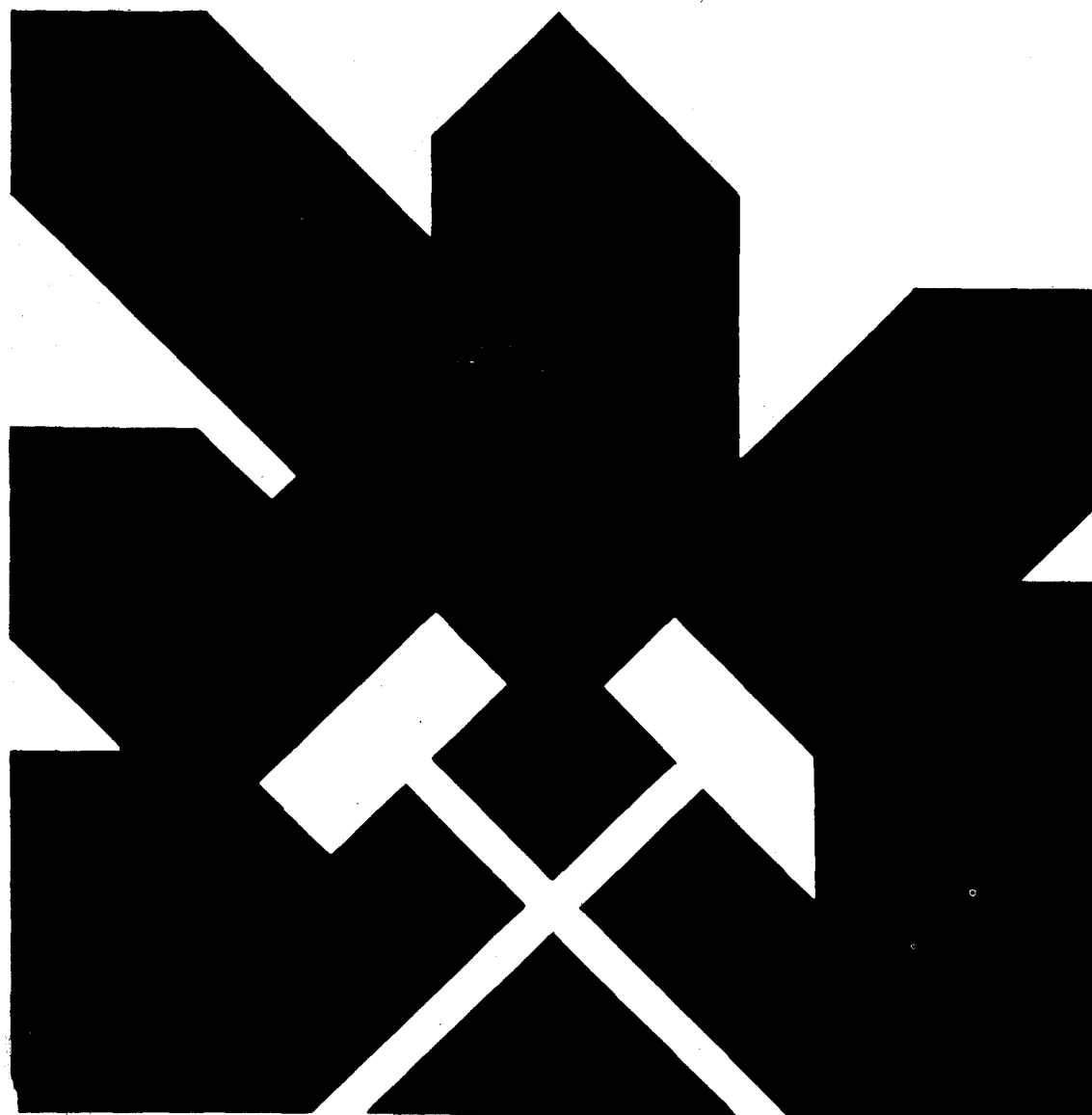


MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA
SECRETARIA DE LA ENERGIA Y RECURSOS MINERALES

INVESTIGACION DE PIZARRAS ORNAMENTALES EN LA
PROVINCIA DE GUADALAJARA. 2ª FASE

MEMORIA



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

11183

**INVESTIGACION DE PIZARRAS ORNAMENTALES EN LA
PROVINCIA DE GUADALAJARA . 2ª FASE.**

MEMORIA

I.G.M.E., 1986-1987

En la realización de este proyecto ha intervenido el siguiente equipo técnico:

- DIRECCION DEL PROYECTO (I.G.M.E.):

D. Paulino Muñoz de la Nava.
Ingeniero Técnico de Minas.

- REALIZACION DEL ESTUDIO E INFORME:

D. Manuel Lombardero Barceló (EGEO, S.A.)
Geólogo.

D. José M^a Toyos Sáenz de Miera (GEOMECANICA, S.A.)
Geólogo.

I N D I C E

1. INTRODUCCION

- 1.1. Antecedentes y objetivos del estudio
- 1.2. Consideraciones previas

2. METODO DE TRABAJO

- 2.1. Recopilación y análisis de la documentación
- 2.2. Cartografía geológico-minera
- 2.3. Estudio petrográfico
- 2.4. Estudio de la fracturación
- 2.5. Sondeos
- 2.6. Ensayos

3. ASPECTOS GEOLOGICOS GENERALES

- 3.1. Estratigrafía
- 3.2. Tectónica
- 3.3. Metamorfismo

4. DESCRIPCION DE LAS ZONAS ESTUDIADAS

- 4.1. Zona A (Rodada)
- 4.2. Zona B (Bornova)
- 4.3. Zona C (Los Prados)

5. ESTUDIO DE LOS MACIZOS

- 5.1. Macizo I
- 5.2. Macizo II
- 5.3. Macizo III

- 5.4. Macizo IV
- 5.5. Macizo V
- 5.6. Macizo VI
- 5.7. Macizo VII
- 5.8. Valoración de los resultados obtenidos.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7. BIBLIOGRAFIA

1. INTRODUCCION

1.1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Con la realización del proyecto de "Exploración y Caracterización de Pizarras Ornamentales en el Sistema Central (Provincias de Madrid, Guadalajara y Segovia), 1ª Fase" (1985-1986), incluido en los Programas de Actuación del I.G.M.E. de cara al desarrollo del subsector minero de la pizarra, se han investigado las formaciones pizarrosas del Ordovícico Medio y Superior que afloran en el sector oriental del Sistema Central (Ver Figs. 3-1 y 3-2). Tras la exploración general de dicha área, se seleccionaron dos zonas de interés prioritario que fueron investigadas con más detalle, concluyendo con la definición de tres sectores dentro de dichas zonas (Ver Mapa Nº 1) donde debería ampliarse la investigación en una nueva fase.

De este modo, el I.G.M.E. ha considerado conveniente proceder a la ejecución del presente proyecto de "Investigación de Pizarras Ornamentales en la provincia de Guadalajara, 2ª Fase", con el fin de llevar a cabo un estudio geológico-minero detallado de los citados sectores seleccionados que permita señalar las posibles masas canterables y los puntos más favorables para la explotación.

1.2. CONSIDERACIONES PREVIAS

Puesto que este estudio tiene como punto de partida y viene a completar la investigación realizada en la 1ª Fase, conviene comenzar haciendo una síntesis de los principales objetivos alcanzados en ella y de las conclusiones y recomendaciones que se señalan en el informe correspondiente.

Como ya se ha mencionado, la 1ª Fase se centró en el reconocimiento de las formaciones pizarrosas del Ordovícico Medio y Superior del sector oriental del Sistema Central consideradas potencialmente explotables, desarrollándose el estudio en dos estadios: Exploración general e Investigación previa.

EXPLORACION GENERAL.-

Tras analizar toda la documentación bibliográfica disponible sobre la geología de la zona, se procedió a realizar una serie de itinerarios de campo con los que se pudieran adquirir los datos necesarios para tener una visión de conjunto sobre las características estratigráficas y estructurales que presentaban las formaciones potencialmente explotables.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- Sólo existe una formación con perspectivas de ser explotable en cuanto a la calidad litológica de la pizarra: La Formación Rodada 4 (R4).

- Las zonas donde los factores tectónicos condicionan menos la explotabilidad de los macizos se sitúan en la comarca de Atienza: Zonas de Bornova-Rodada y Los Prados-Valdejudíos, por lo que se eligieron éstas como Zonas de Interés Prioritario para ser investigadas con más detalle.

INVESTIGACION PREVIA.-

Se comenzó con la realización de una cartografía geológica a Escala 1: 25.000 de las dos zonas seleccionadas, y seis cortes litológico-estructurales a Escala 1: 10.000.

Posteriormente, se perforaron 110 m. de sondeo atravesando en todo su espesor a la Formación Rodada 4. Aparte de la descripción y toma de muestras sobre el testigo, se midieron las diaclasas y se contrastaron los datos obtenidos con los que fueron tomados en superficie.

Por último, se sometieron una serie de placas a los ensayos para la caracterización de pizarras para cubiertas, según las Normas U.N.E.

Las conclusiones y recomendaciones finales fueron:

- Se seleccionan tres sectores favorables dentro de las zonas de Interés Prioritario, siendo el resto de ellas poco favorables a causa de factores tectónicos fundamentalmente.

Estos tres sectores se han denominado:

*Zona A.- Rodada

*Zona B.- Bornova

*Zona C.- Los Prados

- Dentro de estas zonas existen varios macizos que se encuentran en el límite de explotabilidad. Sólo con investigaciones posteriores más detalladas, especialmente dirigidas a la evaluación de la fracturación, se podrá definir la explotabilidad de los mismos.
- Los resultados de los ensayos tecnológicos han caracterizado las pizarras como PAI (Pizarras para ambientes intermedios), según las Normas UNE.
- Se recomienda la realización de una cartografía geológica de deta - lle (Escala 1: 5.000) en las zonas seleccionadas, teniendo en cuen - ta de modo particular las bandas con esquistosidades de crenulación. En los macizos no afectados por éstas será conveniente analizar con detalle la fracturación.
- En los puntos con menor densidad de fracturación podrán hacerse sondeos con recuperación de testigo continuo, sobre los que se estudia - rá la calidad litológica de la pizarra y las características del - diaclasado en profundidad.

El presente estudio se elaboró teniendo en cuenta las recomendaciones antedichas y siguiendo la metodología que sucintamente se expone en el apartado siguiente.

2. METODO DE TRABAJO

Los factores geológicos que controlan la calidad y explotabilidad de las pizarras para cubiertas pueden agruparse esquemáticamente del siguiente modo:

A. Factores Litológicos

- Composición mineralógica y textura
- Estratigrafía
- Metamorfismo

B. Factores estructurales

- Tipo y disposición de la esquistosidad primaria
- Esquistosidades secundarias y otras estructuras de deformación.
- Fracturación (Fallas y diaclasas)

No todos estos factores son independientes respecto a los demás sino que existen entre ellos relaciones diversas.

Por otro lado, la importancia relativa de cada uno de ellos puede variar notablemente de unas zonas a otras.

La investigación realizada en esta 2ª Fase ha estado enfocada principalmente al estudio en detalle de los citados factores dentro de las zonas seleccionadas; se ha dado particular importancia al estudio de la

fracturación, puesto que este factor posee, en el área de estudio, el carácter de condicionante definitivo de la explotabilidad de los macizos de pizarra.

A continuación, se expondrán brevemente los pasos que se han dado en la realización de este proyecto.

2.1. RECOPIACION Y ANALISIS DE LA DOCUMENTACION

Además de la base bibliográfica aportada por la 1ª Fase del Proyecto, se ha recopilado una serie de trabajos relacionados específicamente con el estudio de la fracturación; esta documentación ha resultado muy útil tanto para establecer el método más adecuado de toma de datos en el campo como para su interpretación sobre el terreno y - el posterior análisis en gabinete.

Dichos trabajos se relacionan en el correspondiente capítulo de Bibliografía.

2.2. CARTOGRAFIA GEOLOGICO - MINERA

Se comenzó el estudio de las zonas seleccionadas con la realización de una cartografía geológico - minera detallada (a escala --

1: 5.000) de cada una de ellas, cubriendo en total una superficie de 550 ha.

Con esta cartografía se pretendía, por un lado, situar con precisión la posición de la Formación R4 y conocer más detalladamente sus características estratigráficas, y, por otro, tomar todos los datos estructurales necesarios para tener un primer criterio de selección de áreas dentro de las zonas de estudio.

De este modo, se han podido desechar una serie de sectores que presentaban factores estructurales negativos (Kink-bands y esquistosidades de crenulación principalmente), considerándose las áreas restantes para el posterior estudio de la fracturación.

2.3. ESTUDIO PETROGRAFICO

Se han tomado muestras tanto en superficie como en los testigos de sondeo para su posterior estudio en lámina delgada. Este estudio aporta bastantes datos sobre la calidad litológica (textura y composición mineralógica) de las pizarras y permite también el análisis de diversas microestructuras (estratificación, esquistosidad primaria y esquistosidades secundarias, etc.) que pueden ser medidas -- siempre que se tomen muestras orientadas; en este sentido, han resultado notablemente eficaces los muestreos sistemáticos seriados (con

muestra orientada) realizados transversalmente al trazado de la Formación Rodada 4 en las zonas A y B.

En el apartado 3 del volumen de Anexos, se recogen las fichas correspondientes al estudio de cada una de las muestras.

2.4. ESTUDIO DE LA FRATURACION

Tras haber desechado diversos sectores en función de evidentes problemas estructurales puestos de manifiesto con la realización de la cartografía geológico-minera de las zonas seleccionadas, el siguiente paso consistió en la determinación de los macizos de pizarra de la Formación R4 que presentaban mejores características de cara a su posible explotación, es decir, aquéllos en los que la intensidad de la fracturación no impidiese la obtención de bloques o rachones con un tamaño medio mínimo para poder ser cortados y labrados convenientemente.

Se seleccionaron de este modo siete macizos, cinco en la zona A (Rodada) y dos en la zona B (Bornova), para el estudio en detalle de la fracturación (La zona C fue desechada en su totalidad por la presencia generalizada de "kink-bands"). Todos ellos constituyen dominios con características homogéneas en cuanto a la fracturación.

En dichos macizos, se han tomado medidas de la estratificación (S_0), esquistosidad primaria (S_1), diaclasas (J), fallas (F), "kink-bands" (K) y venas de cuarzo (Q); poniendo especial atención en las familias de diaclasas sistemáticas (principalmente, la familia de diaclasas transversales J_1 que es la más desarrollada a nivel regional), para las cuales se han medido también los espaciados.

Todos estos datos se recogen en el apartado 2 del volumen de Anexos, indicándose también, en particular, la persistencia de las diaclasas.

Los fundamentos básicos que se han tenido en cuenta para el análisis de la fracturación han sido los siguientes:

A. DISPOSICION DEL SISTEMA DE DIACLASAS

El primer aspecto que conviene conocer es la distribución espacial del sistema de diaclasas presente en un determinado macizo, y su relación geométrica con la esquistosidad primaria (S_1). Esto puede hacerse mediante la representación en estereogramas de los distintos datos de orientación tomados en el campo. De este modo, quedará bien definida la disposición de las familias de diaclasas sistemáticas existentes.

B. PERSISTENCIA DE LAS DIACLASAS

La persistencia, continuidad o desarrollo de las diaclasas nos permite hacer la clasificación de las mismas en relación con sus dimensiones y su consiguiente incidencia mayor o menor en el tamaño de bloque natural en un macizo. Según esto, pueden considerarse tres tipos fundamentales de diaclasas:

| | <u>Persistencia</u> | |
|---|---------------------|----------|
| - Diaclasas menores ("minor joints") | [Muy baja | < 1 m. |
| | [Baja | 1- 3 m. |
| - Diaclasas mayores ("major joints") | [Media | 3-10 m. |
| | [Alta | 10-20 m. |
| - Diaclasas principales ("master joints") | Muy alta | > 20 m. |

C. ESPACIADOS DE LAS FAMILIAS

Los espaciados entre diaclasas de una misma familia constituyen un factor condicionante del tamaño de bloque natural fundamental.

Su estudio se ha llevado a cabo mediante el análisis estadístico de los valores medidos en el campo, construyéndose para cada familia un Histograma de frecuencias ponderadas en el que se representa en porcentaje la suma de los espaciados correspondientes a cada

intervalo sobre la suma total de los mismos (de este modo se tiene en cuenta, además del número de espaciados de cada intervalo, la longitud que éstos poseen).

Los intervalos que se han tomado, utilizando una escala logarítmica, han sido los siguientes:

| <u>Intervalo</u> | <u>Espaciado</u> |
|------------------|-----------------------|
| 0.06 - 0.20 m. | Reducido |
| 0.20 - 0.60 m. | Moderado |
| 0.60 - 2.00 m. | Amplio |
| 2.00 - 6.00 m. | Muy amplio |
| 6.00 - 20.00 m. | Extremadamente amplio |

Al histograma se añaden también los parámetros estadísticos fundamentales: Valor Máximo, Mínimo y Medio de los espaciados, Desviación Típica y Coeficiente de Variación.

D. DENSIDAD DEL DIACLASADO

Para definir la densidad del diaclasado de un macizo se ha utilizado el parámetro J_v , que representa el número de diaclasas por unidad de volumen. Se calcula sumando las frecuencias (nº de diacla-

sas por metro lineal) de las familias existentes (un modo rápido de hallar estas frecuencias es tomar el inverso de los espaciados medios ya calculados).

Este parámetro nos permite realizar una estimación aproximada del tamaño de bloque natural, del siguiente modo:

| <u>J_V</u> | <u>Tamaño orientativo de bloque</u> |
|-------------------------|-------------------------------------|
| < 1 | Muy grande |
| 1-3 | Grande |
| 3-10 | Medio |
| 10-30 | Pequeño |
| > 30 | Muy pequeño |

y teniendo en cuenta que un tamaño medio de bloque de dimensiones 1 m x 1 m x 1 m (1 m^3) viene a corresponder aproximadamente a un $J_V = 3$.

E. VOLUMEN RELATIVO DE BLOQUES DE TAMAÑO SUPERIOR AL MINIMO

Por último, se ha establecido un nuevo parámetro, V_B , que viene a indicar el volumen relativo de bloques en un macizo con dimensiones superiores a las de un tamaño mínimo dado (expresado en tan-

to por uno).

Según las observaciones realizadas en las explotaciones de pizarra de la región de Valdeorras (Orense), el bloque de tamaño mínimo admisible para ser labrado tiene una longitud y anchura del orden de 60 cm y un volumen de al menos 0,1 m³.

De este modo, se consideran los 60 cm como valor umbral dentro de los espaciados de las familias de diaclasas para el cálculo del parámetro V_B , que se realiza del modo siguiente:

- Para cada familia de diaclasas, se suman los porcentajes de espaciados correspondientes a los intervalos por encima de 0,6 m (Amplios, Muy amplios y Extremadamente amplios) y se expresa el resultado en tanto por uno.
- El valor de V_B vendrá dado por el producto de los porcentajes parciales de las distintas familias.

