO TO 900

C\*\*\*\*\*

E----PLANE STRESS ELEMENTS

BLOCK 181 DATA 3200

C\*\*\*\*\*

3 CALL PLANE (A,MTOT)

GO TO 900

C\*\*\*\*\*

C----AXISYMMETRIC SOLID ELEMENTS

C\*\*\*\*\*

4 CALL PLANE (A,MTOT)

GO TO 900

C\*\*\*\*\*

C----THREE-DIMENSIONAL SOLID ELEMENTS

C\*\*\*\*\*

5 CALL THREE (A,MTOT)

GO TO 900

C\*\*\*\*\*

C----PLATE BENDING ELEMENTS

C\*\*\*\*\*

6 CALL SHELL (A,MTOT)

GO TO 900

C\*\*\*\*\*

C----BOUNDARY ELEMENTS

C\*\*\*\*\*

7 CALL BOUND (A,MTOT)

GO TO 900

C\*\*\*\*\*

C----THICK SHELL ELEMENTS

C\*\*\*\*\*

8 CALL THKSHL (A,MTOT)

900 RETURN

END

SUBROUTINE INL (ID,TR,B,IMASS,NUMNP,NEOR,LL)

C\*\*\*\*\*

C----INPUT NODAL LOADS AND MASSES

C\*\*\*\*\*

REAL\*8 BINEOR,LLI,IMASS (NEOR)

DIMENSION ID (NUMNP,6),TR (6,LL)

COMMON / JUNK / R (6),TX (6)

NI=JJ

REWINI NI

KSHF=0

WRITE (6,2002)

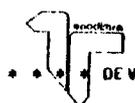
BLOCK 182 DATA 3200

DO 750 I=1,NEOR

IMASS (I)=0.

DO 750 K=1,LL

- 221



\*\*\* DEVICE 130 MODE C3

```

BLOCK COUNT = NO
750 B(I,K)=0.0
    DO 900 NN=1,NUMNP
    DO 100 I=1,6
    TXM(I)=0.
    DO 100 J=1,LL
100 TR(I,J)=0.0
    IF (NN.EQ.1) GO TO 300
150 IF (N.NE.NN) GO TO 400
    DO 200 I=1,6
    IF (I) 180,180,190
180 TXM(I)=R(I)
    GO TO 200
190 TR(I,I)=R(I)
200 CONTINUE
300 READ (5,1001) N,L,R
    IF (N.EQ.0) GO TO 150
    WRITE(6,2001) N,L,R
    GO TO 150
400 DO 800 J=1,6
    IJ=10*NN.JI=KSHF
    IF (IJ) 800,800,500
500 DO 600 K=1,LL
600 B(IJ,K)=TR(IJ,K)
    THASS(IJ)=TXM(IJ)
610 IF (IJ.NE.NEQB) GO TO 800
    WRITE (INT) B,THASS
    KSHF=KSHF+NEQB
    DO 700 I=1,NEQB
    THASS(IJ)=0.
    DO 700 K=1,LL
700 B(I,K)=0.0
800 CONTINUE
900 CONTINUE
    WRITE (INT) B,THASS
C*****
    RETURN
1001 FORMAT (2I5,7F10.4)

```

222

BLOCK 183 DATA 3200

```

2001 FORMAT (2I5,7F10.3)
2002 FORMAT (23H2.....NODAL POINT LOADS // 10H NODE LOAD,23X,
. 14HAPPLIED LOADS / 10H NO. CASE ,6X, 2HRX, 6X,
. 2HRV,6X,2HRZ,6X,2HMV,6X,2HMY,6X,2HMZ )
END
SUBROUTINE ADJUST(A,B,THASS,STR,NUMEL,NRLOCK,NE2B,LL,NRAND)
C*****
C----FORMS GLOBAL EQUILIBRIUM EQUATIONS IN BLOCKS
C*****
REAL*8 A(NE2B,NRAND),B(NE2B,LL),THASS(NE2B)
REAL*8 SS CCCCCC
DIMENSION STR(4,LL)
COMMON /EM/ LRD,ND,LN(24),SS(256) CCCCCC
NEQB=NE2B/2
K=NEQB+1
X=NRLOCK

```



\*\*\* DEVICE 130 MODE C3

BLOCK COUNT = NO

MB=SORI XI

MB=H2.1

NEB=MB+NE2B

NR=1

NUM9=0

NSHIFT=0

REIND 11

REIND 10

C-----READ ELEMENT LOAD MULTIPLES

WRITE (6,2001)

DO 50 L=1,LL

READ (5,1002) (STR1(L),I=1,4)

50 WRITE (6,2002) L, (STR1(L),I=1,4)

WRITE (8) STR

C-----FORM EQUATIONS IN BLOCKS I 2 BLOCKS AT A TIME I  
C-----

DO 100 M=1, NR\*ELEM-2

DO 100 I=1, NE2B

DO 100 J=1, NR\*AND

100 A(I,J)=0

READ (11) (IR1(L),I=1,NEQB), L=1,LL, (IMASS(I),I=1,NEQB)

BLOCK 184 DATA 2200

IF (H.EQ.NLOCK) GO TO 200

200 CONTINUE  
READ (11) (IR1(L),I=1,NE2B), L=1,LL, (IMASS(I),I=1,NE2B)

REIND 9

REIND 12

NR=9

NUM9=NUM9

IF (NR.NE.1) GO TO 75

NR=12

NUM9=NUM9

NUM9=0

75 DO 700 N=1, NUM9

READ (NA) LR0, NR, (LRN(I),I=1, NR), (SS(I),I=1, LR0)

CCCCCCCC

DO 600 I=1, NR

LRN=I-LR(I)

I=LR(I)-NSHIFT

IF (I.LT.0.OR.II.GT.NE2B) GO TO 600

DO 300 J=1, 4

NR=NR+(ND+J-1)

300 D(I,I,LR)=D(I,I,LR)+(K1\*STR1(J),L=1,LR)

CCCCCCCC

DO 500 J=1, NR

JJ=LRN(J)+LRN

IF (JJ.LT.500) 500, 390

390 NR=NR+J-ND

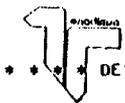
400 A(I,J)=A(I,J)+SS(I)\*(K1)

CCCCCCCC

500 CONTINUE

600 CONTINUE

\*\*\*\*\*



\*\*\* DEVICE 110 MODE C3

```

BLOCK COUNT = NO
C----- DETERMINE IF STIFFNESS IS TO BE PLACED ON TAPE 9
C*****
IF (MM.GT.1) GO TO 700
DO 650 I=1,ND
I1=EM(I)-NSHIFT
IF (I1.GT.NE2B.AND.(I1.LE.NE2B)) GO TO 660
650 CONTINUE
GO TO 700
660 WRITE (9) LRD,ND,(EM(I),I=1,ND),(ISS(I),I=1,LRD)          CCCCCCCC
NUM9=NUM9+1
700 CONTINUE