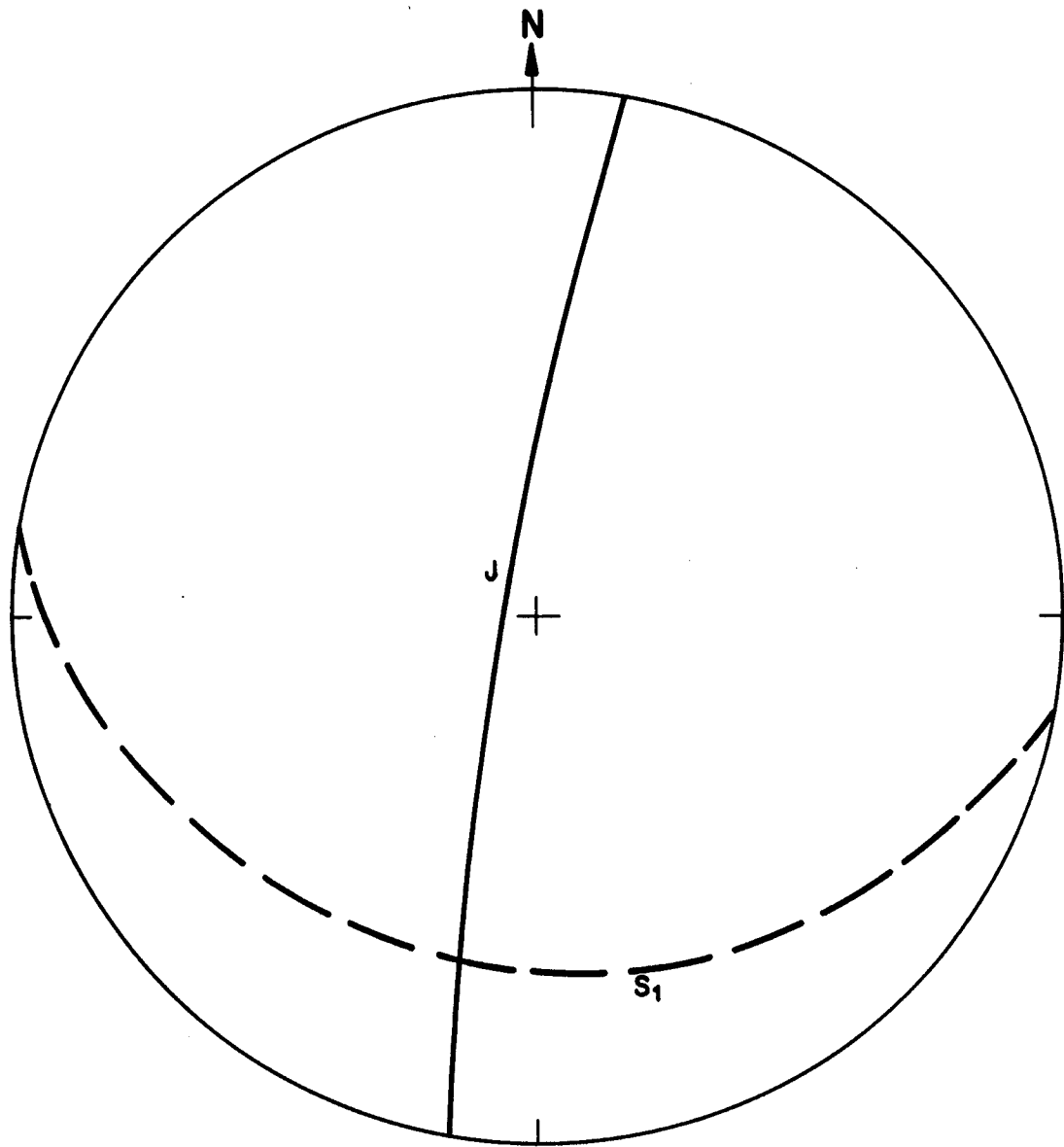
Por tanto, si designamos como E_1, E_2, \dots, E_n los respectivos tantos por uno de espaciados superiores a 0,6 m para cada familia de diaclasas (J_1, J_2, \dots, J_n), tenemos que:

$$V_B = \prod_{i=1}^n E_i$$

Después de todo lo expuesto, sólo resta citar los dos criterios principales, que se han tenido en cuenta para el análisis de la fracturación:

1. Las superficies de discontinuidad que condicionan más directamente el tamaño del bloque natural son las familias de diaclasas (o fallas) sistemáticas con persistencia media - alta (diaclasas mayores) o muy alta (diaclasas principales). Las diaclasas no sistemáticas, producidas por descompresión o por efectos tectónicos locales y presentando generalmente formas más o menos irregulares, tienen una incidencia relativa en el tamaño de bloque natural, dependiendo fundamentalmente de la densidad que presenten.
2. De acuerdo con los datos recogidos en tres canteras tipo de la región de Valdeorras (ver figuras 2-1, 2-2, 2-3, 2-4, 2-5 y 2-6), puede estimarse que el valor mínimo del parámetro V_B de un macizo para que éste sea explotable es de 0,7; es decir, que el porcentaje en volumen de bloques por encima del tamaño mínimo admitido ha de ser por lo menos del 70%.

Junto con esto, también puede considerarse un valor máximo admisible de 2 para el parámetro J_V de un macizo, aunque este dato parece ser menos definitivo de cara a determinar la explotabilidad.

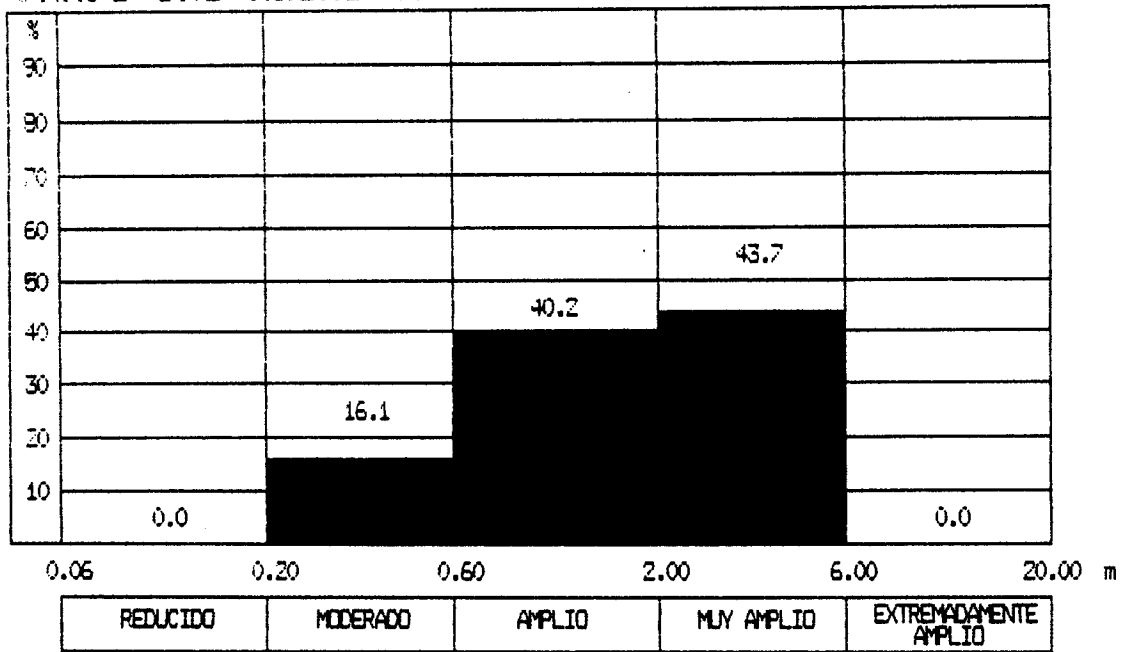


$S_1 = 190/22$

$J = 280/82$

Fig. 2-2.- Estereograma de las superficies de discontinuidad principales en la cantera "os Vales".

CAMPO DAS ARCAS (Familia 20/80)

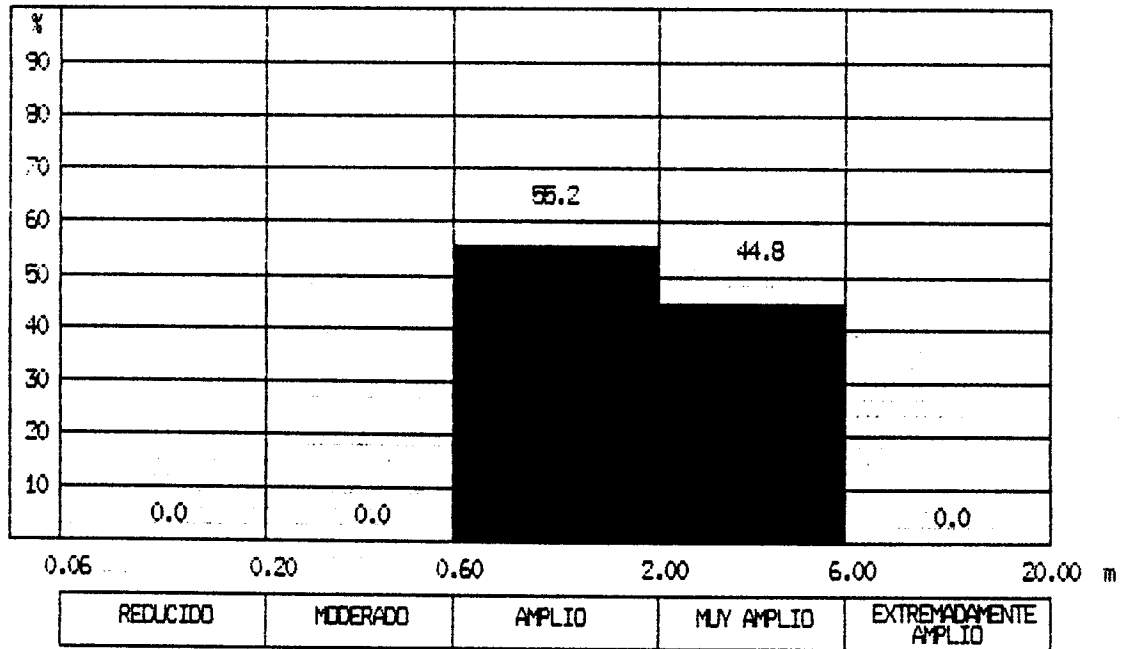


Espaciado Máximo = 3.00
 Espaciado Mínimo = 0.30
 Espaciado Medio = 1.16

N = 15

Desviación Típica = 0.86
 Coef. de Variación = 0.74

CAMPO DAS ARCAS (Fallas 270/40)



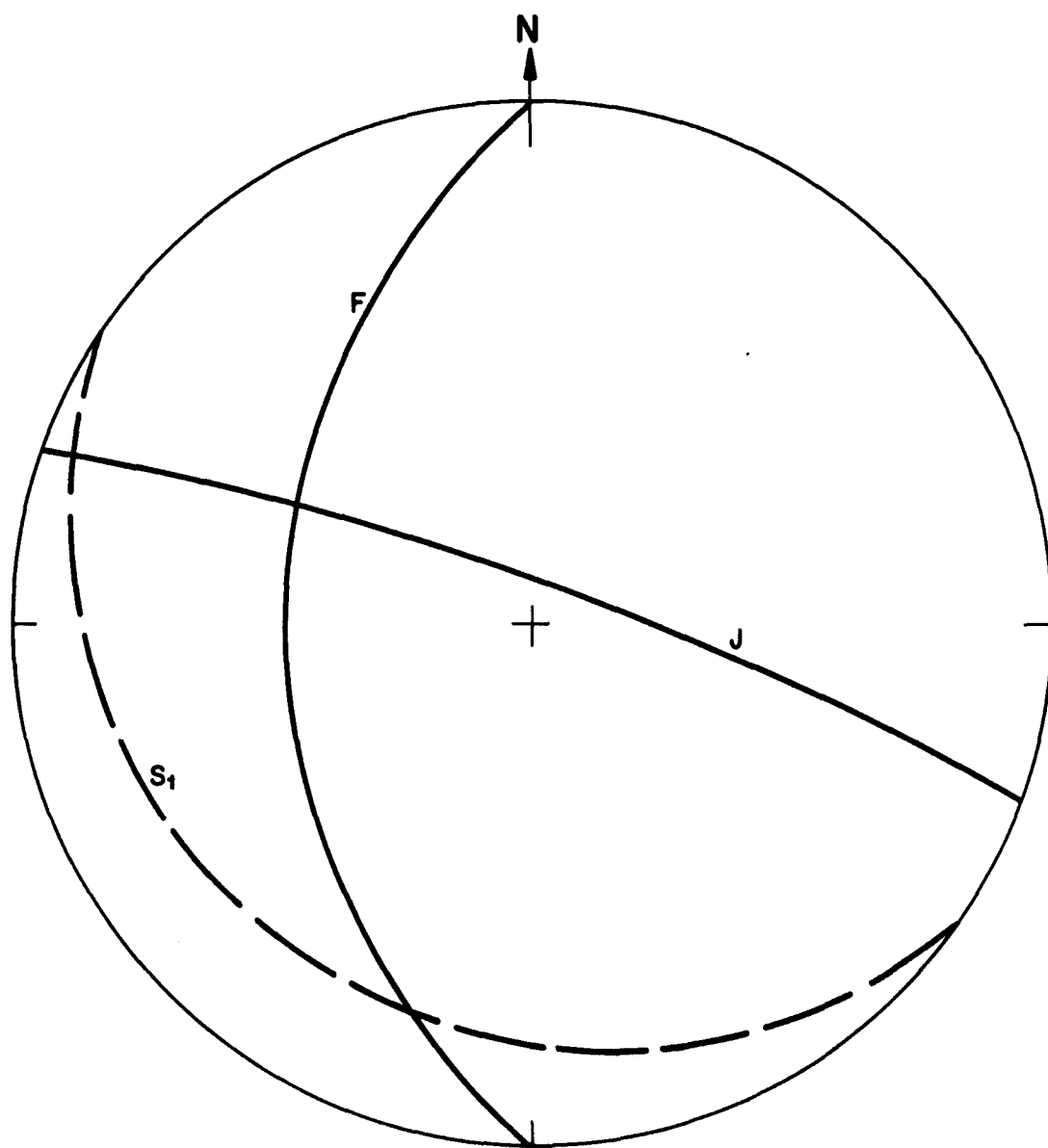
Espaciado Máximo = 3.50
 Espaciado Mínimo = 1.00
 Espaciado Medio = 2.07

N = 7

Desviación Típica = 0.86
 Coef. de Variación = 0.42

PARAMETROS DE FRACTURACION: $J_v = 1.34$ $V_B = 0.84$

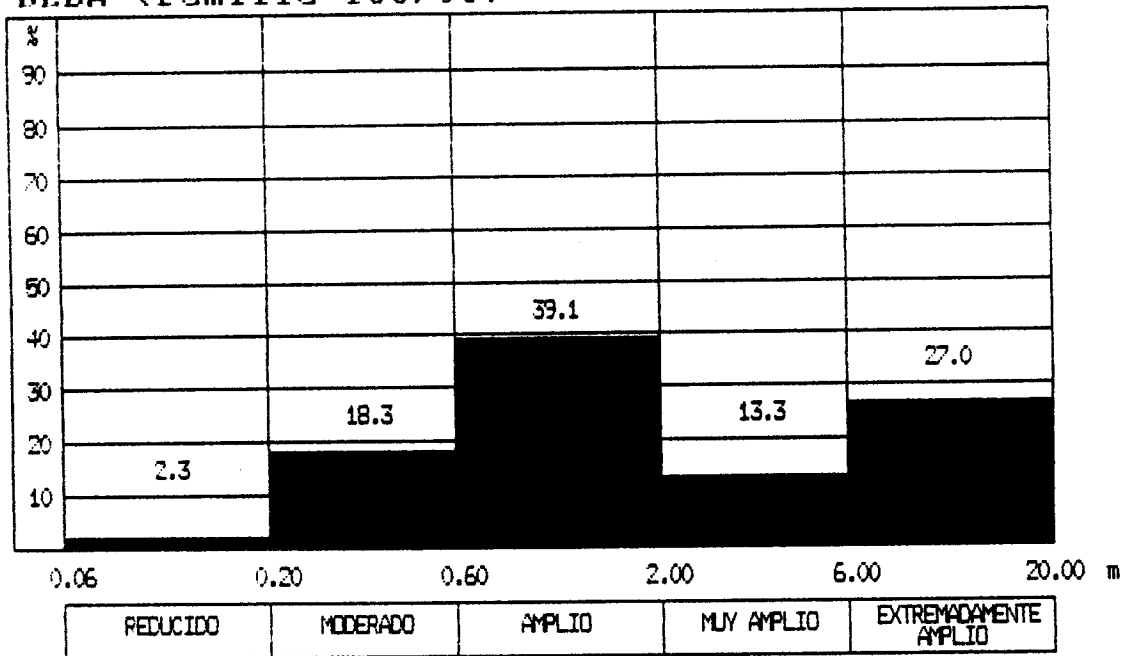
Fig. 2-3.- Histogramas de espaciados y parámetros de fracturación en la cantera "Campo das Arcas" (San Pedro de Trones), actualmente en explotación.



$S_1 = 215 / 15$
 $J = 20 / 80$
 $F = 270 / 40$

Fig. 2-4.- Esterograma de las superficies de discontinuidad principales en la cantera "Campo das Arcas".