```

BLOCK 185 DATA 3200

```

WRITE (10) (IA(I),J,I=1,NEQR), (J=1,MBAND), (IB(I),L,I=1,NEQR), (L=1,LL)
IF (M.EQ.NBLOCK) GO TO 1000
WRITE (10) (IA(I),J), (I=K,NE2B), (J=1,MBAND), (IB(I),L), (I=K,NE2B), (L=1,LL)
IF (MM.EQ.MR) MM=0
MM=MM+1
1000 NSHIFT=NSHIFT+NE2B
C*****

```

```

RETURN
1002 FORMAT (4F10.0)
2000 FORMAT (10H2STRUCTURE,12X,25HELEMENT-LOAD-MULTIPLIERS- /
. 10H LOAD CASE,9X,1HA,9X,1HB,9X,1HC,9X,1HD /)
2002 FORMAT (16,7X,4F10.3)
END

```

```

SUBROUTINE USOL (MAXR,A,B,NEQB,MB,LL,NBLOCK,NSB,NORG,NBKS,NT1,
.NT2,NRST)
C*****

```

C----- SOLUTION OF SIMULTANEOUS EQUATIONS

```

C*****
DIMENSION MAXR(NEQB)
REAL *8 A(NSR),B(NSB)
NC=MB*LL
NBR=(MR-1)/NEQB+1
INC=NEQR-1
NMB=NEQB*MB
N2=NT2
N1=NT1
REWIND NORG
REWIND NBKS
C*****

```

C----- REDUCE EQUATIONS BLOCK-BY-BLOCK

```

C*****
DO 900 N=1,NBLOCK
IF (M.GT.1.AND.NBR.EQ.1) GO TO 110
IF (NBR.EQ.1) GO TO 105
REWIND N1
REWIND N2
105 N1=N1
IF (M.EQ.1) N1=NORG
READ (N1) A
110 DO 300 I=1,NEQB

```

\*\*\* DEVICE 130 MODE C3  
BLOCK 186 CATA 3200

BLOCK COUNT = 00

D=ALL

1-FD1-145-300,150

115 M=NEQR+IN-11+1

WRITE (6,116) M,0

120-11-1

DO 125 J=2,NC

11=11+NEQB

125 A=111+111/0

DO 130 J=1,NMD,NEQB

IF (A(J),NE,0) MAX(11)=J

130-CONTINUE

J1=1

IF (JL,GT,NEQB) GO TO 300

11=1

DO 200 J=JL,NEQB

11=11+NEQB

1-F11,GT,(M,0)-00-TO-200

C=ALL

IF (C,EO,0,01) GO TO 200

2-2-ALL

KK=J-11

MAX=MAX(11)

00-150-2-11+MAX+NEQB

150 A(JJ,K)=A(JJ,K)-C(AJJ)

KK=J+M,0

DO 175 L=1,LL

A(KK)=A(KK)-C(AJJ)

KK=KK+NEQB

175 J1=J+NEQB

200 CONTINUE

300 CONTINUE

WRITE (NRKSI) A,MAX

C\*\*\*\*\*

SUBSTITUTE INTO REMAINING EQUATIONS

C\*\*\*\*\*

DO 800 NN=1,NBR

1-F11+M,GT,NBLOCK) GO TO 800

N)=N

1-F(N,CO,1) N1=NEQB

BLOCK 187 CATA 3200

1-F(NN,EO,NBR) N1=NEQB

READ (N1) B

1-F=1+NN+NEQB+NEQB

11=1

DO 700 I=1,NEQB

00 690 K=1,NEQB

1-F 111,GT,M,01 GO TO 690

C=ALL

1-F 1C,EO,0,01 GO TO 690

C=C+A(K)

MAX=MAX(K)

KK=1-11

00 690 JJ=1,MAX,NEQB



DEVICE 130 MODE C3

```

BLOCK COUNT = NO
640 B(IJ, KK) = B(IJ, KK) - C * A(IJ)
KK = I + NMB
JJ = K + NMB
DO 650 L = 1, LL
B(KK) = B(KK) - C * A(IJ)
KK = KK + NEQB
650 JJ = JJ + NEQB
690 FT = I - INC
700 IL = IL + NEQB
IF (NBR, NE, 1) GO TO 750
DO 740 I = 1, NSB
740 A(I) = B(I)
GO TO 800
750 WRITE (IN2) B
800 CONTINUE
M = N1
N1 = N2
900 N2 = H
C*****
C-----BACKSUBSTITUTION - RESULTS ON TAPE NRST
C*****
LS = LL + NEQB
NEB = NEQB * (NBR + 1)
NUM = NBR * NEQB
MAX = NEB * LL
DO 905 I = 1, MAX
905 B(II) = 0.

```

BLOCK 188 DATA 3200

```

REWIND NRST
DO 1000 N = 1, NRBLOCK
BACKSPACE NRKS
READ (NRKS) A, MAXB
BACKSPACE NRKS
DO 910 L = 1, LL
K = L * NEB
DO 910 J = 1, NUM
I = K + NEQB
B(K) = B(I)
910 K = K - 1
I = NMB
DO 920 L = 1, LL
K = (L - 1) * NEB
DO 920 J = 1, NEQB
I = I + 1
K = K + 1
920 B(K) = A(I)
DO 955 I = 1, NEQB
J = NEQB + 1 - I
MAX = MAXB(I, J)
IF (A(I, J), EQ, 0.) GO TO 955
DO 950 L = 1, LL
KK = J + (L - 1) * NEB
JJ = KK + 1
IL = J + NEQB

```

226



DEVICE 130 MODE C3

```

BLOCK COUNT = NO
C=RIKKI
DO 940 J=IL,MAX,NEQB
C=C-A(IJ)*R(JJ)
940 JJ=JJ+1
950 RIKKI=C
955 CONTINUE
I=0
DO 960 L=1,LL
K=IL-1+NR
DO 960 J=1,NEQB
K=K+1
I=I+1
960 A(I)=B(K)
WRITE (NRST) (A(I),I=1,LS)

```

BLOCK 189 DATA 3200

```

1000 CONTINUE
C*****
RETURN
116 FORMAT (33HSET OF EQUATIONS MAY BE SINGULAR /
. 26H DIAGONAL TERM OF EQUATION ,I8, 8H EQUALS ,1PE12.4)
END
SUBROUTINE PRINT(D,D,RD,NEQB,NUMNP,LL,NBLOCK,NEQNT)
C*****
C----PRINT NODAL DISPLACEMENTS
C*****
DIMENSION ID(NUMNP,6)
REAL*8 D(6,LL),B(NEQB,LL)
REWIND B
REWIND B
READ (8) ID
N=NEQ
NH=NEQB*NBLOCK
WRITE (6,2003)
N=NUMNP
DO 500 KK=1,NUMNP
I=6
DO 250 J=1,6
DO 100 L=1,LL
100 D(I,L)=0.
IF (N.GT.NH) GO TO 150
IF (N.EQ.0) GO TO 150
READ (NT) B
NH=NH-NEQB
150 IF (ID(N,1).LT.1) GO TO 250
K=N-NH
M=M-1
DO 200 L=1,LL
200 D(I,L)=B(K,L)
250 I=I-1
WRITE (6,2004) N,IL,(D(I,L),I=1,6),L=1,LL)
500 N=N-1
C*****
RETURN
2003 FORMAT (40H).....NODE DISPLACEMENTS AND ROTATIONS//