BEDA (Familia 100/90)

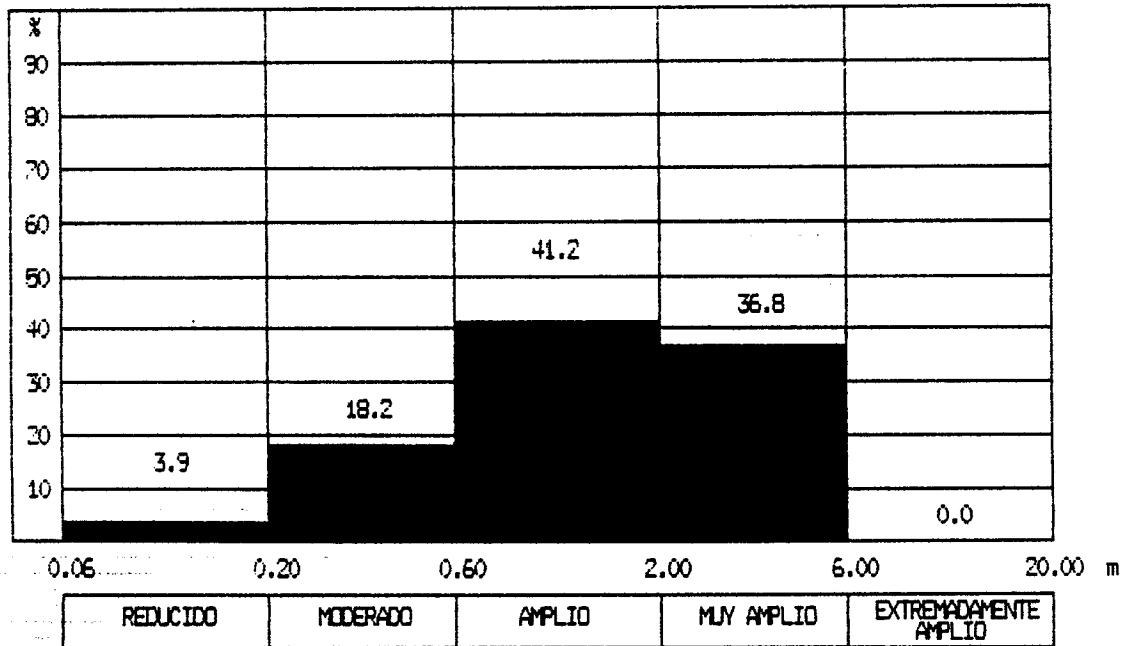


Espaciado Máximo = 7.70
 Espaciado Mínimo = 0.20
 Espaciado Medio = 1.02

N = 51

Desviación Típica = 1.41
 Coef. de Variación = 1.38

BEDA (Familia 0/70)



Espaciado Máximo = 3.90
 Espaciado Mínimo = 0.10
 Espaciado Medio = 0.82

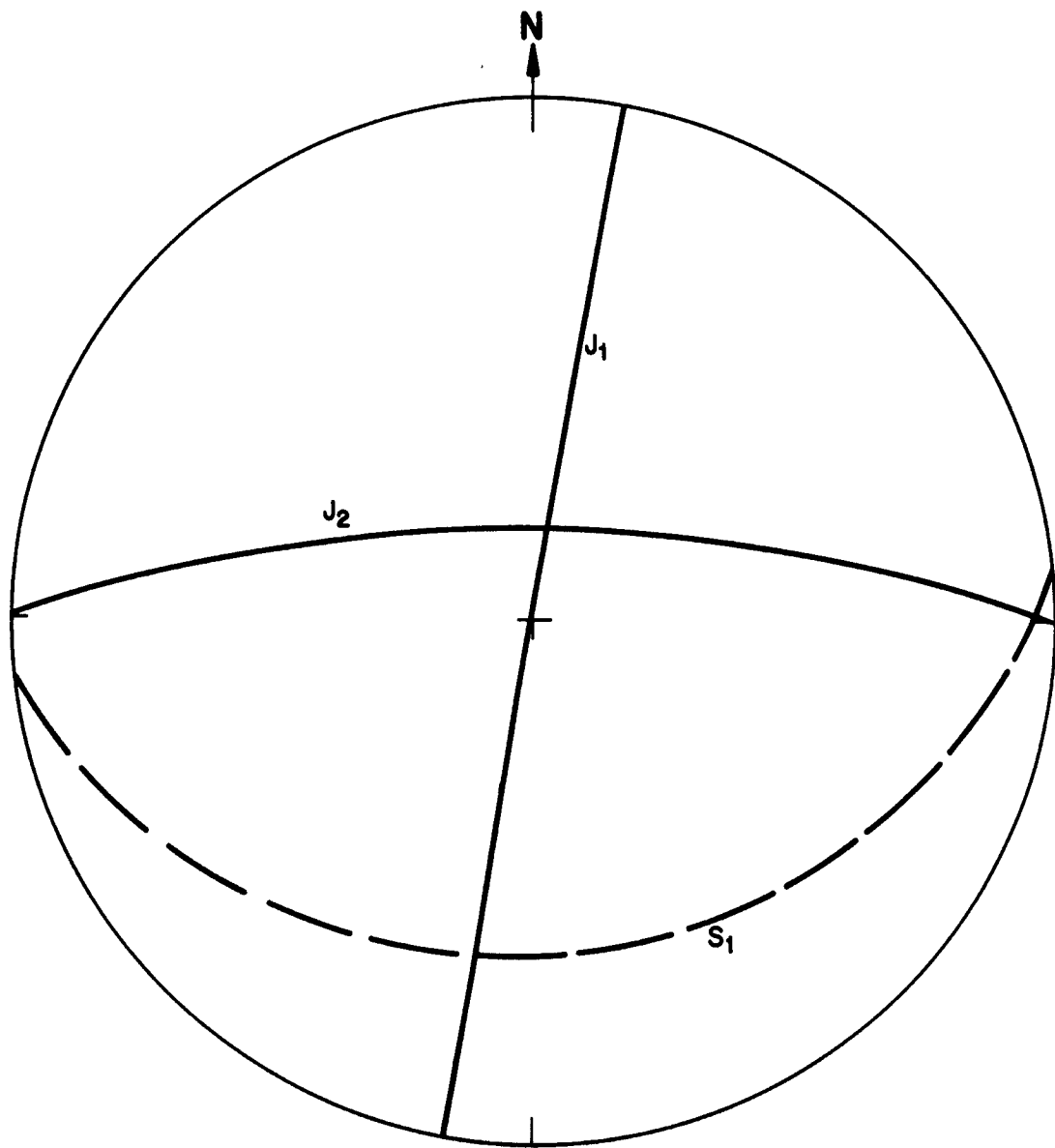
N = 58

Desviación Típica = 0.85
 Coef. de Variación = 1.04

PARAMETROS DE FRACTURACION:

$J_v = 2.20$ $V_B = 0.62$

Fig. 2-5.- Histogramas de espaciados y parámetros de fracturación en la cantera "Beda" (Casayo), abandonada por plantear problemas de tamaño de bloque.



$S_1 = 175/25$

$J_1 = 100/90$

$J_2 = 0/70$

Fig. 2-6.- Estereograma de las superficies de discontinuidad principales en la cantera "Beda".

2.5. SONDEOS

Se han realizado ocho sondeos con recuperación de testigo continuo, perforándose en total 450,4 m. con el fin de completar el estudio - realizado en superficie con datos tanto de la calidad litológica como de la fracturación en profundidad.

En el apartado 4 del volumen de Anexos, se presentan los registros de cada uno de los sondeos. En su descripción, se han tenido en cuenta una serie de aspectos particulares relacionados con el tipo de material que se pretendía investigar; por ello, se detallará a continuación el método seguido en la testificación.

- En la columna de Descripción se anotan las características litológicas (haciendo referencia en particular al color y al tamaño de grano) y las inclusiones de minerales metálicos (señalando su naturaleza, tamaño y abundancia).
- En la columna de Meteorización se indican los grados de meteorización, de acuerdo con la escala que aparece en el cuadro 2-1.
- La Recuperación se da en intervalos de 0 - 20 - 40 - 60 - 80 - 100%, - sin indicar valores intermedios.

| <u>GRADO DE METEORIZACION</u> | <u>DENOMINACION</u> | <u>CRITERIOS DE RECONOCIMIENTO</u> |
|-------------------------------|----------------------------------|--|
| I | Sana | Roca no meteorizada. Conserva el color lustroso en toda la masa. |
| II | Sana con juntas teñidas de óxido | Las caras de las juntas están manchadas de óxido pero el bloque unitario entre juntas mantiene el color lustroso de la roca. |
| III | Moderadamente meteorizada | Claramente meteorizada a través de la petrofábrica, reconociéndose el cambio de color respecto de la roca sana. El cambio de color puede ser desde simples manchas a variación de color de toda la masa, generalmente a colores típicos de óxidos de hierro. La resistencia de la roca puede variar desde muy análoga a la roca de grado II a bastante más baja, pero tal que trozos de 25 cm ² de sección no pueden romperse a mano. |
| IV | Muy meteorizada | Roca intensamente meteorizada que puede desmenuzarse a mano y romperse. |
| V | Completamente meteorizada | Material con aspecto de suelo completamente descompuesto por meteorización "in situ" pero en el cual se puede reconocer la estructura de la roca original. |

ESCALA DE METEORIZACION DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS DETRITICAS

(Basada en la de D.G. Moyer)

- En la columna de Fracturación se señala el número de fracturas naturales por metro, en intervalos de 0 - 1 - 4 - 16 - 64 - > 64 fract./m, sin indicar valores intermedios.

- En la columna de Estructuras se anotan las medidas que puedan hacerse de estructuras diversas (S_0 , S_1 , S_c , J, etc.), indicando su dirección de buzamiento y buzamiento tomados con el eje del sondeo en posición vertical y la esquistosidad primaria (S_1) buzando al N. De este modo, puede reconstruirse la posición real de dichas estructuras, siempre y cuando exista una disposición homogénea de la S_1 tanto en superficie como a lo largo del sondeo.

También se indican los siguientes parámetros:

a) RUGOSIDAD.- Las superficies de exfoliación pueden ser:

- . Lisas: sin estrías, huellas o nudos.
- . Estriadas: lineaciones o estrías apreciables con pequeño resalte (menos de 1 mm.)
- . Rugosas: con nudos, huellas, lineaciones o estrías que resaltan notablemente (más de 1 mm.).

b) GRADO DE FISIBILIDAD.- Según el espesor (e) de las placas que pueda obtenerse al exfoliar la pizarra, el grado de fisibilidad será:

- . Alto ($e < 5$ mm.)
- . Medio ($5 \text{ mm} \leq e \leq 10$ mm)
- . Bajo ($e > 10$ mm)

c) DUREZA.- Se tiene en cuenta la resistencia al rayado de las superficies de exfoliación, de acuerdo con los siguientes criterios:

- . Raya dura : Se rayan con dificultad con el martillo.
No se rayan con la uña.
- . Raya semidura: Se rayan con facilidad con el martillo y con dificultad con la uña.
- . Raya blanda : Se rayan con facilidad con la uña.

- En la columna del R.Q.D. (Rock Quality Designation) se anotan los valores de la recuperación modificada (porcentaje de trozos de testigo iguales o mayores de 10 cm sobre la longitud total de la maniobra), teniendo en cuenta únicamente las fracturas naturales - abiertas.

- Por último, en la columna de Profundidad, se marcan con sombreado los tramos que reúnen buenas características litológicas y escasa fracturación (< 4 fract./m); si la calidad litológica es buena pero la fracturación es mayor de 4 fract./m, se señala el tramo con rayado. Estos datos pueden servir para hacer una cierta estimación de las reservas existentes en cada macizo.

2.6. ENSAYOS

Se han tomado diversas muestras de los testigos de sondeo para ser sometidos a los ensayos de caracterización contemplados en las Normas UNE para pizarras ornamentales.

Los ensayos realizados han sido:

- Absorción y Peso específico aparente (UNE 22-191-85)
- Resistencia a las heladas (UNE 22-193-85)
- Resistencia a los cambios térmicos (UNE 22-197-85)
- Resistencia a los ácidos (UNE 22-198-85)
- Calcimétrica (UNE 22-199-85)

El ensayo de resistencia a la flexión (UNE 22-195-85) no ha podido llevarse a cabo con estas muestras a causa de su reducido tamaño.

Los resultados de estos ensayos permiten determinar la validez de las pizarras para su uso en las cubiertas de los edificios, de acuerdo con las especificaciones señaladas en la Norma UNE 22-201-85, referidas a las características físicas y alterabilidad.

3. ASPECTOS GEOLOGICOS GENERALES

El sector oriental del Sistema Central sobre el que se ha desarrollado la investigación de la 1ª Fase corresponde al denominado Complejo de Somosierra-Vellón, de acuerdo con el esquema propuesto por CAPOTE et al. (1981). (Ver Figs. 3-1 y 3-2).

En la memoria redactada en dicha fase ya se hizo notar la gran similitud entre las características estratigráficas de este sector y las del Dominio de Truchas de la Zona Asturoccidental-Leonesa, junto con la opinión de que ambos pueden constituir un único dominio dentro de la Zona Centroeuropea.

Según puede verse en la Figura 3-2, las Zonas de Interés Prioritario se sitúan en el Flanco inverso del Anticlinorio de Huelgaencina, en torno a la localidad de Atienza.

En el Mapa Nº 1 (ANEXOS), se recoge la cartografía geológica a escala 1:25.000 de dichas zonas, señalándose las tres áreas investigadas en esta 2ª Fase.

3.1. ESTRATIGRAFIA

Las características generales de la serie correspondiente al Ordovícico y Silúrico, ya descritas en la 1ª Fase, se sintetizan en la columna esquemática de la Figura 3-3.

A continuación, pasamos a describir con más detalle la estratigrafía de la formación potencialmente explotable (Rodada 4) y de las formaciones que se encuentran a muro y a techo de ésta (Rodada 3 y Rodada 5), en el dominio de las Zonas de Interés Prioritario.

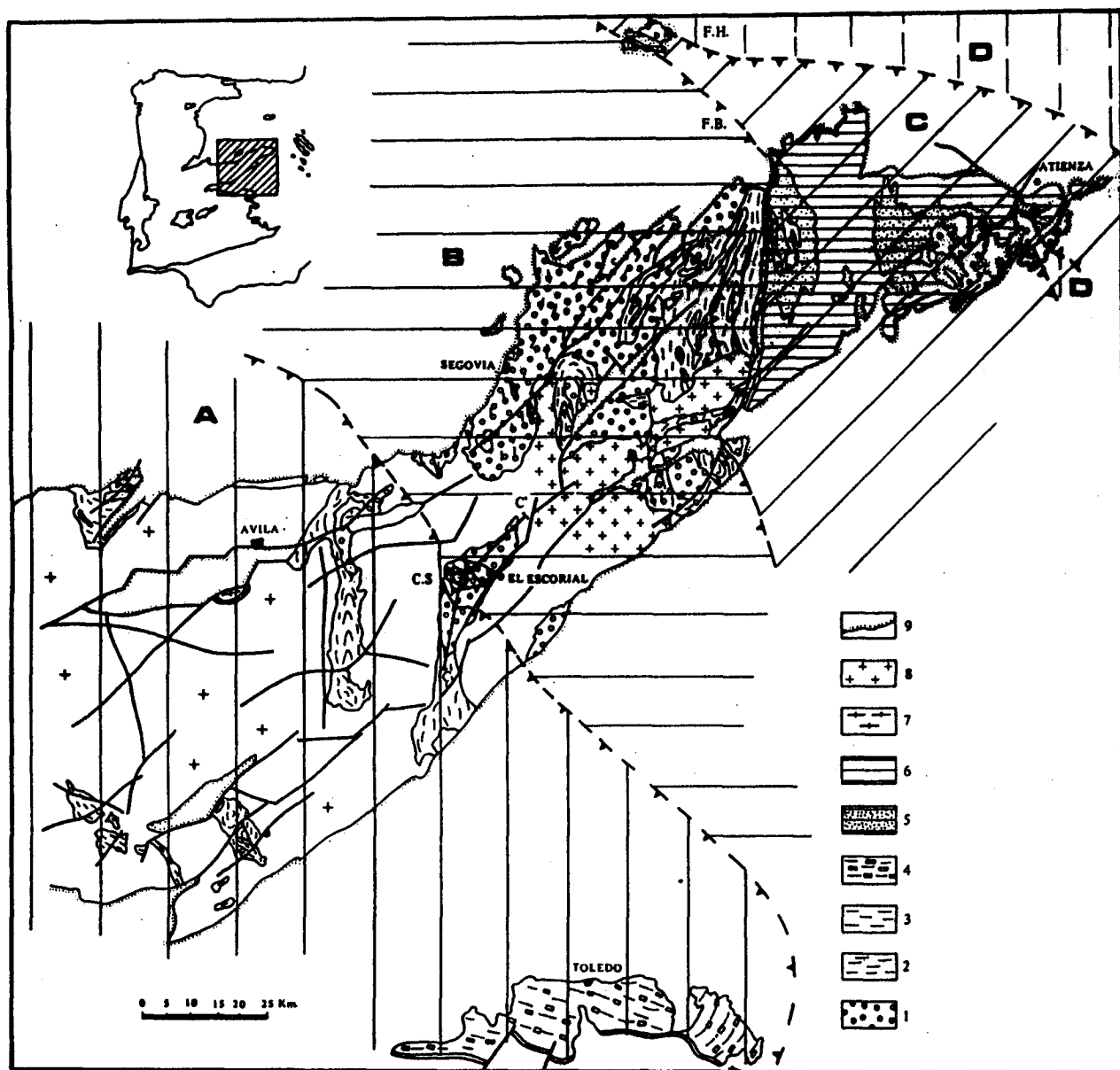


Fig. 3-1.- Esquema estructural del Sistema Central, según CAPOTE et al. (1981). 1) Gneises glandulares. 2) Gneises félicos glandulares. 3) Formaciones metasedimentarias preordovicias (esquistos, gneises bandeados, mármoles y rocas silicatadas cálcicas). 4) Unidad migmatítica de Toledo. 5) Tremadoc. 6) Arenig a Devónico inferior. 7) Granitoides estructurados. 8) Granitoides tardíos. 9) Postpaleozoico. A) Complejo de Gredos. B) Complejo de Guadarrama. C) Complejo de Somosierra-Vellón. D) Unidad de Angón. FB) Falla de Berzosa. FH) Falla de Honrubia. CS) Cabalgamiento de Sta. María de la Alameda.

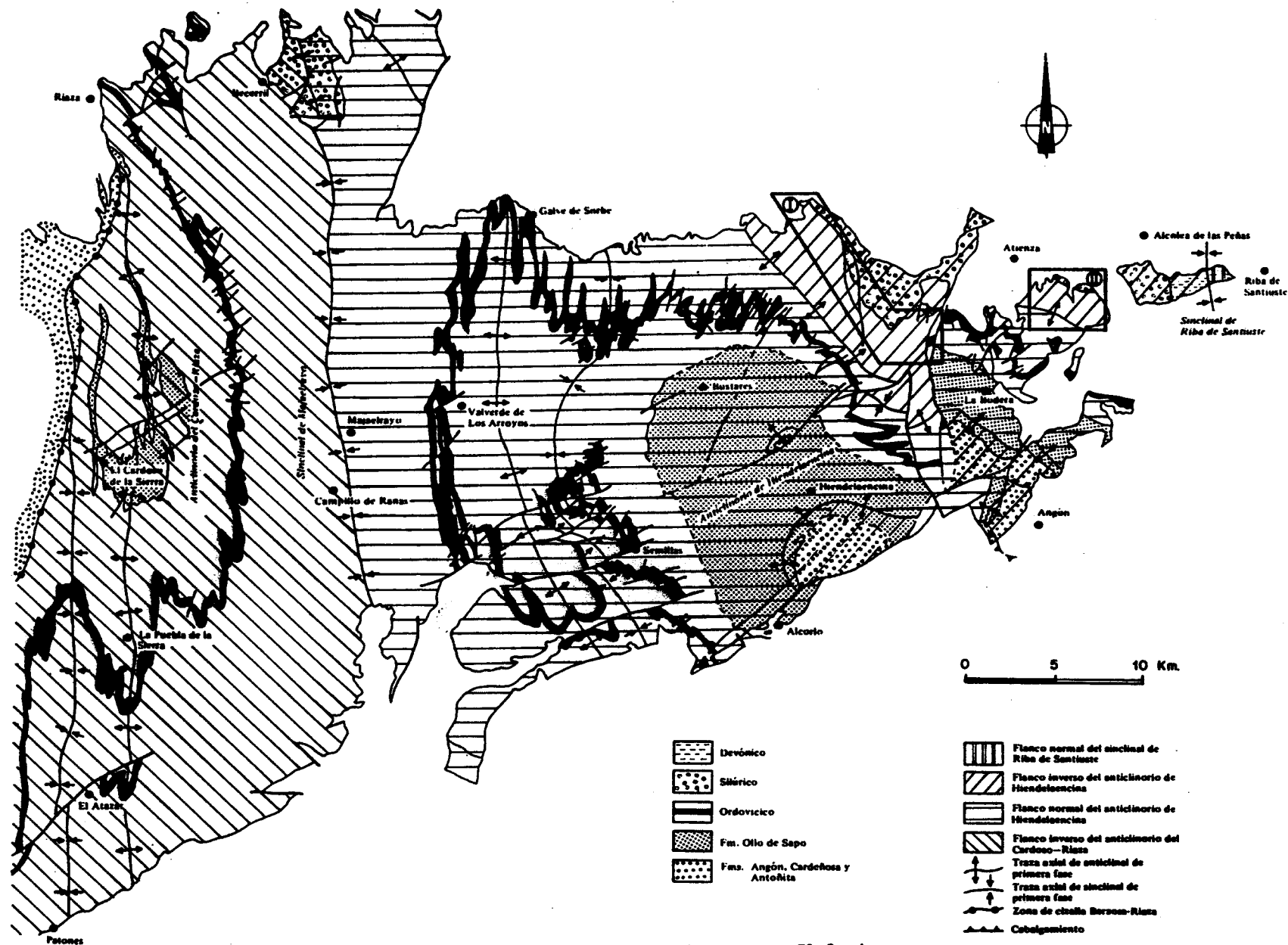
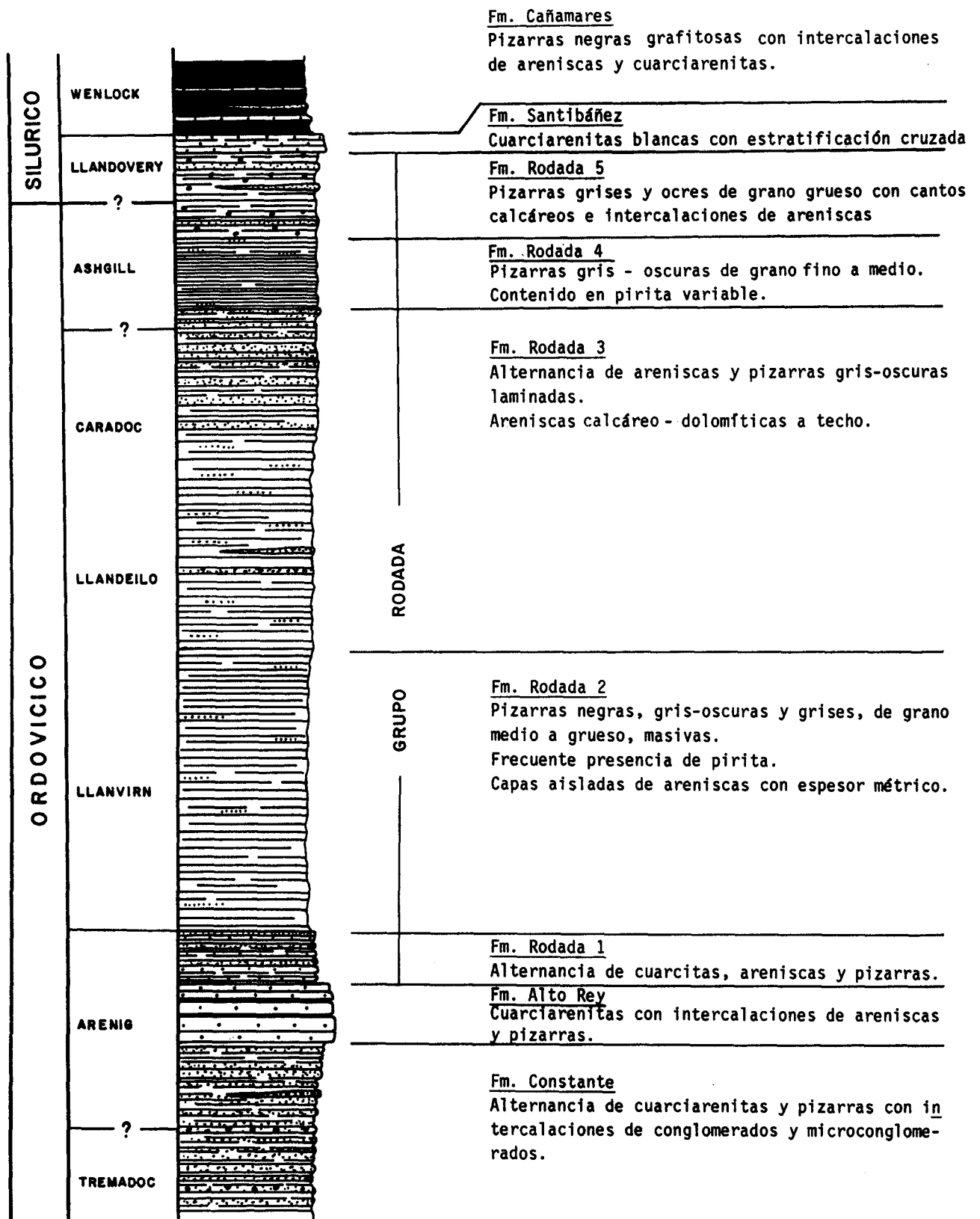


Fig. 3-2.- Mapa estructural de la región de Hiendelaencina - El Cardoso (Complejo de Somosierra-Vellón), según GONZALEZ LODEIRO (1979), y situación de las zonas de interés prioritario:

- I. Zona de Bornova-Rodada
- II. Zona de Los Prados-Valdejudfos.



ESCALA 1 : 10.000

FIG. 3 - 3 .- COLUMNA SINTETICA DEL ORDOVICICO Y SILURICO EN EL AREA INVESTIGADA

Formación Rodada 3 (R3)

Tiene un espesor de 450-500 m, y pueden diferenciarse en ella dos miembros: el inferior está constituido esencialmente por pizarras gris-oscuroas con laminaciones y algunas intercalaciones de areniscas; en el miembro superior, cuya potencia equivale aproximadamente a 1/3 de la formación, alternan las pizarras gris-oscuroas laminadas con areniscas grises de grano fino a medio, existiendo a techo un nivel discontinuo de areniscas calcáreo-dolomíticas de color gris-claro y un espesor, en general, no superior a 2 m.

Son frecuentes en el miembro superior las estructuras sedimentarias típicas de Tempestitas: estratificación "hummocky", laminación paralela y cruzada, bioturbación, "ripples" de oscilación y de corriente, estratificación lenticular y "flaser", etc., apareciendo secuencias de Dott completas e incompletas.

La edad atribuida a esta formación, aunque algo imprecisa, es -- Llandeilo-Ashgill.

Formación Rodada 4 (R4)

Presenta unas características bastante homogéneas dentro de las zonas de Interés Prioritario.

Está integrada por pizarras gris-oscuroas, de grano fino a medio, masivas en general, aunque a veces aparecen tramos con finas laminaciones. El espesor total es de 110 a 140 m.

El contacto con la formación infrayacente (R3) es bastante neto, viniendo marcado en ocasiones por el nivel de areniscas calcáreo-dolomíticas ya citado. En las capas basales de R4 suelen observarse laminaciones arenosas.

Hacia el techo, la Formación R4 presenta un tránsito gradual a la formación suprayacente (R5), pudiendo llegar a diferenciarse en muchos puntos un miembro superior de R4 con pizarras grises y gris-oscuros de grano medio a grueso en las que aparecen algunos huecos de disolución de cantos calcáreos: el espesor de este miembro viene a ser de 15 a 25 m.

Aunque no existen datos paleontológicos de esta formación, se le puede atribuir una edad Ashgill por correlación con otras series análogas y de acuerdo con las edades asignadas a las unidades inferiores y superiores.

En la figura 4-4 se recogen algunas columnas parciales de la formación R4 deducidas a partir de los sondeos realizados.

En el apartado 3 del volumen de Anexos, se encuentran las descripciones de las láminas delgadas obtenidas de diversas muestras de la formación. Las características petrográficas de estas pizarras pueden resumirse del siguiente modo:

- Miembro inferior

- . Presentan textura lepidoblástica, con tamaños de grano inferiores, en general, a 25 μm
- . Los componentes principales son Sericita y Clorita y, a veces, también Cuarzo.
- . Como componentes accesorios suelen aparecer el Cuarzo, algunos opacos (Pirita en muchas ocasiones), Zircón y Turmalina.
- . La sericita aparece en forma de pequeños cristales alargados que marcan la dirección de la S_1 . La Clorita presenta esta misma morfología y aparece también en pequeños microclastos precinemáticos respecto a la F_1 .

- Miembro Superior

- . La textura suele ser lepidoblástica con microclastos de Cuarzo y Clorita. Los microclastos tienen diámetros de hasta 0,15 mm. mientras que el tamaño de grano de la matriz es inferior a -- 25 μm .
- . La composición mineralógica es similar a la de las anteriores, con un porcentaje mayor de Cuarzo y con cantos calcáreos ocasionales.

Por los que se refiere a la calidad litológica de cara a la utilización como pizarras ornamentales, puede decirse que dentro de la Formación Rodada 4 sólo los niveles del miembro inferior deben considerarse como potencialmente explotables, ya que las características litológicas y , en especial, la gran heterogeneidad textural que presentan - las pizarras del miembro superior no son admisibles en este sentido.

Formación Rodada 5 (R5)

Está constituida por pizarras ocres y gris-claras de grano grueso, en las que suelen aparecer numerosos huecos correspondientes a cantos calcáreos disueltos, de tamaño milimétrico a centimétrico. Existen también frecuentes intercalaciones de láminas arenosas y niveles discontinuos de areniscas grises de grano fino a medio. El espesor es de 200 a 240 m.

La característica litología de esta formación es similar a la de las capas de "Pizarras con cantos" de los miembros medio y superior de la Formación Agüeira en el Dominio de Truchas.

Aunque la ausencia de datos faunísticos impide datar con precisión esta formación, puede suponerse que se encuentra en el límite Ordovícico-Silúrico, por correlación con otras series similares del Macizo Ibérico.

3.2. TECTONICA

Centrándonos exclusivamente en las estructuras hercínicas, pueden distinguirse tres fases de deformación principales y algunas otras posteriores de menor intensidad.

- Primera fase (F 1):

Es la que origina la deformación más importante y las estructuras mayores más significativas a escala regional.

Da lugar a pliegues apretados asimétricos, vergentes hacia el E, presentes a todas las escalas (ver fotografía 3-1), y origina también una esquistosidad primaria (S_1) generalizada, con disposición de plano axial respecto a los pliegues, que es de tipo "slaty cleavage" en las pizarras y de tipo "rough cleavage" o "rough slaty cleavage" en los materiales con granulometría más grosera.



Fotografía 3-1.- Pliegues de F1 en una capa de arenisca de la formación R5.

- Segunda fase (F2):

Tras el desarrollo de las estructuras de F1, se originan grandes cabalgamientos, vergentes también hacia el E, en relación con los cuales aparecen pliegues menores en vaina ("sheath folds") y una esquistosidad de crenulación (S₂). Este tipo de estructuras no parecen estar presentes en el área de las zonas de Interés Prioritario.

- Tercera fase (F3):

Esta fase tiene bastante importancia a nivel regional, pues da lugar a pliegues retrovergentes respecto de las estructuras anteriores junto con una intensa esquistosidad de crenulación (S₃), acompañada a veces de bandeo tectónico, que puede llegar a obliterar totalmente a la S₁.

Las Zonas de Interés Prioritario se sitúan en un flanco inverso de primera fase (flanco inverso del Anticlinorio de Hiendelaencina) - que se encuentra en posición retrovergente por efecto de la tercera fase.

- Fases posteriores:

Afectando a las anteriores estructuras y con un desarrollo más bien local, aparecen al menos dos esquistosidades de crenulación (S₄ y S₅) en relación con las cuales no se han observado estructuras a gran escala.

En el dominio de las zonas de Interés Prioritario (Ver Fig. 3-2 y Mapa nº 1) puede observarse un gran sinclinal relativamente abierto (Sinclinal de la Miñosa) cuyo eje presenta una suave inmersión hacia el N. Esta estructura corresponde a una fase más tardía y probablemente están relacionadas con ella las numerosas diaclasas transversales y "Kink-bands" que aparecen en dicho sector con una disposición radial.

Fracturación

Como puede observarse en el diagrama de la Fig. 3-4, la mayor parte de las fallas presentes en el área citada tienen aproximadamente una orientación N-S; entre éstas, existen algunas fallas inversas y otras con una importante componente de desgarre, dextral en algunos casos y sinistral en otros (Falla de Cañamares y asociadas a ella).

Un segundo grupo notable de fallas se orienta en dirección E - W, con un desarrollo en longitud inferior, en general, al de las anteriores.

Por último, aparecen dos familias en dirección NW - SE y NE - SW que pueden constituir un sistema conjugado.

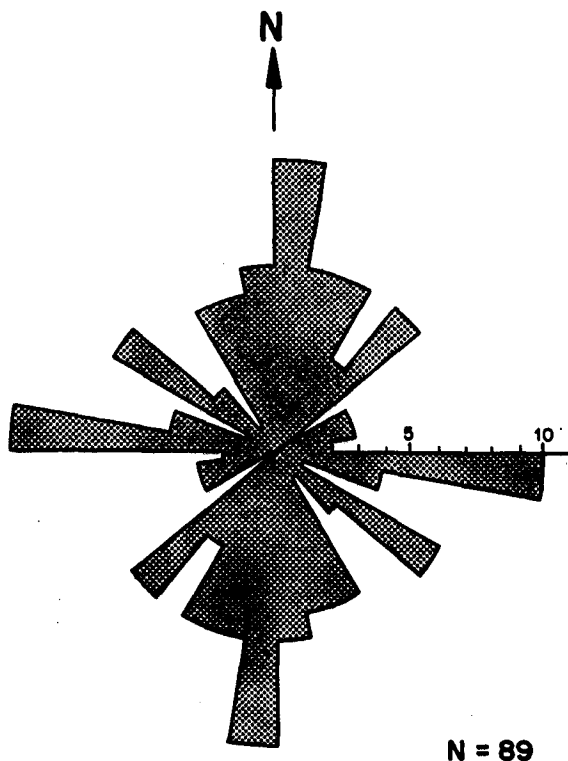


Fig. 3-4.- Diagrama en Rosa mostrando las frecuencias en la orientación de las fallas en las zonas de Interés Prioritario.

Por lo que se refiere a la fracturación a escala de afloramiento, el estudio llevado a cabo se ha centrado principalmente en aspectos geométricos del sistema de diaclasas y en los espaciados de las distintas familias, como ya se mencionó en el apartado 2.4.

La familia de diaclasas transversales o radiales anteriormente citada es la que presenta mayor persistencia o continuidad y la más generalizada dentro de las Zonas de Interés Prioritario.

3.3. METAMORFISMO

Como ya se apuntó en la memoria de la 1ª Fase, el metamorfismo hercínico existente en el área de Atienza-Hiendelaencina es de grado bajo y se desarrolló principalmente durante la F₁ y previamente a la F₂.

La paragénesis más frecuente en las pizarras de la formación - R4 es la de Cuarzo-Sericita-Clorita.

4. DESCRIPCION DE LAS ZONAS ESTUDIADAS

A continuación, se describen las características particulares de cada una de las tres zonas investigadas, cuya situación puede observarse en el Mapa N^o 1, indicándose los macizos que han sido seleccionados para el estudio en detalle de la fracturación de acuerdo con los criterios ya mencionados en el capítulo 2.

4.1. ZONA A (Rodada)

La zona A se encuentra situada a unos 3,5 Km al W de Naharros y a 3 Km al SW de La Miñosa, inmediatamente al N del pico Rodada (1.421 m). Tiene una superficie de 150 ha y presenta un relieve bastante acusado (Ver Fotografía 4-1). El acceso más directo a la zona es a través de una pista forestal con unos 6 Km de recorrido que parte de la carretera Local que une Atienza con Hiendelaencina, a la altura de la desviación a Robledo de Corpes.

Existen en esta Zona diversas explotaciones de pizarra antiguas, consistentes, por lo general, en pequeños frentes en los que la extracción y elaboración de las placas y losas era de tipo artesanal; también se encuentra en la Zona la única cantera que llegó a funcionar con medios modernos (Ver Fotografía 5-2), desde la que se transportaban los rachones hasta una nave de labrado en Hiendelaencina.

En el Mapa N^o 2 se recoge la cartografía geológica de la Zona a Escala 1:5.000, y en el Mapa N^o 3, un esquema tectónico de la misma.

Como puede verse en los cortes estructurales que acompañan al mapa geológico, la Formación R4 se dispone buzando entre 20^o y 40^o hacia el NE en la parte W de la Zona, orientándose progresivamente su dirección de buzamiento al N hacia el E, por encontrarse en la zona de charnela del sinclinal de La Miñosa. Aunque la posición estructural aparenta ser la de un flanco normal de primera fase, en realidad se trata de un flanco inverso retroergente por efecto de la tercera fase, como ya se comentó en el capítulo anterior.

La dirección y buzamiento de la S_1 también sufren ligeras variaciones que pueden observarse en los diagramas de la Figura 4-1.

La lineación de intersección (L_1) y los ejes de pliegues de F_1 se disponen, en general, con inmersiones pequeñas (Ver figura 4-2 y Mapa N° 3).

Aparecen algunas bandas con esquistosidades de crenulación intensas que han sido agrupadas en tres tipos: S_3 , S_4 y S_5 , según puede verse en la Figura 4-3, disponiéndose a su vez con una cierta dispersión. La más importante de ellas es la S_3 , que se presenta incluso en sectores en los que aparentemente no hay crenulación intensa, confundiendo con la S_1 , con la que suele formar un ángulo bajo; este hecho limita notablemente el aprovechamiento de la pizarra, puesto que la exfoliación se hace irregular al existir dos superficies de anisotropía en la roca.

Paralelamente a las bandas de S_3 , aparecen a veces agrupaciones de venas de cuarzo en relación con las cuales se desarrollan con frecuencia estructuras de deformación superpuestas.

En la Figura 4-4 se muestra un intento de correlación de las columnas parciales obtenidas a partir de los sondeos realizados en esta Zona, y en el Mapa N° 4 se sintetizan los diversos factores litológico-estructurales que se han tenido en cuenta para la selección de los cinco macizos que aparecen señalados en el mismo.



Fotografía 4-1.- Vista parcial de la Zona A (Rodada): Ladera N del macizo de Rodada.
Al fondo, a la derecha, La Sierra de Alto Rey.