```

227





\* \* \* DEVICE 130 MODE C3

BLOCK COUNT = NO

IF INNEQ.0) N=NEQ-NO+NEQ

NO=NO-NEQB

DO 200 J=1,N

I=NO+J

00-200-LSL-FH

K=L+LLI

200 DIL,K=BIJ,LI

LR=H-LI-I

\*\*\*\*\*  
C-----CALCULATE STRESSES FOR ALL ELEMENTS FOR LB LOAD CONDITIONS  
\*\*\*\*\*

REIND I

DO 1000 M=1,NELTYP

READ I-I-NPAR

MYPE=NPARII

NPARII=0

CALL ETYPE-IA\*H10I-MTPEI

1000 CONTINUE

\*\*\*\*\*

RETURN

END

SUBROUTINE STRSCISTR,D,NEU,NTAG,NL,LBI

\*\*\*\*\*  
C  
\*\*\*\*\*

REAL\*8-B\*II

COMMON/JUNK/SGI20I,SGI7I,LI,LH,L

COMMON/EM/NS,ND,LH(24),R(20,24),II(20,4)

DIAMENSION-STR(4,NL),D(NEQ,LI-I)

IF (NTAG.EQ.0) GO TO 800

- 229

1 BLOCK 192 DATA 3200

LI=L-LI+1

DO 300 I=1,NS

SGII=0.0

DO 100 J=1,N

300 SG(II)=SG(II)+I(II,J)\*STR(J,LI)

DO 500 J=1,ND

JJ=LH+J

IF(JJ.EQ.0) GO TO 500

DO 400 I=1,NS

400 SG(II)=SG(II)+R(II,J)\*J,LI

500 CONTINUE

GO TO 900

800 READ (I) N\*NS,(LH+II,I=1,ND),II B(II,J),I=1,NS),J=1,ND)

1 (I(II,I),J)=1,NS),J=1,4)

\*\*\*\*\*  
C  
\*\*\*\*\*

900 RETURN

END

SUBROUTINE-ERRORIN)

WRITE (6,2000) N

2000 FORMAT (// 20H STORAGE EXCEEDED BY (I6)

STOP

END

SUBROUTINE PLANT(A,M10I)



\*\*\* DEVICE 130 MODE C3

BLOCK COUNT = NO

```

C*****
C-----PLANE-STRESS/PLAIN-STRAIN-ELEMENTS
C*****
DIMENSION A(101)
COMMON /ELPAR/ NPAR(14), NUMNP, MBAND, NELTYP, N1, N2, N3, N4, N5, MTT, NEOPLAX 3
I, LL, LB
COMMON /EM/ NS, ND, LH(48), B(48, 48), TI(48, 4) PLAX 4
COMMON /JUNK/ SG(29), SIG(7), LT, LH, L, EXTRAF(49)
DIMENSION STRLAB(5) PLAX 6
DATA STRLAB/ SICEN, 3HL-T, 3HJ-K, 3HI-J, 3HK-L/ PLAX 7
IF (NPAR(1).EQ.0) GO TO 200 PLAX 8
IF (NPAR(1).EQ.3) NPAR(5)=2 PLAX 9
IF (NPAR(5).EQ.0) WRITE (6, 2000) PLAX 10
IF (NPAR(5).EQ.1) WRITE (6, 2001) PLAX 11
IF (NPAR(5).EQ.2) WRITE (6, 2002) PLAX 12
IF (NPAR(1).EQ.3) WRITE (6, 2003) PLAX 13
IF (NPAR(6).NE.0) WRITE (6, 2004) PLAX 14

BLOCK 191 DATA 3200
IF (NPAR(4).EQ.0) NPAR(6)=1 PLAX 15
NUMMAT=NPAR(3)
N6=N5+NUMNP PLAX 16
N7=N6+NPAR(3) PLAX 17
N8=N7+NPAR(3) PLAX 18
N9=N8+NPAR(3) PLAX 19
N10=N9+NPAR(3) PLAX 20
MH=N10+11*NPAR(4)+NPAR(3)*NTOT PLAX 21
IF (MH.GT.0) CALL ERROR(MH) PLAX 22
CALL PLNAX(AIN11, AIN21, AIN31, AIN41, AIN51, AIN61, AIN71, AIN81, AIN91, PLAX 23
IA(IN1), NPAR(4), NUMNP, NUMMAT)
RETURN PLAX 25

C
200 NUNE=NPAR(2) PLAX 26
IF (NPAR(5).EQ.0) WRITE(6, 2000) PLAX 27
IF (NPAR(5).EQ.1) WRITE(6, 2001) PLAX 28
IF (NPAR(5).EQ.2) WRITE(6, 2002) PLAX 29
WRITE(6, 2005) PLAX 30
DO 800 MH=1, NUNE PLAX 31
CALL STRSC(A(IN1), A(IN3), NEO, 0, LL, LB) PLAX 32
IF (MS.EQ.1) GO TO 800 PLAX 34
WRITE (6, 3000) MH PLAX 35
DO 700 L=LT, LH PLAX 36
CALL STRSC(A(IN1), A(IN3), HEQ, 1, LL, LB)
ITAG=0 PLAX 38
510 DO 600 KK=1, NS, 4 PLAX 39
ITAG=ITAG+1 PLAX 40
DO 520 I=1, 4 PLAX 41
II=KK-1+I PLAX 42
520 SJG(I)=SG(III) PLAX 43
CC=(SIG(11)+SIG(21))/2.0 PLAX 44
RR=(SIG(11)-SIG(21))/2. PLAX 45
CR=SQR(4RR**2+SIG(41)**2) PLAX 46
SIG(51)=CC+CR PLAX 47
SIG(61)=CC-CR PLAX 48
SIG(71)=0.0 PLAX 49

```

230



DEVICE 130 MODE C3

BLOCK COUNT = NO  
IF (1RB.EQ.0.0).AND.(SIG(4).EQ.0.0) GO TO 600  
SIG(7)=28.648\*ATAN2(SIG(4),PBI)  
600 WRITE (6,3001) L,STRLABITAG1,(SIG(1),I=1,7)  
700 CONTINUE

PLAX 50  
PLAX 51  
PLAX 52  
PLAX 53

BLOCK 194 DATA 3200

800 CONTINUE  
C\*\*\*\*\*  
RETURN  
2000 FORMAT (22H1AXISYMMETRIC ANALYSIS )  
2001-~~FORMAT (22H1PLANE STRAIN ANALYSIS )~~  
2002-~~FORMAT (22H1PLANE STRESS ANALYSIS )~~  
2003-~~FORMAT (18H MEMBRANE ELEMENTS )~~  
2004-~~FORMAT (130H INCOMPATIBLE NODES SUPPRESSED )~~  
2005-~~FORMAT (14H STRESS OUTPUT )~~  
3000-~~FORMAT (14H ELEMENT NUMBER,15,5X,84H CENTER STRESSES IN LOCAL Y-Z PLANE,  
COORDS, BOUNDARY STRESSES-NORMAL AND PARALLEL TO SIDES1,  
/1X,5H LOAD,17X,3HS)1,12X,3HS22,12X,3HS33,12X,3HS12,10X,  
5HS-MAX,10X,5HS-MIN,5X,5H ANGLE)~~  
3001-~~FORMAT (11X,15,2X,A3,1P6F15.6,7BP-1F10.3)~~  
END  
SUBROUTINE PLNAXI(D,X,Y,Z,T,NTC,WT,RO,WANG,E,NUMTC,NUMNP,NUMMAT)

PLAX 54  
PLAX 55  
PLAX 56  
PLAX 57  
PLAX 58  
PLAX 59  
PLAX 60  
PLAX 61  
PLAX 62  
PLAX 63  
PLAX 64  
PLAX 65  
PLAX 66  
PLAX 67  
PLAX 68

C-----DEVELOP ISOPARAMETRIC PLAIN STRESS/PLAIN STRAIN ELEMENT STIFFNESS  
C\*\*\*\*\*  
DIMENSION X(INUMNP),Y(INUMNP),Z(INUMNP),ID(INUMNP-6),NTC(INUMMAT),  
1 WT(INUMMAT),RO(INUMMAT),WANG(INUMMAT),E(INUMTC,1),NUMMAT),T(INUMNP)  
COMMON /ELPAR/ NPAR1(4),NUMPN,HBAND,HELTYP,N1,N2,N3,N4,N5,MTOT,NEOPLAX  
REAL\*8 S,P,XM,B,T,RO  
COMMON /EH/ LH(12),S1(2,4),P1(2,4),XM(12),H(20,12),UH(20,12),  
1 H(16),HR(16),HZ(16),FAC,XMM,PRESS,NS,EC(10),TJ(4),PR(12,4),THICK  
3 ,TMI(4),TPI(2),ALPI(4)  
COMMON /JUNK/ MAT,NT,TEMP,REFI,BETA,U(4),V(4),W(4),G(4)

PLAX 71  
PLAX 72  
PLAX 73  
PLAX 74  
PLAX 75  
PLAX 76  
PLAX 77

C  
NUME=NPAR12  
WRITE (6,2000) NUME,NUMMAT,NUMTC  
C-----READ AND PRINT OF MATERIAL PROPERTIES  
C\*\*\*\*\*  
DO 60 M=1,NUMMAT  
READ (5,1010) MAT,NTC(MAT),WT(MAT),RO(MAT),WANG(MAT)  
IF (NTC(MAT).EQ.0) NTC(MAT)=1  
WRITE (6,2020) MAT,NTC(MAT),WT(MAT),RO(MAT),WANG(MAT)  
NT=NTC(MAT)  
READ (5,1005) I(F(T,J,MAT),J=1,11),I=1,NT

PLAX 78  
PLAX 79  
PLAX 80  
PLAX 82  
PLAX 83  
PLAX 84  
PLAX 85  
PLAX 86  
PLAX 87  
PLAX 88

BLOCK 195 DATA 3200

WRITE (6,2010) I(F(T,J,MAT),J=1,11),I=1,NT  
IF (.NPAR15).NE.2) GO TO 60  
60 CONTINUE  
READ (5,1002) I(FMUL(I,J),J=1,5),I=1,4  
IF (.NPAR11.EQ.3) WRITE (6,2004) I(FMUL(I,J),J=1,5),I=1,4  
IF (.NPAR11.EQ.4) WRITE (6,2005) I(FMUL(I,J),J=1,5),I=1,4  
C\*\*\*\*\*

PLAX 89  
PLAX 90  
PLAX 91  
PLAX 92  
PLAX 93  
PLAX 94

231



\*\*\* DEVICE 120 MODE C3

```

BLOCK COUNT = NO
C-----READ AND PRINT OF ELEMENT PROPERTIES PLAX 96
E*****
WRITE 16,20021 PLAX 98
N=0 PLAX 99
130 READ(15,10031) N, I(1), I=1, 5), REFT, PRESS, NS, KG, THICK PLAX 100
MAT=I(15) PLAX 101
IF(KG.EQ.0) KG=1 PLAX 102
IF(.INPARI5).EQ.1) THICK=1.0 PLAX 103
IF(NS.EQ.0) NS=4 PLAX 104
IF(NS.LT.4) NS=1 PLAX 105
IF(I-I(13))=0) IF(I=1) AND (.INS.EQ. 20) I=NS=16 PLAX 106
140 N=N+1 PLAX 107
IF(N.EQ.N) GO TO 145 PLAX 108
DO 142 J=1,4 PLAX 109
142 IX(I)=IX(I)*KG PLAX 110
GO TO 149 PLAX 111
145 DO 148 I=1,4 PLAX 112
148 IX(I)=IE(I) PLAX 113

```

```

C-----FORM CONSTITUTIVE LAW AND COMPUTE THERMAL STRESSES PLAX 115
C*****
149 NT=NTC(MAT) PLAX 117
WRITE 16,20031) N, IX, MAT, REFT, PRESS, NS, KG, THICK PLAX 118
I=IX(1) PLAX 119
J=IX(2) PLAX 120
K=IX(3) PLAX 121
L=IX(4) PLAX 122
TEMP = (I(I)+I(J)+I(K)+I(L))/4.0 PLAX 123
BETA=VANG(MAT) PLAX 124
XNM=RO(MAT) PLAX 125
MGT=M(MAT) PLAX 126
CALL ELAW(INVTC,EE,E,0,IJL,ALP) PLAX 127
C*****

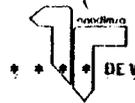
```

282

```

BLOCK 196 DATA 3200
C-----CALCULATE ELEMENT STIFFNESS MATRIX PLAX 129
C*****
IF(.INPARI11.EQ.3) GO TO 160 PLAX 131
NO=8 PLAX 132
DO 155 I=1,4 PLAX 133
II=IX(I) PLAX 134
RR(I)=Y(II) PLAX 135
ZZ(I)=Z(II) PLAX 136
TMP(II)=T(II) PLAX 137
LM(II)=(O(II),2) PLAX 138
155 LM(I,4)=ID(II,3) PLAX 139
CALL UOAO PLAX 140
DO 158 J=1,4 PLAX 141
DO 157 L=1,4 PLAX 142
P(I,L)=R(L,L)+XN(II)*NO(MAT)*RR(I)*EHUL(L,3)**2 PLAX 143
P(I,L)=P(I,L)+XN(II)*MGT*EHUL(L,4) PLAX 144
157 P(I,4,L)=P(I,4,L)+XN(II)*MGT*EHUL(L,5) PLAX 145
XN(II)=XN(II)*XNM PLAX 146
158 XN(I,4)=XN(II) PLAX 147
GO TO 300 PLAX 148