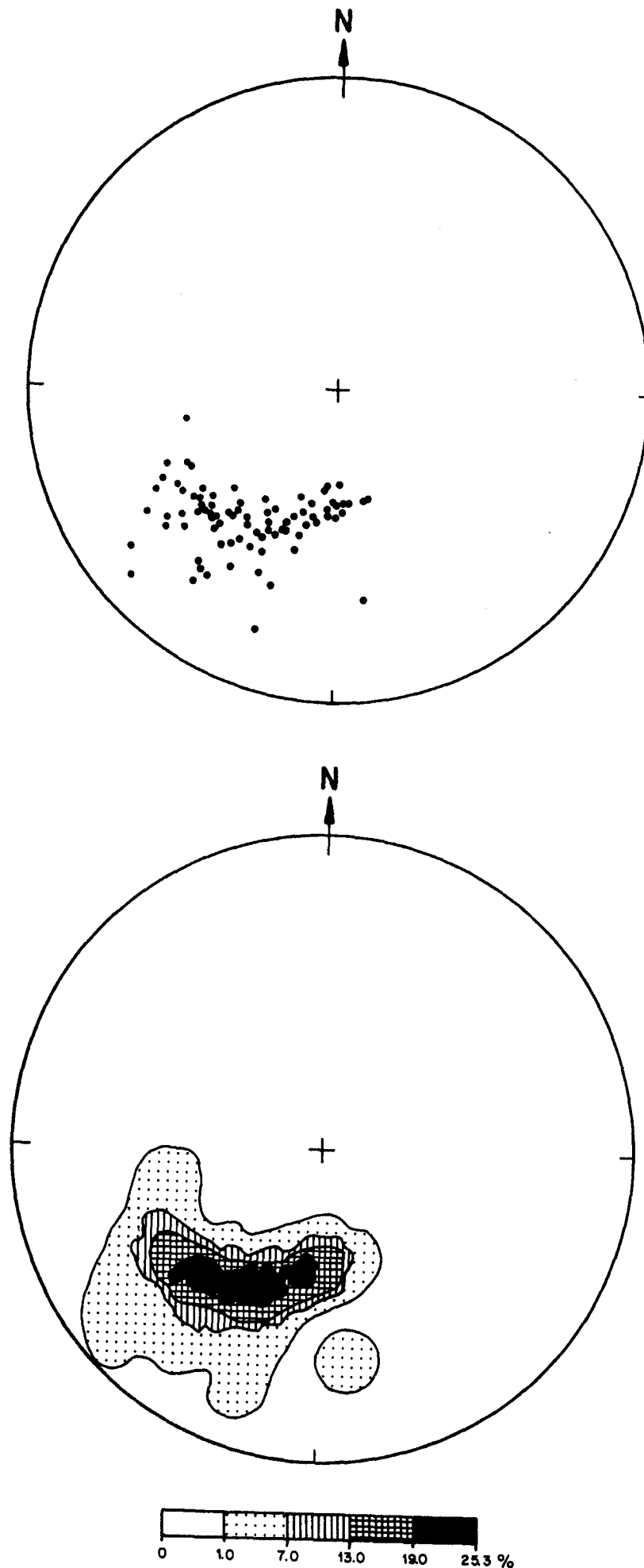


Fig. 4-1 Disposición de la S_1 en la Zona A (Rodada).
 Proyección de polos y Diagrama de concentración.
 (Proyección Equiárea, Hemisferio inferior) . N = 91.

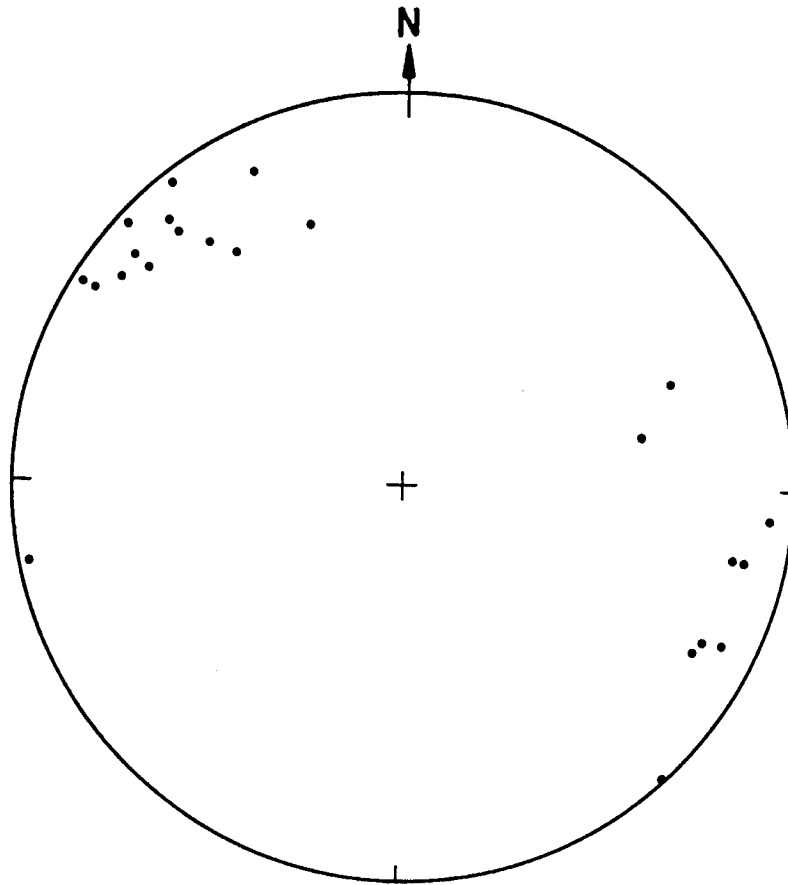


Fig. 4-2 Datos de L_1 y Ejes de pliegues de F_1 en la zona A (Rodada).
(Proyección Polar Equiárea, Hemisferio inferior). $N = 23$

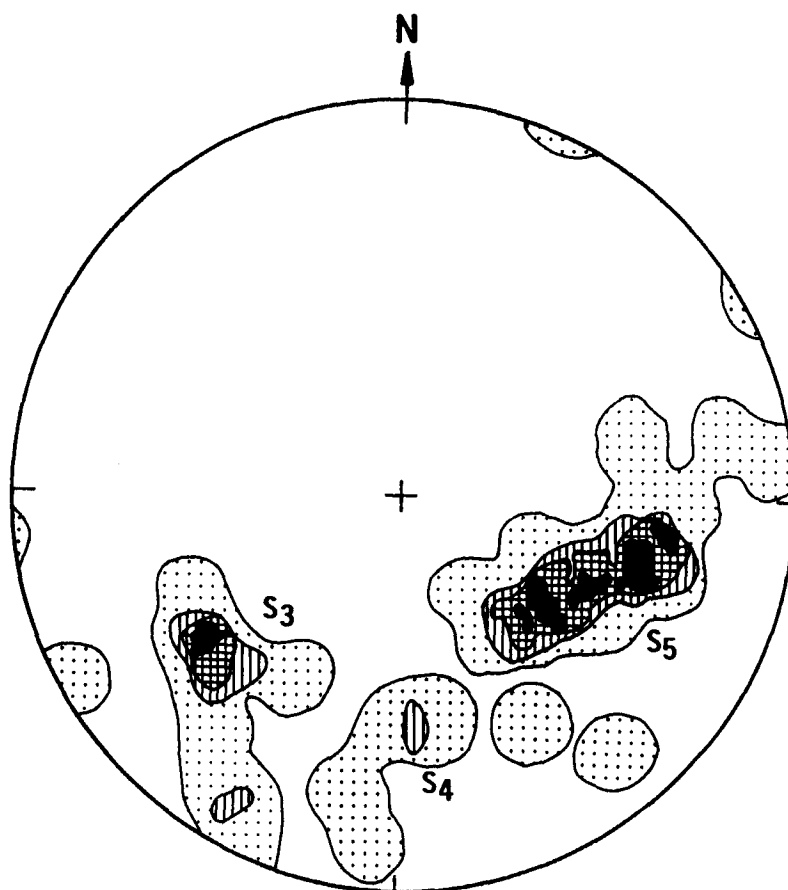
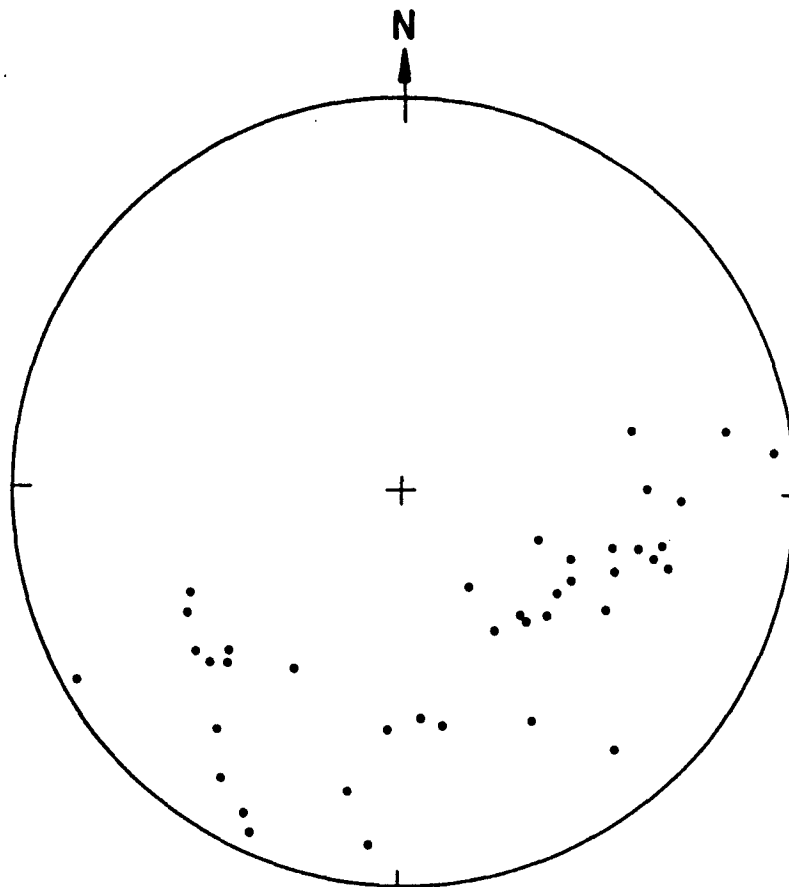

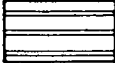

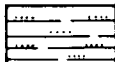
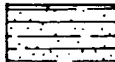
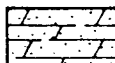


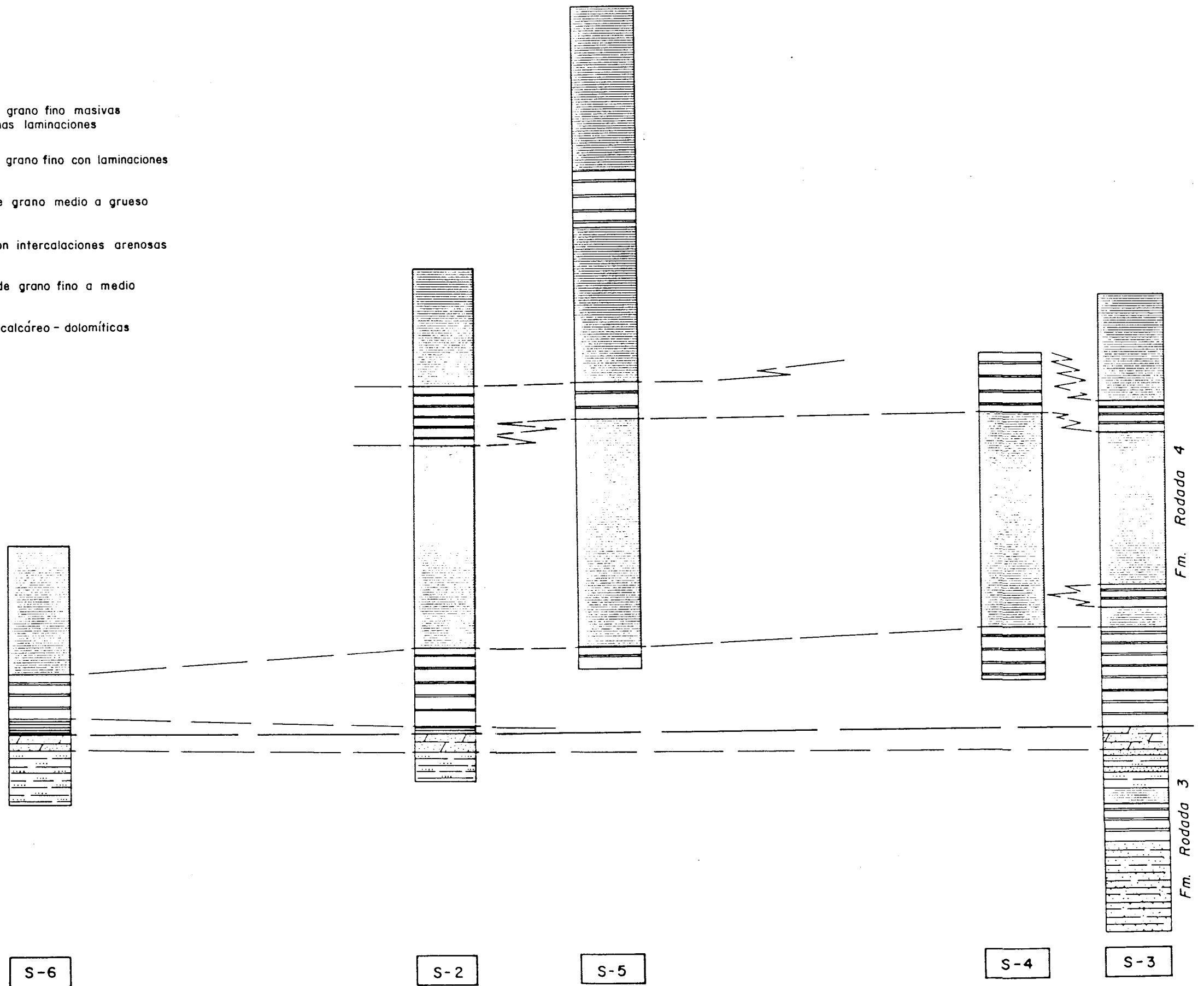
Fig. 4-3 Esquistosidades de crenulación (S_C) en la Zona A (Rodada).
 Proyección de polos y Diagrama de concentración.
 (Proyección Equiárea, Hemisferio inferior). $N = 40$

LEYENDA

-  Pizarras de grano fino masivas o con algunas laminaciones
-  Pizarras de grano fino con laminaciones
-  Pizarras de grano medio a grueso
-  Pizarras con intercalaciones arenosas
-  Areniscas de grano fino a medio
-  Areniscas calcáreo - dolomíticas

NW

SE



S-6

S-2

S-5

S-4

S-3

Fm. Rodada 4

Fm. Rodada 3

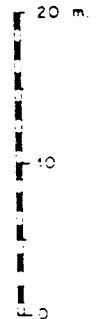


FIG. 4 - 4.- DIAGRAMA DE COLUMNAS CORRESPONDIENTE A LA ZONA "A" (RODADA), A PARTIR DE LOS SONDEOS REALIZADOS EN LA MISMA. (La posición de las columnas S-4 y S-5 es aproximada)

Escala horizontal 1: 5.000
Escala vertical 1: 500

4.2. ZONA B (Bornova)

Esta Zona constituye un sector de unos 3 Km de longitud y 250 ha de superficie situado en prolongación con la Zona A hacia el NW. El Rfo Bornova atraviesa la Zona por el extremo NW (Ver Mapa N^o1).

La principal vía de acceso a la zona es una pista que parte desde Cañamares (Carretera Comarcal C-114, Km. 59) y tiene un recorrido de 4 Km. Existe también una pista que enlaza entre sí las Zonas A y B aunque sólo es transitable con vehículos todo-terreno.

Al igual que en la zona contigua, existen aquí diversas explotaciones de pizarra abandonadas, agrupándose las más importantes en la ladera E de un macizo próximo al Rfo Bornova (Ver Fotografía 4-2).

Las características geológicas de esta Zona son similares a las de la Zona A, con la diferencia de que se encuentra en el flanco W del sinclinal de la Miñosa y, por tanto, la dirección y buzamiento de la S_0 , S_1 y esquistosidades de crenulación no experimentan variaciones notables a lo largo de la misma (Ver Mapas N^{os} 1, 5 y 6, y Figuras 4-5 y 4-6).

En el corte B2-B2' del Mapa N^o5 puede verse cómo existe una banda con filones de cuarzo (Ligada a una franja con importante desarrollo de la S_3) en relación con la cual se ha producido un juego de falla inversa, probablemente en una fase de deformación posterior.



Fotografía 4-2.- Aspecto general de las Canteras del Bornova (Zona B).
Al fondo, a la derecha, La Sierra de Alto Rey.