```

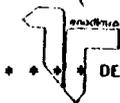


\*\*\* DEVICE 130 MODE C3

BLOCK COUNT = NO

				PLAX 149
		160 NU=12		PLAX 150
		CALL VECTOR(V,X(I),Y(I),Z(I),X(J),Y(J),Z(J))		PLAX 151
		CALL VECTOR(G,X(I),Y(I),Z(I),X(L),Y(L),Z(L))		PLAX 152
		CALL CROSS(V,G,W)		PLAX 153
		CALL CROSS(W,V,U)		PLAX 154
		CALL VECTOR(W,X(I),Y(I),Z(I),X(K),Y(K),Z(K))		PLAX 155
		RR(1)=0.0		PLAX 156
		ZZ(1)=0.0		PLAX 157
		RR(2)=V(4)		PLAX 158
		ZZ(2)=0.0		PLAX 159
		RR(3)=W(4)+DOT(W,V)		PLAX 160
		ZZ(3)=W(4)+DOT(W,U)		PLAX 161
		RR(4)=G(4)+DOT(G,V)		PLAX 162
		ZZ(4)=G(4)+DOT(G,U)		PLAX 163
				PLAX 164
		C		PLAX 165
		DO 170 I=1,4		PLAX 166
		IT=IX(I)		PLAX 167
		THP(I)=T(I)		PLAX 168
		LM(I)=10(I),1		PLAX 169
				PLAX 170
	BLOCK 197 DATA 3200	LM(I+4)=ID(I),2		PLAX 171
		170 LM(I+8)=ID(I),3		PLAX 172
		CALL QUAD		PLAX 173
				PLAX 174
		DO 190 I=1,3		PLAX 175
		DO 190 K=1,4		PLAX 176
		KK=4+I-1)*K		PLAX 177
		DO 180 L=1,4		PLAX 178
		180 P(I,K,L)=V(I)+P(K,L)+U(I)+P(K+4,L)		PLAX 179
		DO 190 J=1,3		PLAX 180
		DO 190 I=1,4		PLAX 181
		LI=4+I-J)*L		PLAX 182
		190 BR(I,K,LL)=V(I)+(S(K,L)+V(J)+S(K,L+4)+U(J))		PLAX 183
		I+U(I)+(S(K+4,L)+V(J)+S(K+4,L+4)+U(J))		PLAX 184
				PLAX 185
		C		PLAX 186
		DO 196 I=1,12		PLAX 187
		DO 194 L=1,4		PLAX 188
		194 P(I,L)=PP(I,L)		PLAX 189
		DO 196 J=1,12		PLAX 190
		S(I,J)=RB(I,J)		PLAX 191
		196 S(J,I)=S(I,J)		PLAX 192
				PLAX 193
		C		PLAX 194
		DO 210 K=1,NS		PLAX 195
		DO 200 L=1,4		PLAX 196
		DO 200 J=1,3		PLAX 197
		LL=4+I-J)*L		PLAX 198
		200 BK(K,LL)=BK(K,L)+V(I)*BK(K,L+4)+U(J)		PLAX 199
		DO 210 J=1,12		PLAX 200
		210 BK(K,J)=BK(K,J)		PLAX 201
				PLAX 202
		C		PLAX 203
		DO 220 I=1,4		PLAX 204
		DO 215 L=1,4		PLAX 205
		P(I,L)=P(I,L)+X(I)*NGT*EHUL(L,3)		PLAX 206

233



DEVICE 130 MODE C3

```

BLOCK COUNT = NO
P(I+4,L)=P(I+4,L)+XN(I)*WGT*FMUL(L,4)
215 P(I+8,L)=P(I+8,L)+XN(I)*WGT*FMUL(L,5)
XN(I)=XN(I)+XHM
XN(I+4)=XN(I)
220 XN(I+8)=XN(I)
C*****
C----CALCULATION OF BAND WIDTH AND WRITES ELEMENT MATRICES ON TAPES

```

BLOCK 198 DATA 3200

```

C*****
380 CALL CALBAN(IHUND,NDF,EM,XH,S,P,ND,12)
WRITE (1) ND,NS,(LM(I),I=1,ND), (R(I),I=1,NS), (J=1,ND),
1 (IT(I),I=1,NS), (J=1,4)
IF(N.EQ.NUME-1) GO TO 500
IF(N.EQ.N) GO TO 130
GO TO 140
C*****
500 RETURN
1002 FORMAT (5F10.0)
1003 FORMAT (6F15.2E10.0,2F15.0)
1005 FORMAT (8F10.0/3F10.0)
1010 FORMAT (2F15.3F10.0)
2000 FORMAT (34N)NUMBER OF ELEMENTS = 15/
1 34N)NUMBER OF MATERIALS = 15/
2 34N)MAXIMUM NUMBER OF TEMPERATURES = 15/
2002 FORMAT (I,25HZ,CL,NO, I, J, K, L,TYPE,TEMPERATURE)
1,7X,8HPRESSURE,14H NO. STRESSES 20H KG THICKNESS I
2003 FORMAT (I10,5F15.2E15.6,2I10,F15.5)
2004 FORMAT (23HZELEMENT,LOAD,FRACTIONS,70H,LOAD,CASE,TEMPERATURE,PRES)
15URE X-DIRECTION Y-DIRECTION Z-DIRECTION /9X 1HA 5F12.3/
2 9X 1HB 5F12.3/ 9X 1HC 5F12.3/ 9X 1HD 5F12.3/
2005 FORMAT (23HZELEMENT,LOAD,FRACTIONS,70H,LOAD,CASE,TEMPERATURE,PRES)
15URE ANG.VELOCITY Y-DIRECTION Z-DIRECTION /9X 1HA 5F12.3/
2 9X 1HB 5F12.3/ 9X 1HC 5F12.3/ 9X 1HD 5F12.3/
2010 FORMAT (15H,TEMPERATURE,11X,4HE(1),11X,4HE(5),11X,4HE(1),
1 9X,6HNU(1S),9X,6HNU(1T), 9X,6HNU(1T), 10X,5HG(1S),10X,4HA(1),
2 11X,4HA(5),11X,4HA(1),
1 /F15.2,3F15.2,3E15.4,F15.2/22X,3F15.9))
2020 FORMAT (1///16H MATERIAL NUMBER 13//
1 30H NUMBER OF TEMPERATURE CARDS =13,5X,15H WGT. DENSITY =E12.4,
2 15H MASS DENSITY =F12.4,13H ANGLE -BETA =F6.1)
END
SHDRoutine QUAD

```

```

C*****
C----CALCULATE ELEMEN STIFFNESS MATRIX
C*****
COMMON /CLPARZ NPAR(14),NUMHP,NBAND,NELTYP,N1,N2,N3,N4,N5,NTOT,NEOBLAX 242
REAL*8 S,P,XH,D,II,HO
COMMON /EM/ LM(12),S(12,12),P(12,4),XN(12),R(20,12),RB(20,12),

```

BLOCK 199 DATA 3200

```

1 IT(20,4),IX(4),IE(5),O(4,4),EMUL(4,5),RR(4),ZZ(4),H(16),HS(16),
2 HI(16),HR(16),HZ(16),FAC,XHM,PRESS,NS,EC(10),IT(14),PP(12,4),THICK
3 ,THP(4),TP(12),ALP(4)
COMMON /JUNK/ MAT,NT,TEMP,REFF,HTA