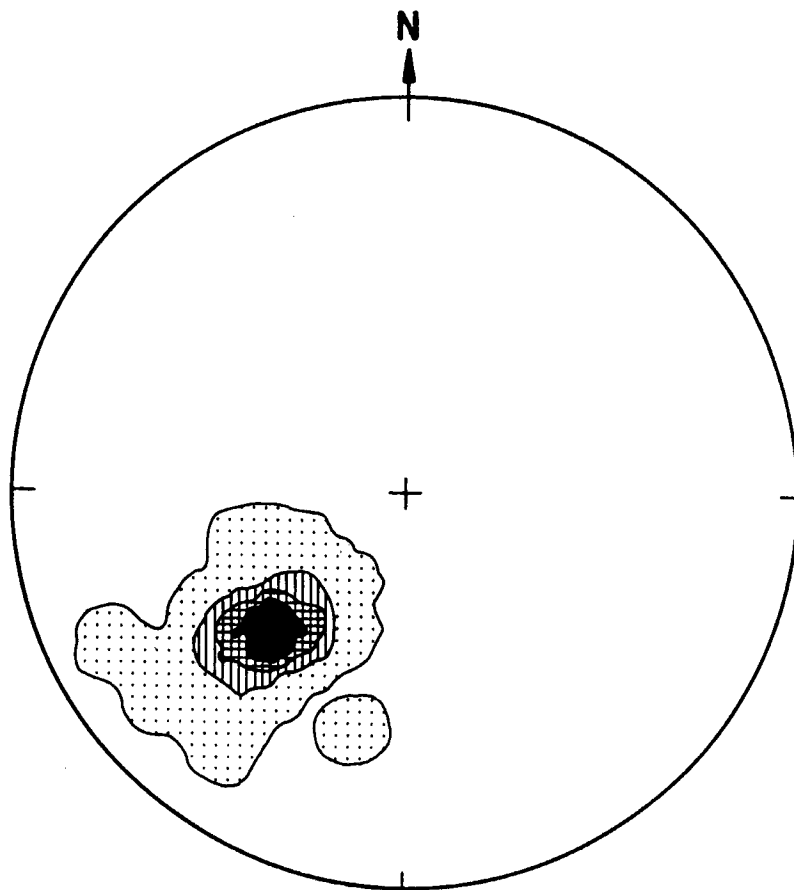
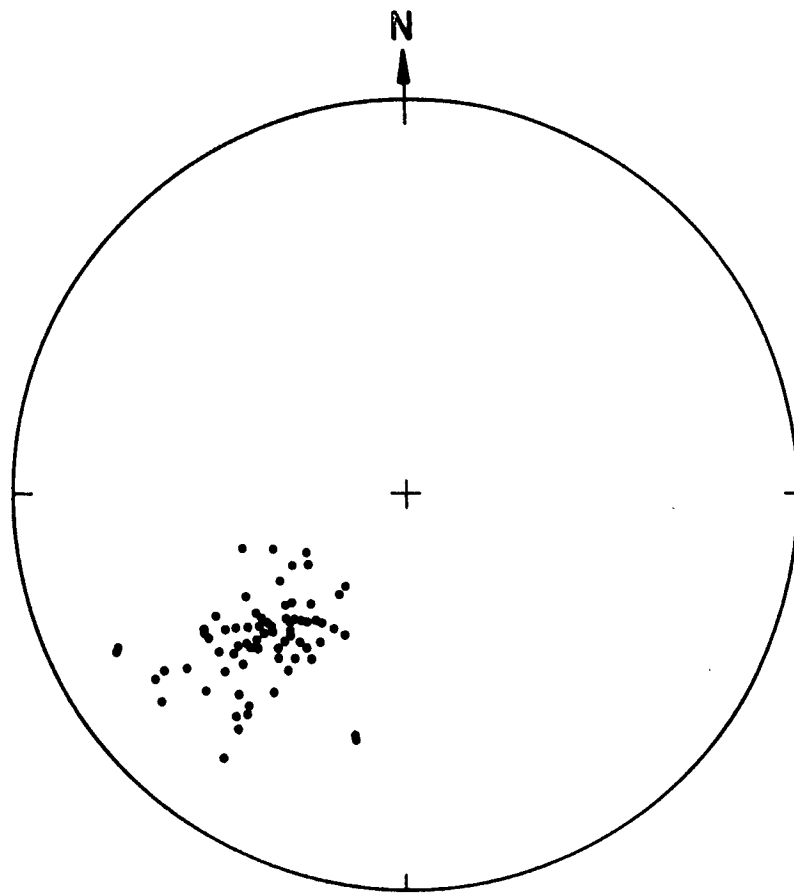


Fig. 4-5 Disposición de la S_1 en la Zona B (Bornova)
 Proyección de polos y Diagrama de concentración.
 (Proyección Equiárea, Hemisferio inferior). N = 75

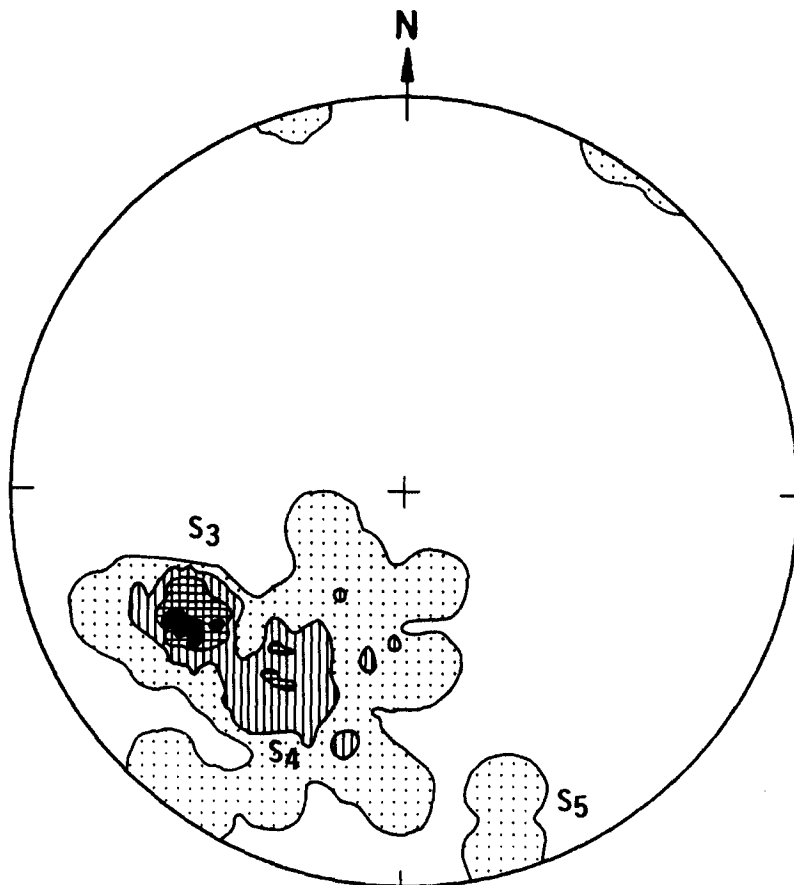
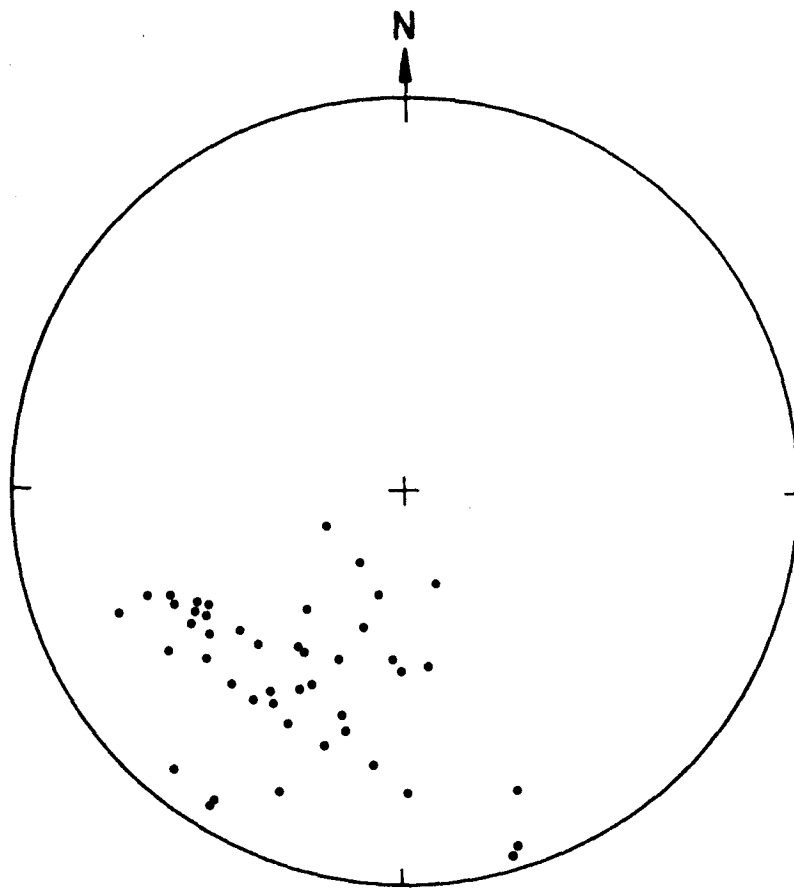


Fig. 4-6 Esquistosidades de crenulación (S_C) en la Zona B (Bornova).
 Proyección de polos y Diagrama de concentración.
 (Proyección Equiárea, Hemisferio inferior). $N = 46$

Los valores medios de la S_0 y S_1 en la Zona son respectivamente 37/31 y 45/43.

Los afloramientos de la Formación R4 están casi exclusivamente restringidos a la mitad NW de la zona, siendo muy limitados en la otra mitad a causa de varias fallas y de recubrimientos cuaternarios.

Como puede observarse en el Mapa N^o 7, sólo se han seleccionado dos macizos en esta zona dadas las limitaciones impuestas por el amplio desarrollo de bandas con esquistosidad de crenulación intensa y la densidad de diaclasas y "kink-bands" transversales en algunos puntos (Ver p.e. Fotografía 4-3).



Fotografía 4-3 Macizo de pizarra afectado por numerosas diaclasas y "kink-bands" transversales. Zona B (Bornova)

4.3. ZONA C (Los Prados)

La Zona C se sitúa a unos 3 Km al E de la localidad de Atienza, en torno al paraje denominado Los Prados. Constituye un sector de 2 Km de longitud, con una superficie de 150 ha. (Ver Mapas NOS 1 y 8).

La carretera Comarcal C-114 (Alcolea del Pinar-Aranda de Duero) atraviesa la Zona longitudinalmente.

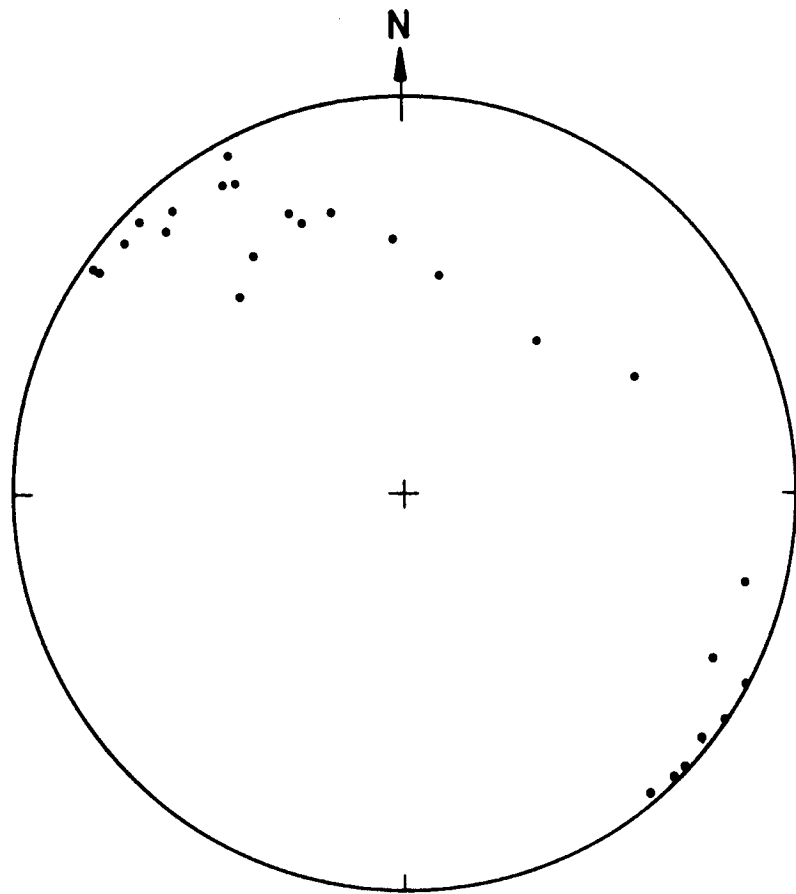
Presenta, en general, un relieve bastante suave, con frecuentes recubrimientos de cuaternario concentrados principalmente en arroyos y laderas. En el ángulo NW existe una altiplanicie constituida por un nivel conglomerático con cantos y cemento calcáreos, subhorizontal, - posiblemente correspondiente al Plioceno.

Las formaciones paleozoicas tienen un trazado bastante rectilíneo en dirección NW-SE, con una disposición estructural similar a la de las Zonas A y B (Flanco inverso de Fase 1 retrovergente), puesto - que corresponde a la misma estructura que éstas desplazada por la Falla de Cañamares.

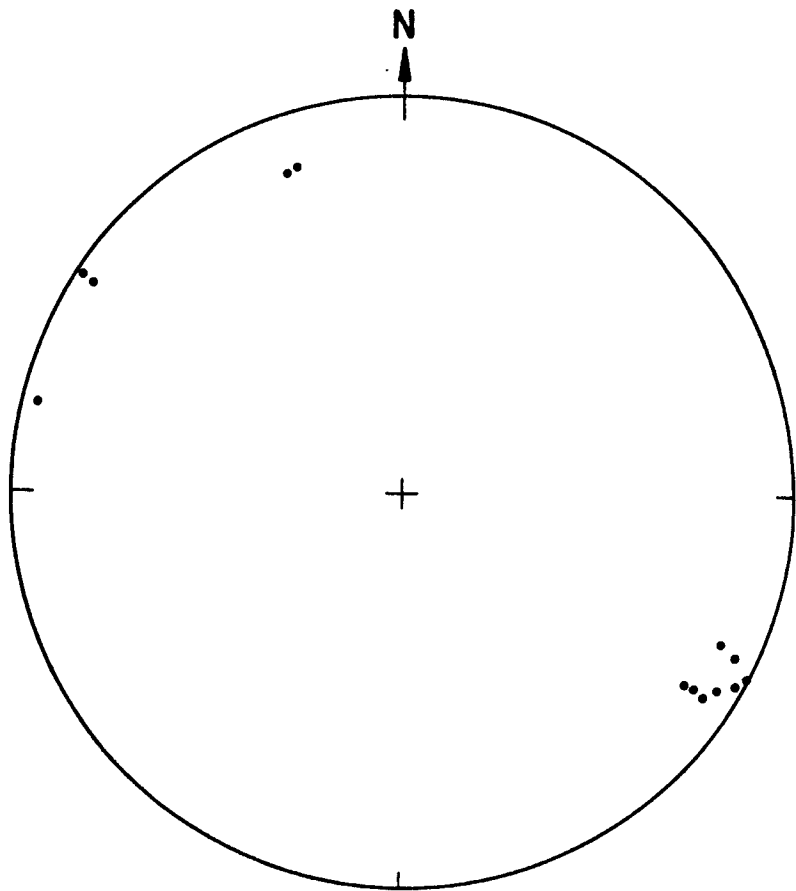
Los valores medios de la S_0 y la S_1 en la Zona C son 21/51 y -- 27/55 respectivamente. En la Fig. 4-8 pueden verse proyectados todos los valores de la S_1 que se han medido en la zona.

Por lo que se refiere a esquistosidades de crenulación, apenas - aparecen en este sector: tan sólo se han observado muy localmente - (en dos puntos).

El factor negativo fundamental en cuanto a la posibilidad de explotación de las pizarras de la Formación R4 en esta Zona lo constituye la presencia generalizada de "Kink-bands" y diaclasas subverticales transversales a las estructuras de F_1 , que limitan notablemente - el tamaño de bloque natural por poseer espaciados reducidos. En la Fig. 4-9 se presentan en proyección polar algunos "kink-bands" medidos en la Zona.



A.-



B.-

Fig. 4-7 A.- Datos de L_1 y Ejes de pliegues de F_1 en la Zona B (Bornova)
 N = 26

B.- Disposición de los "kink-bands" en la Zona B.
 N = 13

(Proyección Polar Equiárea, Hemisferio inferior).

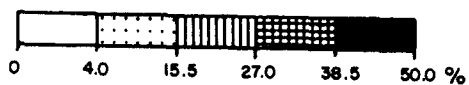
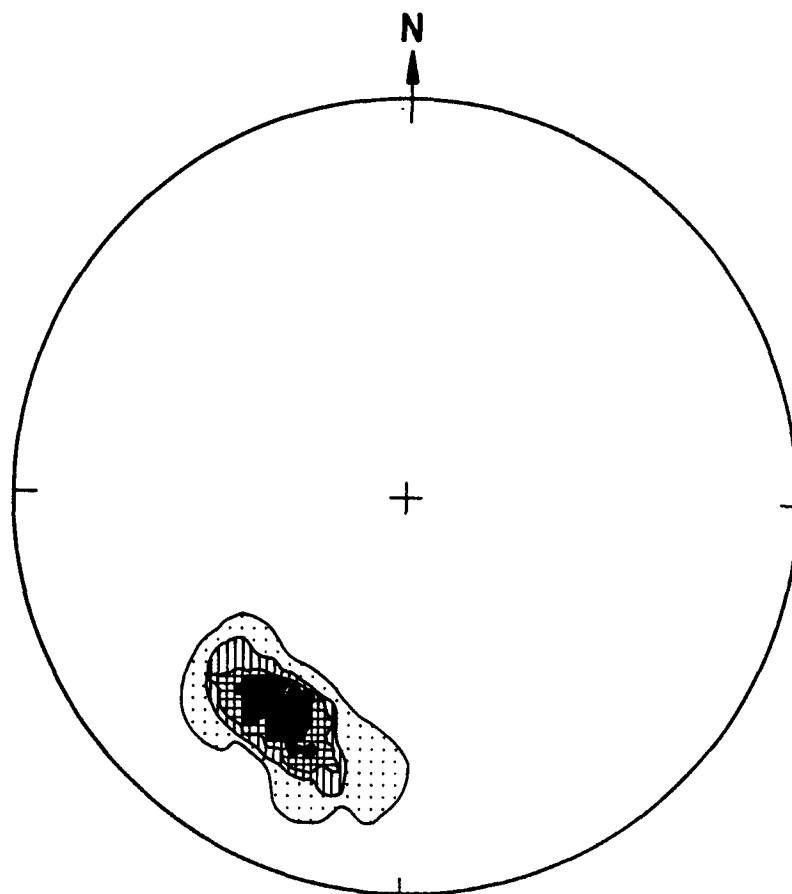
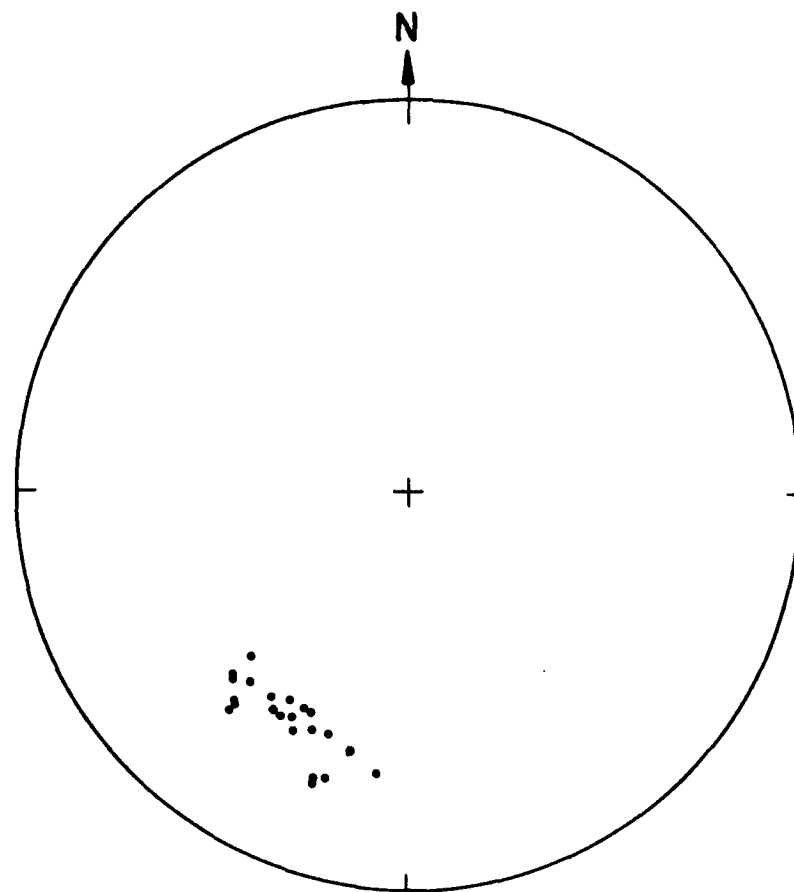


Fig. 4-8 Disposición de la S_1 en la Zona C (Los Prados).
 Proyección de polos y Diagrama de concentración.
 (Proyección Equiárea, Hemisferio inferior). $N = 22$

En consecuencia, la Zona C ha sido desechada en su totalidad, - por no existir en ella ningún macizo con características favorables de cara a la explotación que pudiera ser considerado con más detalle.