```

234





\*\*\* DEVICE 120 MODE C3

BLOCK COUNT = NO

\*\*\*\*\*  
G-----ELIMINATE EXTRA DEGREES OF FREEDOM  
\*\*\*\*\*

IF (IXI3) GO, IX(4) GO TO 560  
IF INPARI6, NEQ1-60 TO 560

DO 550 NN=1,4  
L=17-NN  
K=1

C=TR(K)/S(K,K)  
DO 535 J=1,NS  
T(I,J,4)=I(J,4)+C\*H(J,K)

DO 550 I=1,4  
C=SI\*(K)/S(K,K)  
T(I)=TPI(I)-C\*TR(K)

DO 540 J=1,NS  
DO 540 J=1,NS  
DO 540 B(J,1)=R(J,1)-C\*H(J,K)

DO 550 J=1,4  
550 S(I,J)=SI\*(J)-C\*S(H,J)

\*\*\*\*\*  
C-----ROTATE STRESS-DISPLACEMENT TRANSFORMATION TO GIVE STRESSES  
C-----NORMAL AND PARALLEL TO SIDES - SIMILARLY ROTATE INITIAL STRESSES

560 NSET=LL-1  
\*\*\*\*\*

IF (I NSET) LE=0, GO TO 730

DO 720 L=1,NSET  
IV=I\*VECT(L)  
JV=J\*VECT(L)

CALL VECTOR(V,RTI(V),ZZ(I,V),O,0,RR(J,V),ZZ(J,V),O,0)

S2=V(I)\*V(I)  
C2=V(I2)\*V(I2)

I=4\*E\*1  
I2=11\*1

I4=11\*3  
I1=1111,4  
I2=1111,4

I5=2,0\*SC\*14  
T(I1,I,4)=C2\*11\*52\*12\*15

T(I1,I,4)=S2\*11+C2\*12-15  
T(I1,I,4)=SC\*12-11+C2-52\*1\*14

R1=R(I1,J)  
R2=R(I2,J)  
R4=R(I4,J)

R5=2,0\*SC\*84  
R11=C2\*81+S2\*82\*85

R112,4)=S2\*81+C2\*82-85  
R114,4)=SC\*82-81+C2-52\*1\*84

720 CONTINUE  
730 CONTINUE

C

DO 660 L=1,4

PLAX 353

PLAX 352

PLAX 351

PLAX 350

PLAX 349

PLAX 348

PLAX 347

PLAX 346

PLAX 345

PLAX 344

PLAX 343

PLAX 342

PLAX 341

PLAX 340

PLAX 339

PLAX 338

PLAX 337

PLAX 336

PLAX 335

PLAX 334

PLAX 333

PLAX 332

PLAX 331

PLAX 330

PLAX 329

PLAX 328

PLAX 327

PLAX 326

PLAX 325

PLAX 324



DEVICE 130 MODE C3

BLOCK COUNT = NO

DO 600 I=1,NS

PLAX 354

600 T(I,L)=T(I,L)+EMUL(L,I)

PLAX 355

DO 660 I=1,8

PLAX 356

660 P(I,L)=P(I,L)+EMUL(L,I)

PLAX 357

C\*\*\*\*\*

C-----CALCULATE PRESSURE LOADS ON I-J FACE

PLAX 359

C\*\*\*\*\*

DR=RR(2)-RR(1)

PLAX 361

DZ=Z(11)-Z(12)

PLAX 362

R1=PRESS\*Z.\*RR(1)+RR(2)/6.

PLAX 363

BLOCK 202 DATA 3200

RJ=PRESS\*Z.\*RR(2)+RR(1)/6.

PLAX 364

IF(IMPRES)EQ(0)GO TO 670

PLAX 365

R1=PRESS\*THICK/2.

PLAX 366

RJ=R1

PLAX 367

670 DO 700 L=1,4

PLAX 368

P(1,L)=P(1,L)+DZ\*RT\*EMUL(L,2)

PLAX 369

P(5,L)=P(5,L)+DR\*RI\*EMUL(L,2)

PLAX 370

P(2,L)=P(2,L)+DZ\*RJ\*EMUL(L,2)

PLAX 371

700 P(6,L)=P(6,L)+DR\*RJ\*EMUL(L,2)

PLAX 372

C\*\*\*\*\*

RETURN

PLAX 373

END

PLAX 374

SUBROUTINE FORMRIS(I,R)

PLAX 375

C\*\*\*\*\*

C

C\*\*\*\*\*

REAL \*R,U,P,XN,Q,TI,RR,R

COMMON /ELPAR/ NPAR(14),NUMDP,HRAND,NELTYP,N1,N2,N3,N4,N5,NTOT,NEOPLAX 376

COMMON /EN/ LM(12),U(12),P(12,4),XH(12),Q(20,12),BH(20,12), PLAX 377

1 TI(20,4),IX(4),IS(5),DI(4),EMUL(4,5),RR(4),ZZ(4),H(6),HS(6), PLAX 378

2 H(16),HR(16),HZ(16),FAC,XHM,PRESS,NS,EE(10),T(4),PP(12,4),THICK PLAX 379

3 ,THP(4),OP(12),ALP(4) PLAX 380

DIMENSION B(20,12) PLAX 381

DIMENSION II(6),JJ(6) PLAX 382

DATA II(1,2),3,4,9,10/JJ(5,6),7,8,11,12/ PLAX 383

PLAX 384

SH=1.0-S PLAX 385

SP=1.0+S PLAX 386

TH=1.0-T PLAX 387

TP=1.0+T PLAX 388

C

H(1)=SH\*TH/4 PLAX 389

H(2)=SP\*TH/4 PLAX 390

H(3)=SP\*TP/4 PLAX 392

H(4)=SH\*TP/4 PLAX 393

H(5)=(1.0-S\*S) PLAX 394

H(6)=(1.0-T\*T) PLAX 395

C

HS(1)=-TH/4 PLAX 397

HS(2)=-HS(1) PLAX 398

BLOCK 203 DATA 3200

HS(3)=TP/4

PLAX 399

237



\* \* \* DEVICE 100 MODE C3

BLOCK COUNT = 80

PLAX 400 HS16=-HS13  
PLAX 401 HS16=-2\*5  
PLAX 402 HS16=0.0

PLAX 403 H111=-SM/4  
PLAX 404 H112=-SP/4  
PLAX 405 H113=-H111  
PLAX 406 H114=-H111  
PLAX 407 H115=0  
PLAX 408 H116=-2\*1

PLAX 410 P21=H111+Z211+H1121+Z212+H1131+Z213+H1141+Z214  
PLAX 411 P25=HS11+Z211+HS12+Z212+HS13+Z213+HS14+Z214  
PLAX 412 P25=HS11+HS12+HS13+HS14+HS15+HS16+HS17+HS18+HS19+HS20  
PLAX 413 P25=HS11+HS12+HS13+HS14+HS15+HS16+HS17+HS18+HS19+HS20  
PLAX 414 P21=H111+H1121+H1131+H1141+H1151+H1161+H1171+H1181+H1191+H1201  
PLAX 415 XJ=P25\*P21-P21\*P25

PLAX 416 PSR=P21/XJ  
PLAX 417 P1R=-P25/XJ  
PLAX 418 P1R=-P25/XJ  
PLAX 419 P2Z=-P21/XJ  
PLAX 420 P1Z=P25/XJ

PLAX 421 DO 100 I=1,6  
PLAX 422 H211=PSR\*H111+P1R\*H111  
PLAX 423 H211=PS2\*H111+P1Z\*H111  
PLAX 424 R=H111+H1121+H1131+H1141+H1151+H1161+H1171+H1181+H1191+H1201  
PLAX 425 H11=H111+H1121+H1131+H1141+H1151+H1161+H1171+H1181+H1191+H1201  
PLAX 426 H11=H111+H1121+H1131+H1141+H1151+H1161+H1171+H1181+H1191+H1201

PLAX 427 C-----FORM STRAIN DISPLACEMENT MATRIX  
PLAX 428 C-----

PLAX 430 DO 200 K=1,6  
PLAX 431 I=I1(K)  
PLAX 432 J=J1(K)  
PLAX 433 O11(I)=H1(K)  
PLAX 434 O12(J)=H2(K)  
PLAX 435 I1(INPAR(S),CO,0) H1(I)=H1(K)/R  
PLAX 436 O11(I)=H2(K)  
PLAX 437 O11(I)=H2(K)  
PLAX 438 O11(I)=H2(K)

PLAX 439 FAC=XJ/R  
PLAX 440 RETURN  
PLAX 441 END  
PLAX 442 SURROUTINE ELAY (HUMIC,FE,C,P,ALP)

PLAX 443 C-----FORM CONSTITUTIVE LAW  
PLAX 444 C-----

PLAX 445 COMMON/JUNK/VAL,INT,TEMP,RECT,BETA,TAU(H1,D(4,4),C(4,4),X(4))  
PLAX 446 DIMENSION C(HUMIC,11,1),CE(10),C(4,4),P(4),ALP(4)  
PLAX 447 COMMON/ELAY/MPAR(14)  
PLAX 448 C-----

PLAX 449 C-----STRAIN LAW IN N-S-T SYSTEM  
PLAX 450 C-----

PLAX 451 C-----

PLAX 452 C-----

PLAX 453 C-----

PLAX 454 C-----

PLAX 455 C-----

PLAX 456 C-----

PLAX 457 C-----



DEVICE 130 MODE C3

BLOCK COUNT = NO  
IF INT.NE.11 GO TO 220

DO 210 KK=1,10	PLAX 440
210 EE(KK)=E(1),KK+1,MAT1	PLAX 449
GO TO 260	PLAX 450
220 DO 230 I=2,NT	PLAX 451
I1=I	PLAX 452
T1=E(I)-1,MAT1	PLAX 453
T2=E(I)+1,MAT1	PLAX 454
IF (T2.GC.TEMP) GO TO 240	PLAX 455
230 CONTINUE	PLAX 456
240 CONTINUE	PLAX 457
R1=(T2-TEMP)/(T2-T1)	PLAX 459
RJ=(TEMP-T1)/(T2-T1)	PLAX 460
I=I1	PLAX 461
DO 250 KK=1,10	PLAX 462
250 EE(KK)=E(I-1, KK+1, MAT1+R1+E(I, KK+1, MAT1)+RJ	PLAX 463
260 CONTINUE	PLAX 464
DO 265 I1=1,4	PLAX 465
DO 265 KK=1,4	PLAX 466
C(I1, KK)=0	PLAX 467
265 D(I1, KK)=0	PLAX 468
C(1, 1)=1.0/EE(1)	PLAX 469
C(2, 2)=1.0/EE(2)	PLAX 470
C(3, 3)=1.0/EE(3)	PLAX 471
C(1, 2)=-EE(4)/EE(2)	PLAX 472
C(1, 3)=-EE(5)/EE(3)	PLAX 473

BLOCK 205 DATA 3200

C(2, 3)=-EE(6)/EE(3)	PLAX 474
C(2, 1)=C(1, 2)	PLAX 475
C(3, 1)=C(1, 3)	PLAX 476
C(3, 2)=C(2, 3)	PLAX 477
C(4, 4)=1.0/EE(7)	PLAX 478
C(4, 4)=1.0/EE(7)	PLAX 478
DO 270 J=1,3	PLAX 479
270 ALP(J)=EE(1+7)	PLAX 480
ALP(4)=0.0	PLAX 481

C\*\*\*\*\*  
C-----ROTATE PROPERTIES TO R-Z-T SYSTEM PLAX 483  
C\*\*\*\*\*

IF (BETA.EQ.0.0) GO TO 500	PLAX 485
ANG=BETA/57.2957795	PLAX 486
SS=SIN(ANG)	PLAX 487
CS=COS(ANG)	
CZ=CS*CS	
SZ=SS*SS	PLAX 490
SC=SS*CS	

C\*\*\*\*\*  
C-----SET D FOR SIG(10)=D\*SIG(1) PLAX 492  
C\*\*\*\*\*

D(1, 1)=CZ	PLAX 493
D(1, 2)=SZ	PLAX 494
D(1, 4)=2.*SC	PLAX 495
D(2, 1)=SZ	PLAX 496
D(2, 2)=CZ	PLAX 497



\*\*\* DEVICE 130 MODE C3

BLOCK COUNT = NO  
D12,41=-2.\*SC  
D13,31=1,0  
D14,11=-SC  
D14,21=SC  
D14,41=C2-S2

PLAX 498  
PLAX 499  
PLAX 500  
PLAX 501  
PLAX 502  
PLAX 503  
PLAX 504  
PLAX 505  
PLAX 506  
PLAX 507  
PLAX 508  
PLAX 509  
PLAX 510

C  
DO 300 I=1,4  
DO 300 J=1,4  
SUM=0.  
DO 280 M=1,4  
280 SUM=SUM+D14,11\*(C1H+J)  
300 C11, J1=SUM  
DO 350 I=1,4

BLOCK 206 DATA 3200

DO 350 J=1,4  
SUM=0.  
DO 330 M=1,4  
330 SUM=SUM+C11, M1\*D1M, J1  
C11, J1=SUM  
350 C1J, I1=SUM

PLAX 511  
PLAX 512  
PLAX 513  
PLAX 514  
PLAX 515  
PLAX 516  
PLAX 517  
PLAX 518  
PLAX 519  
PLAX 520  
PLAX 521  
PLAX 522  
PLAX 523  
PLAX 524  
PLAX 525  
PLAX 526

C  
XX11)=C2\*ALP111+S2\*ALP121  
XX12)=S2\*ALP111+C2\*ALP121  
XX13)=ALP131  
XX14)=2,0\*SC\*(ALP111-ALP121)  
DO 430 I=1,4  
430 ALP111=XX11)

C  
500 CONTINUE  
CALL POSINV (C,4,4)

C-----MODIFY FOR PLANE STRESS

C\*\*\*\*\*  
IF (NPAR(5),NE,2) .GO 10,660  
C11,11)=C11,11)-C13,11)+C11,31)/C13,31  
C11,21)=C11,21)-C13,21)+C11,31)/C13,31  
C11,41)=C11,41)-C13,41)+C11,31)/C13,31  
C12,21)=C12,21)-C13,21)+C12,31)/C13,31  
C12,41)=C12,41)-C13,41)+C12,31)/C13,31  
C14,41)=C14,41)-C13,41)+C14,31)/C13,31