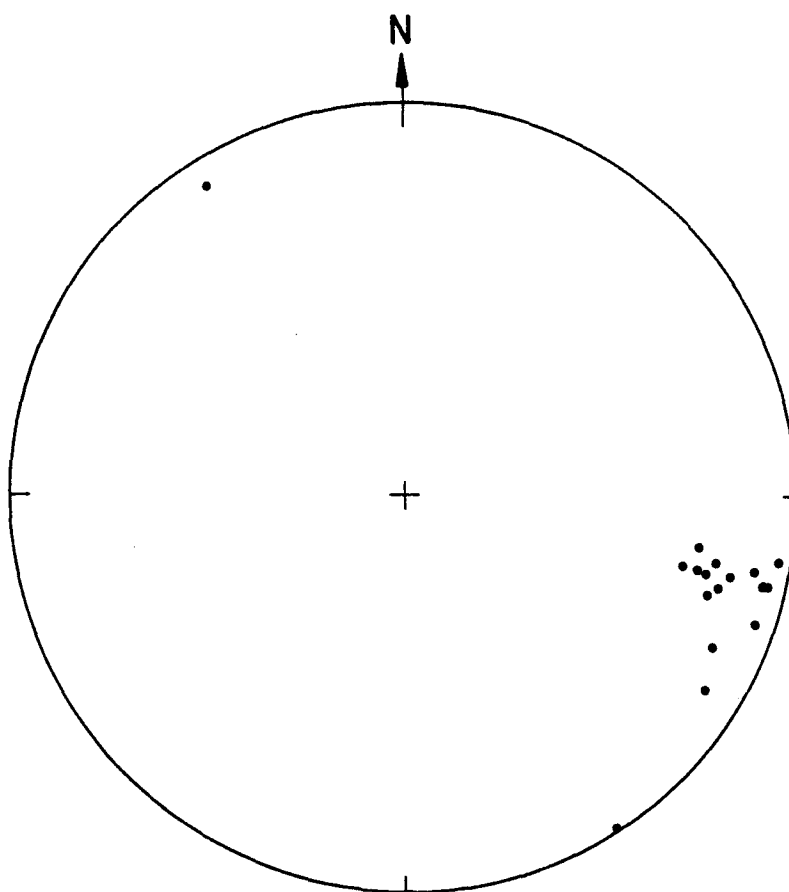


Fig. 4-9 Disposición de los "kink-bands" en la Zona C (Los Prados). (Proyección Equiárea, Hemisferio inferior). N = 19

5. ESTUDIO DE LOS MACIZOS

Se exponen ahora los resultados obtenidos en el estudio detallado de los siete Macizos seleccionados, haciéndose una valoración de la explotabilidad en cada uno de ellos basada en los diversos aspectos a los que se hizo referencia en el capítulo dedicado a la metodología. La situación de los macizos viene señalada en los Mapas Nº 4 (Macizos I, II, III, IV y V) y Nº 7 (Macizos VI y VII).

5.1. MACIZO I

Como se puede apreciar en las figuras que aparecen en las páginas siguientes, la fracturación en el Macizo I es relativamente intensa, como lo demuestra ya el hecho de que existan cuatro familias de diaclasas sistemáticas (Ver Figs. 5-2 y 5-3).

Los valores de los parámetros J_v y V_B (Fig. 5-3) están bastante alejados de los que han sido considerados como valores límite para un macizo explotable.

Por otro lado, el sondeo S-3 (Ver Anexos), realizado en este Macizo, ha confirmado la presencia de una densidad de fracturación constante en profundidad (4-16 fract./m), aunque la mayor parte de las diaclasas medidas en el mismo son subhorizontales (probablemente originadas por descompresión), estando peor representadas las cuatro familias que se han determinado en superficie (Ver Figs. 5-2 y 5-6).

En cuanto a la calidad litológica, en el sondeo aparecen cinco tramos de calidad aceptable con espesores entre 1 y 5 m intercalados en los primeros 40 m del testigo, lo cual supone un ratio de yacimiento demasiado bajo.

De acuerdo con todo esto, puede decirse que el Macizo I carece de interés de cara a la explotación.

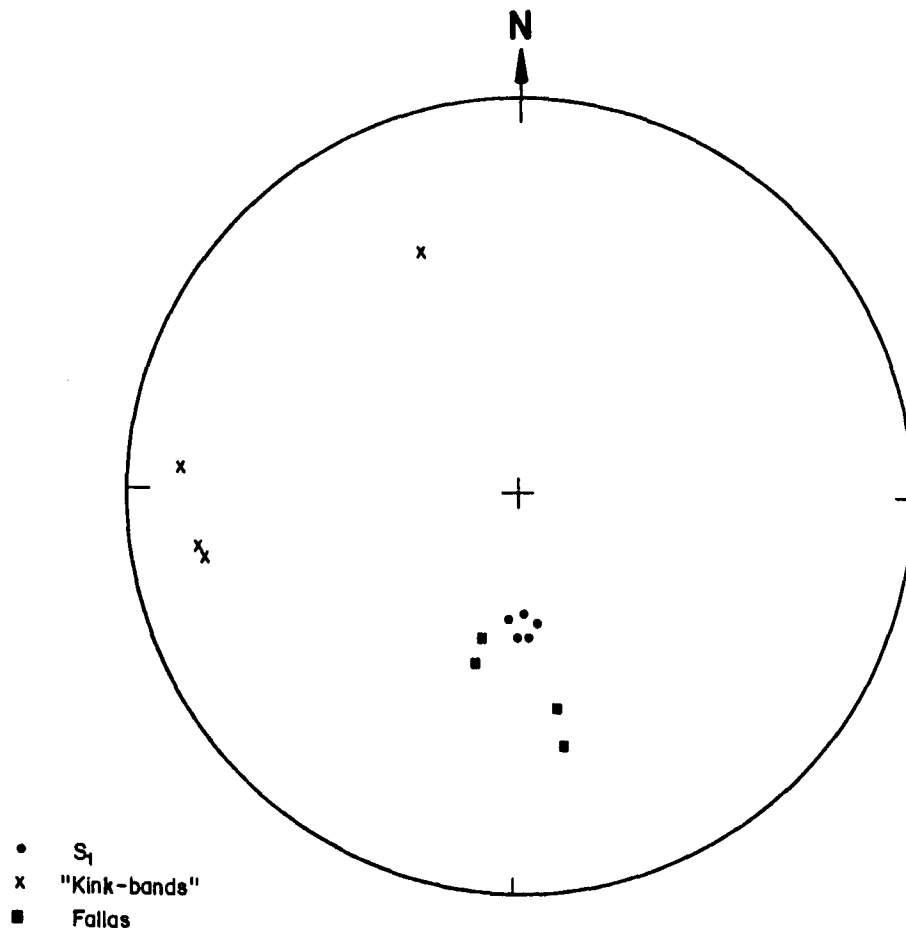


Fig. 5-1 Esquistosidad primaria, "kink-bands" y fallas en el Macizo I.

(Proyección Polar Equiárea, Hemisferio inferior).

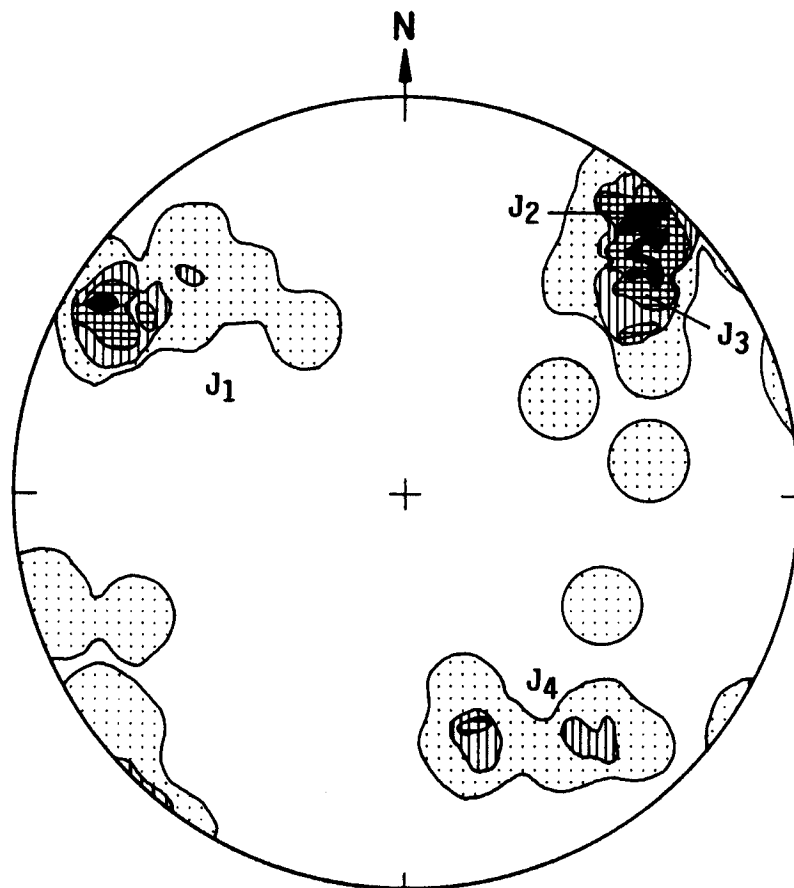
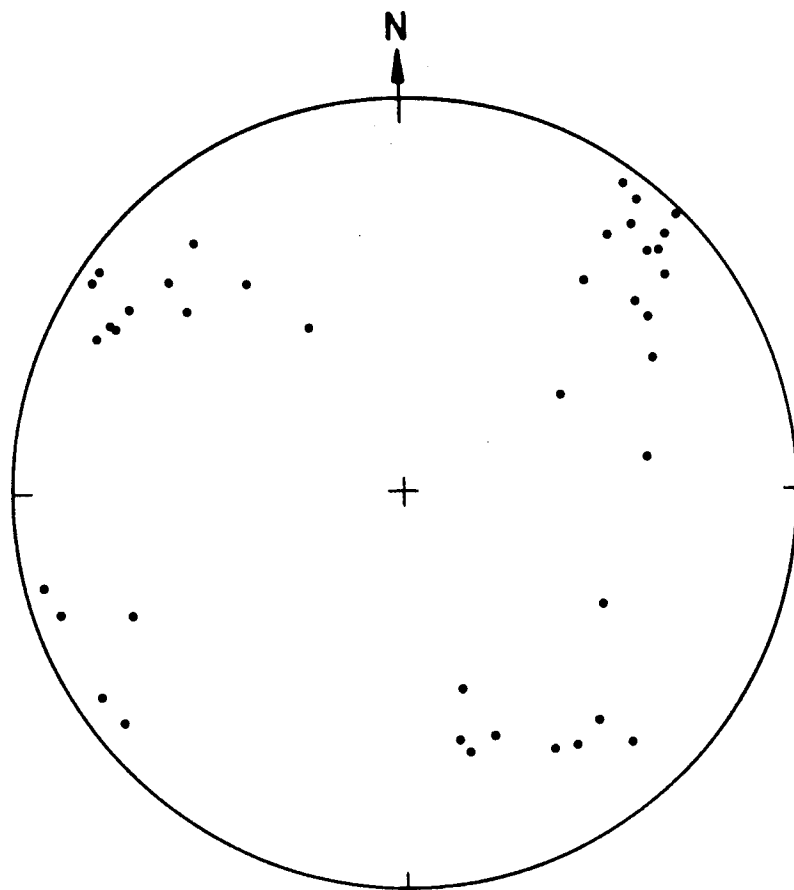


Fig. 5-2 Familias de diaclasas sistemáticas en el Macizo I. Proyección de polos y Diagrama de concentración. (Proyección Equiárea, Hemisferio inferior). N = 41

MACIZO I

| | |
|-------------------------------|----------------|
| - Estratificación: | $S_0 = 353/25$ |
| - Esquistosidad primaria: | $S_1 = 358/28$ |
| - Familias de diaclasas: | $J_1 = 122/78$ |
| | $J_2 = 229/85$ |
| | $J_3 = 236/61$ |
| | $J_4 = 230/58$ |
| - Parámetros de fracturación: | $J_V = 4,46$ |
| | $J_B = 0,48$ |

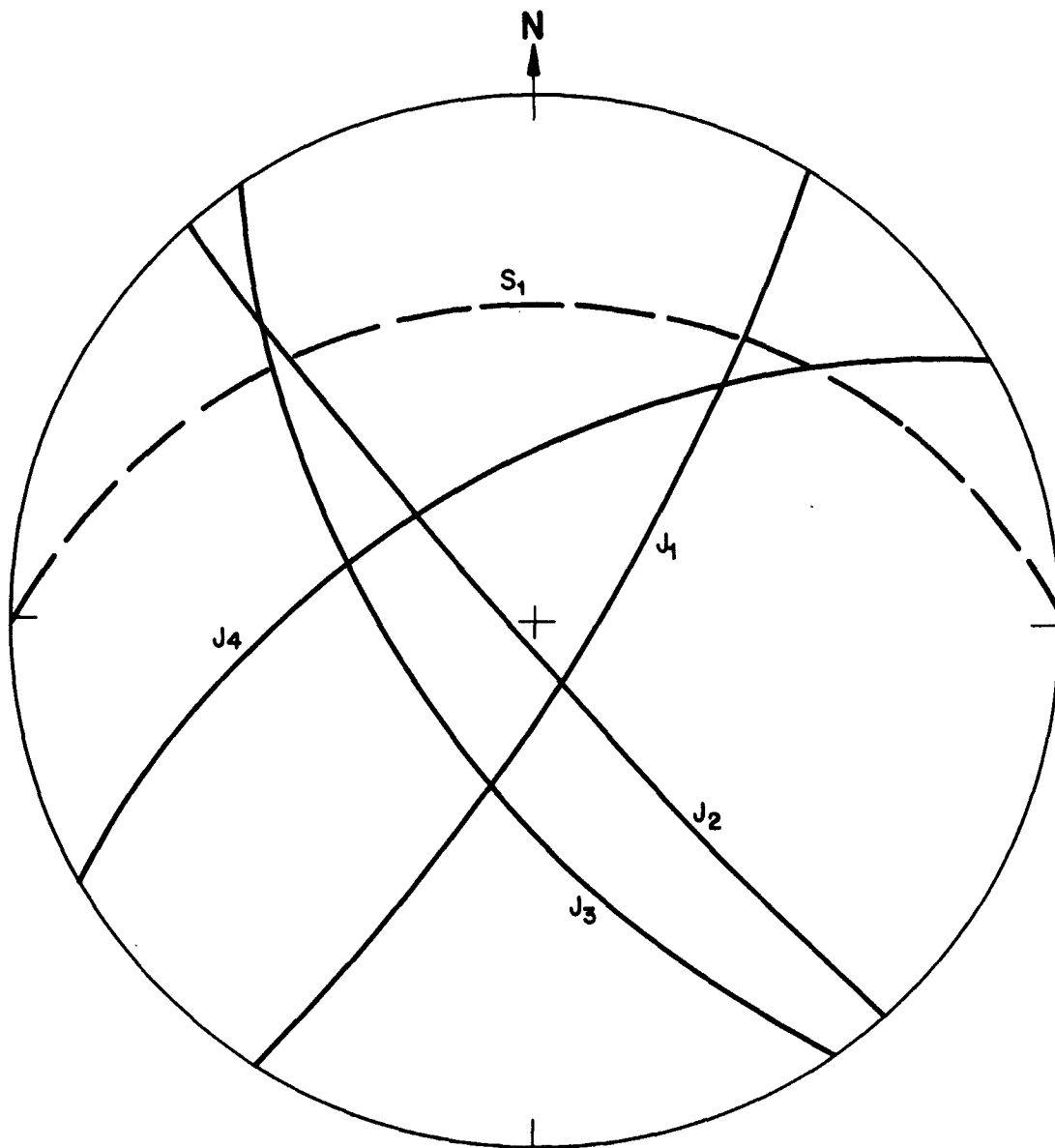
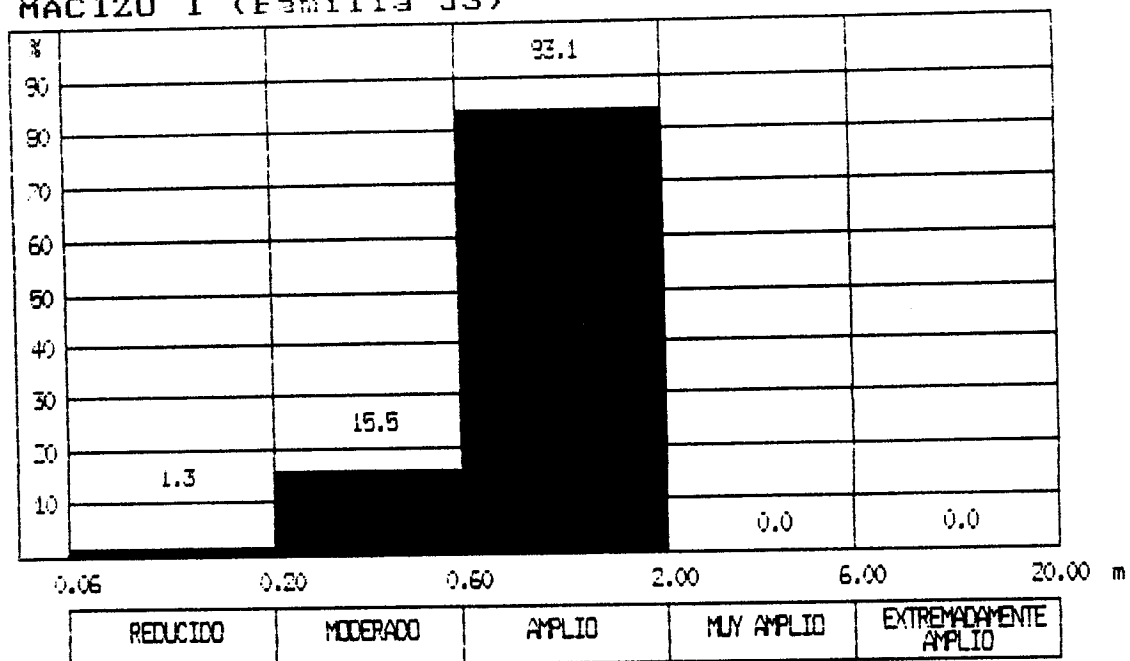