PLAX 527  
PLAX 528  
PLAX 529  
PLAX 530  
PLAX 531  
PLAX 532  
PLAX 533  
PLAX 534  
PLAX 535  
PLAX 536  
PLAX 537  
PLAX 538  
PLAX 539  
PLAX 540  
PLAX 541  
PLAX 542  
PLAX 543

DO 650 I=1,4  
DO 600 J=1,4  
600 C1J, I1=C1I, J1  
C11,31)=0.  
650 C13, J1=0.  
660 DO 670 I=1,4  
P11)=0,0  
DO 670 M=1,4  
670 P1I1)=P11, J1)\*C1I, M1)+ALC1M)

C\*\*\*\*\*  
700 RETURN

PLAX 544  
PLAX 545  
PLAX 546  
SSAP 689

C  
END  
SUBROUTINE POSINV(A,NMAX,NDIM)

- 240 -



\* \* \* DEVICE 130 MODE C3

BLOCK COUNT = NO

BLOCK 207 DATA 3200

C DIMENSION A(NDD,NDD)

SSAP 690

C DO 200 N=1,NMAX

SSAP 691

SSAP 692

C D=A(N,N)

SSAP 693

SSAP 694

C DO 100 J=1,NMAX

SSAP 695

SSAP 696

100 A(N,J)=-A(N,J)/D

SSAP 697

SSAP 698

C DO 150 I=1,NMAX

SSAP 699

SSAP 700

C IF (N-I) 110,150,110

SSAP 701

SSAP 702

110 DO 140 J=1,NMAX

SSAP 703

SSAP 704

C IF (N-J) 120,140,120

SSAP 705

SSAP 706

120 A(I,J)=A(I,J)+A(I,N)\*A(N,J)

SSAP 707

SSAP 708

140 CONTINUE

SSAP 709

SSAP 710

150 A(I,N)=A(I,N)/D

SSAP 711

SSAP 712

C A(N,N)=1-D/B

SSAP 713

SSAP 714

C 200 CONTINUE

SSAP 715

SSAP 716

C RETURN

SSAP 717

SSAP 718

C END

SSAP 719

SSAP 720

SUBROUTINE VECTOR(V,XI,YI,ZI,XJ,YJ,ZJ)

SSAP 721

SSAP 722

DIMENSION V(4)

SSAP 723

SSAP 724

X=XJ-XI

SSAP 725

SSAP 726

Y=YJ-YI

SSAP 727

SSAP 728

Z=ZJ-ZI

SSAP 729

V(4)=SQRT(X\*X+Y\*Y+Z\*Z)

V(1)=Z/V(4)

V(2)=Y/V(4)

V(3)=X/V(4)

RETURN

END

FUNCTION DOT(A,B)

DIMENSION A(4),B(4)

DOT=A(1)\*B(1)+A(2)\*B(2)+A(3)\*B(3)

RETURN

END

SUBROUTINE TRUSS(A,HTOT)

BLOCK 208 DATA 3200

C(3)=Z/C(4)

SSAP 730

C(2)=Y/C(4)

SSAP 731

C(1)=X/C(4)

SSAP 732

RETURN

SSAP 733

END

SSAP 734

FUNCTION DOT(A,B)

SSAP 735

DIMENSION A(4),B(4)

SSAP 736

DOT=A(1)\*B(1)+A(2)\*B(2)+A(3)\*B(3)

SSAP 737

RETURN

SSAP 738

END

SSAP 739

SUBROUTINE TRUSS(A,HTOT)



DEVICE 130 MODE C3

BLOCK COUNT = NO  
DIMENSION A(MTOT)  
WRITE(6,202)

202 FORMAT('1','ERROR 1')  
STOP  
END

SUBROUTINE BEAM (A,MTOT)  
DIMENSION A(MTOT)  
WRITE(6,202)

202 FORMAT('1','ERROR 2')  
STOP  
END

SUBROUTINE THREEED (A,MTOT)  
DIMENSION A(MTOT)  
WRITE(6,202)

202 FORMAT('1','ERROR 5')  
STOP  
END

SUBROUTINE SHELL(A,MTOT)  
DIMENSION A(MTOT)  
WRITE(6,202)

202 FORMAT('1','ERROR 6')  
STOP  
END

SUBROUTINE ROUND(A,MTOT)  
DIMENSION A(MTOT)  
WRITE(6,202)

202 FORMAT('1','ERROR 7')  
STOP  
END

1  
242

BLOCK 209 DATA 880

SUBROUTINE THKSHL (A,MTOT)  
DIMENSION A(MTOT)  
WRITE(6,202)

202 FORMAT('1','ERROR 8')  
STOP  
END

FILE MARK

BLOCK 211 DATA 80 EOFISSAP BOPACE00010003 76178 000000000034

BLOCK 212 DATA 80 EOF2F032000008030M042254 1/DATA B 05763

FILE MARK

BLOCK 214 DATA 80 HDRIPSEP BOPACE00010004 76182 000000000000

BLOCK 215 DATA 80 HDR2F032000008030M122295/DATA B 05821

## BIBLIOGRAFIA

- SAVIN, G.M. - "Stress Concentration Around Holes". Pergamon Prss, 1961.
- SCHWELLNUS, J.E.G. - "Joints. The Use of the Equal Area Net to determine their geometry". Proc. Annual Meeting of C.I.M.M., Ottawa, 1967.
- CAMPOS DE ORELLANA, A.J. - "Prediction and Verification of a Stress Pattern in Fractured Rocks", M. Eng. thesis, Mc. Gill University, Montreal, P.Q., - Canadá, 1973.
- DESAI, C.S., ABEL, J.F. - "Introduction to the Finite Element Method", Van Nostrand Reinhold, 1973.
- WILSON, E.L., CLOUGH, R.W. - "Finite Element Analysis of Mine Structures", University of California, Berkeley, CA. NTIS Report PB-220141, Springfield, VA, 1973.
- COATES, D.F. - "Rock Mechanics Principles", Canadian Depr. of Energy, Mines and Resources, Mine Branch Monograph 874, rev. 1974.
- COOK, R.D. - "Concepts and Application of Finite Element Method", John Wiley, 1974.

- WANG, F.D., ROPCHAN, D.M., SUN, M.C. - "Structural Analysis of a Coal Mine Opening in Elastic, Multilayered Material. U.S. Bureau of Mines, R.I. 7845, 1974.
  
- McCULLOCH, DIAMOND, W.P., BENCH, B.M. - "Selected Geologic Factors Affecting Mining of the Pittsburgh Coalbed", R.I. 8093, 1975.
  
- LAMA, R.D., VUTUKURI, V.S. - "Handbook on Mechanical Properties of Rocks", Transtech, Clausthal, DFR, 1978.
  
- PENG, S.S. - "Coal Mine Ground Control", John Wiley, New York, 1978.
  
- GOODMAN, R.E. - "Introduction to Rock Mechanics", John Wiley, 1980.