Fig. 5-3 Parámetros y elementos estructurales fundamentales en el Macizo I.
Estereograma de las superficies de discontinuidad principales

MACIZO I (Familia J3)

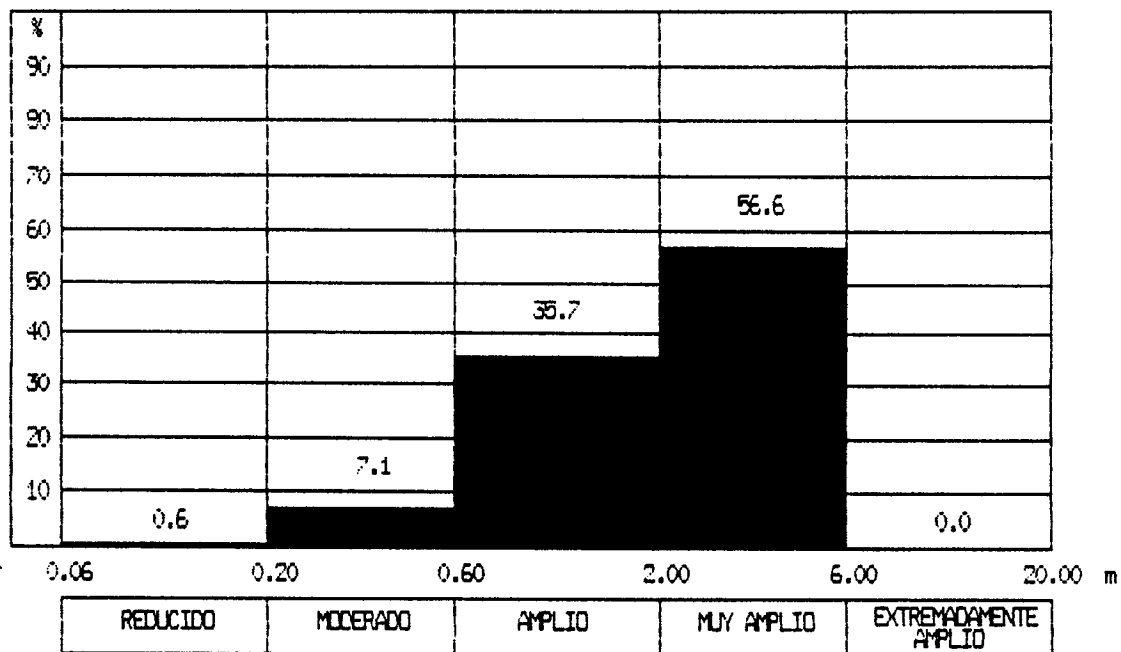


Espaciado Máximo = 2.00
 Espaciado Mínimo = 0.15
 Espaciado Medio = 0.87

N = 30

Desviación Típica = 0.49
 Coef. de Variación = 0.56

MACIZO I (Familia J4)



Espaciado Máximo = 6.00
 Espaciado Mínimo = 0.10
 Espaciado Medio = 1.59

N = 42

Desviación Típica = 1.33
 Coef. de Variación = 0.84

Fig. 5-5 Histogramas de Espaciados de las familias J3 y J4 (Macizo I).

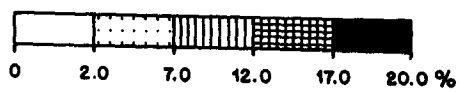
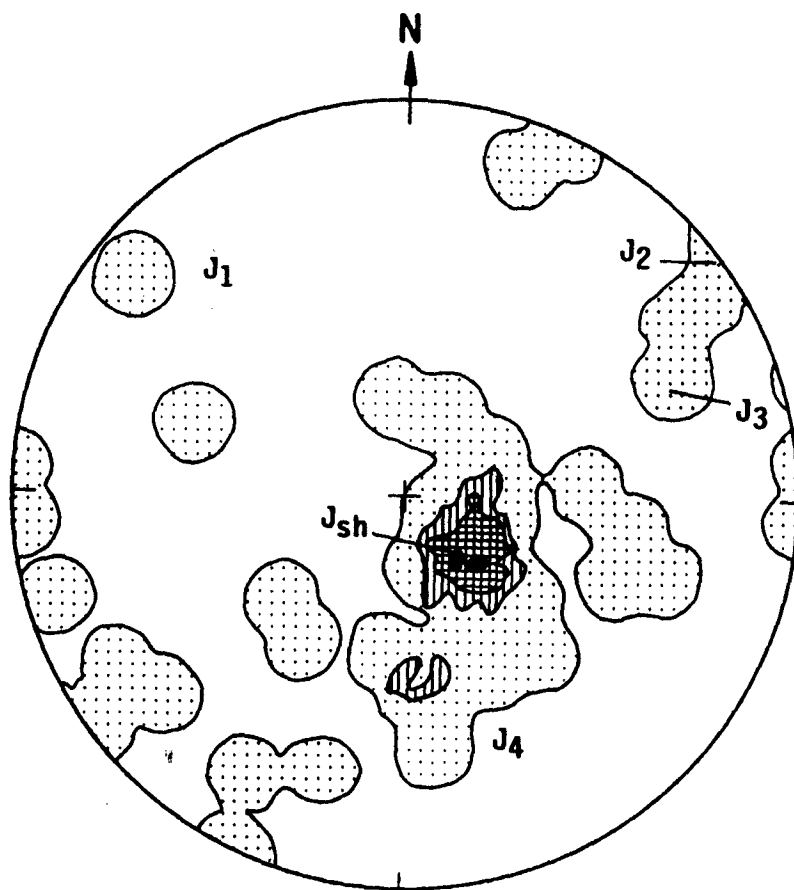
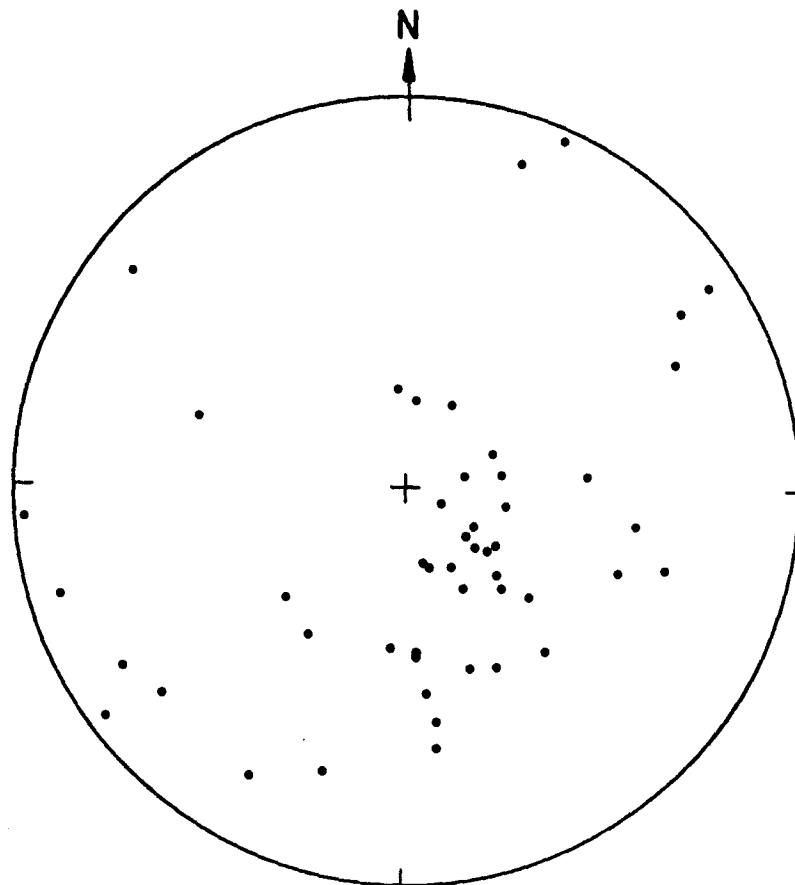


Fig. 5-6 Diaclasas medidas en el testigo del sondeo S-3
 Proyección de polos y Diagrama de concentración.
 (Proyección Equiárea, Hemisferio inferior). N = 50



FOTOGRAFIA 5-1 Aspecto de los Macizos I y II (Zona A - Rodada)
(E a la derecha)



FOTOGRAFIA 5-2 Cantera abandonada en la Zona A - Rodada.
Corresponde al Macizo IV.
(E a la izquierda)

5.2. MACIZO II

El Macizo II se sitúa junto al anterior, siendo el límite entre ambos una falla de dirección 170° . El aspecto de los afloramientos en este reducido sector denota una intensidad de fracturación menor que la de las áreas circundantes.

En superficie se observan cuatro familias de diaclasas sistemáticas (ver Fig. 5-8), aunque la familia J_4 puede despreciarse por tratarse de

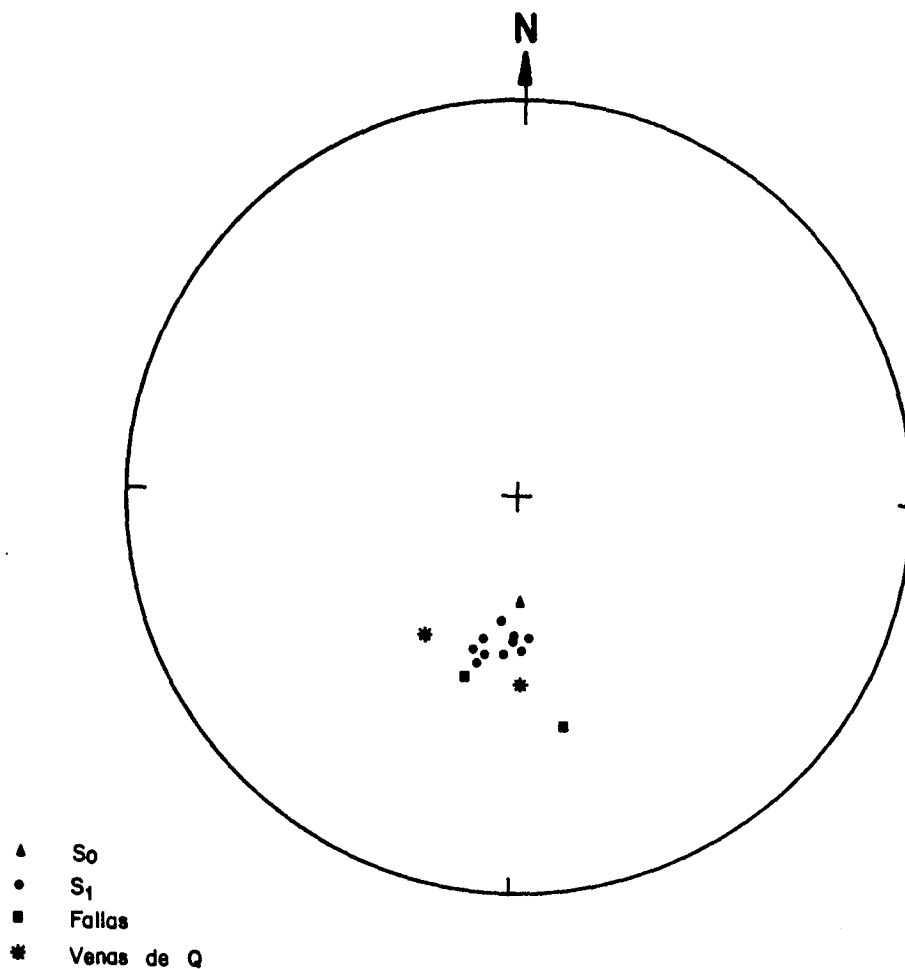


Fig. 5-7 Estratificación, esquistosidad primaria, fallas y venas de Cuarzo en el Macizo II.
(Proyección Polar Equiárea, Hemisferio inferior).

diaclasas menores con poca incidencia en el tamaño de bloque. Las otras tres familias presentan espaciados relativamente amplios (Ver Figs. 5-10 y 5-11), estando los parámetros de fracturación J_V y V_B (Ver Fig. 5-9) dentro de los límites marcados para un macizo explotable.

En este macizo se ha realizado el sondeo S-4 (Ver Anexos), en cuyo testigo se puede apreciar una densidad de fracturación notablemente baja: casi siempre es inferior a 4 fract./m, salvo en los últimos 10 m. La única familia de diaclasas detectada en el sondeo es la J_2 (Ver Fig. 5-12), probablemente a causa de que la orientación de las otras dos familias, J_1 y J_3 , respecto al eje del sondeo hace que tengan muy poca probabilidad de ser cortadas por él.

Existe también un cierto desarrollo de esquistosidad de crenulación (S_C) en algunos tramos del testigo (Probablemente se trata de S_3), lo cual no había sido observado en superficie. En la Fig. 5-13 pueden verse las medidas de S_C tomadas que vienen a coincidir con otro grupo de superficies medidas como diaclasas y que se muestran en la Fig. 5-12.

Los tramos con características litológicas aceptables en el testigo del sondeo S-4 son dos: uno de 1,40 m que aparece a los 8,60 m de profundidad y otro de 15,50 m que comienza a una profundidad de 23,5 m. Este segundo tramo corresponde a un espesor real de 13 m y el único problema que plantea es la profundidad a la que aparece.

En conjunto, puede decirse que este macizo no presenta problemas en cuanto a la fracturación y que su explotabilidad vendría condicionada -- principalmente por la continuidad del paquete más importante observado en el sondeo y por el volumen de material no aprovechable que habría de ser movido para poner aquél al descubierto.

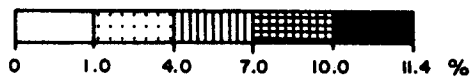
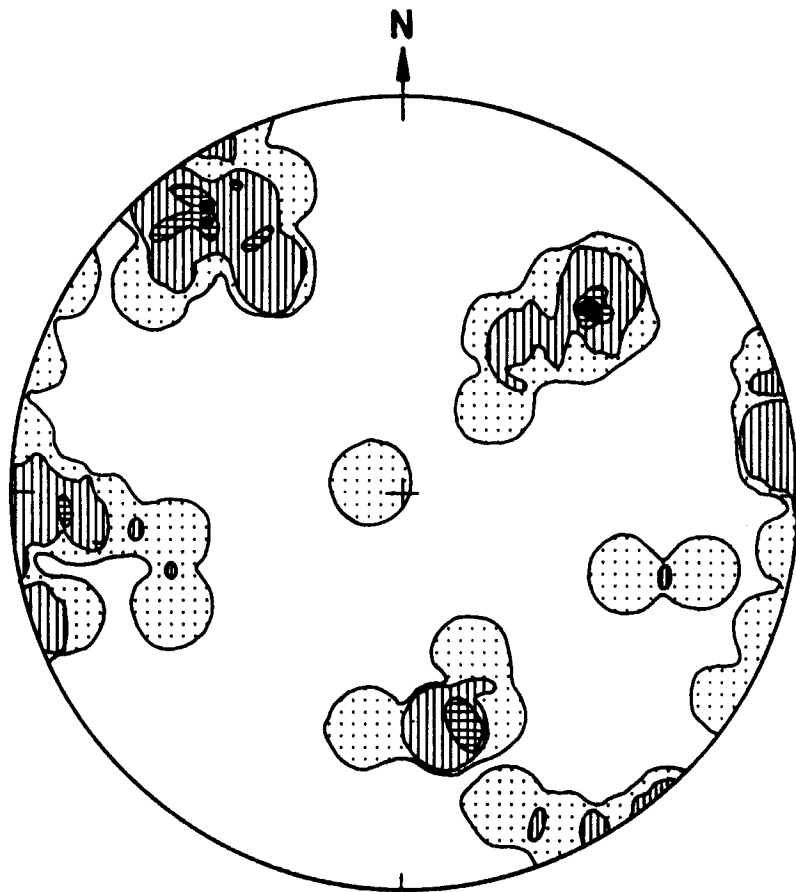
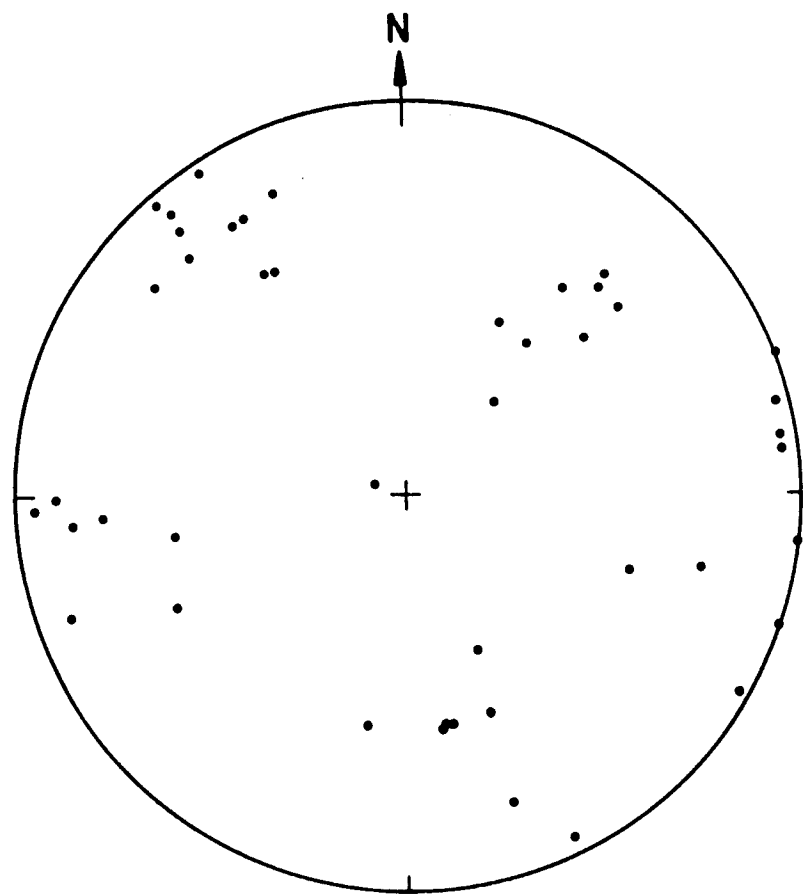


Fig. 5-8 Familias de diaclasas sistemáticas en el Macizo II. Proyección de polos y Diagrama de concentración. (Proyección Equiárea, Hemisferio inferior). N = 44

MACIZO II

| | |
|---------------------------------|---|
| - Estratificación: | $S_0 = 357/22$ |
| - Esquistosidad primaria: | $S_1 = 5/32$ |
| - Esquistosidad de crenulación: | $S_c = 25/34$ |
| - Familias de diaclasas | $J_1 = 145/78$ $J_2 = 351/47$ $J_3 = 83/86$ |
| - Parámetros de fracturación: | $J_v = 1,63$ $V_B = 0,77$ |

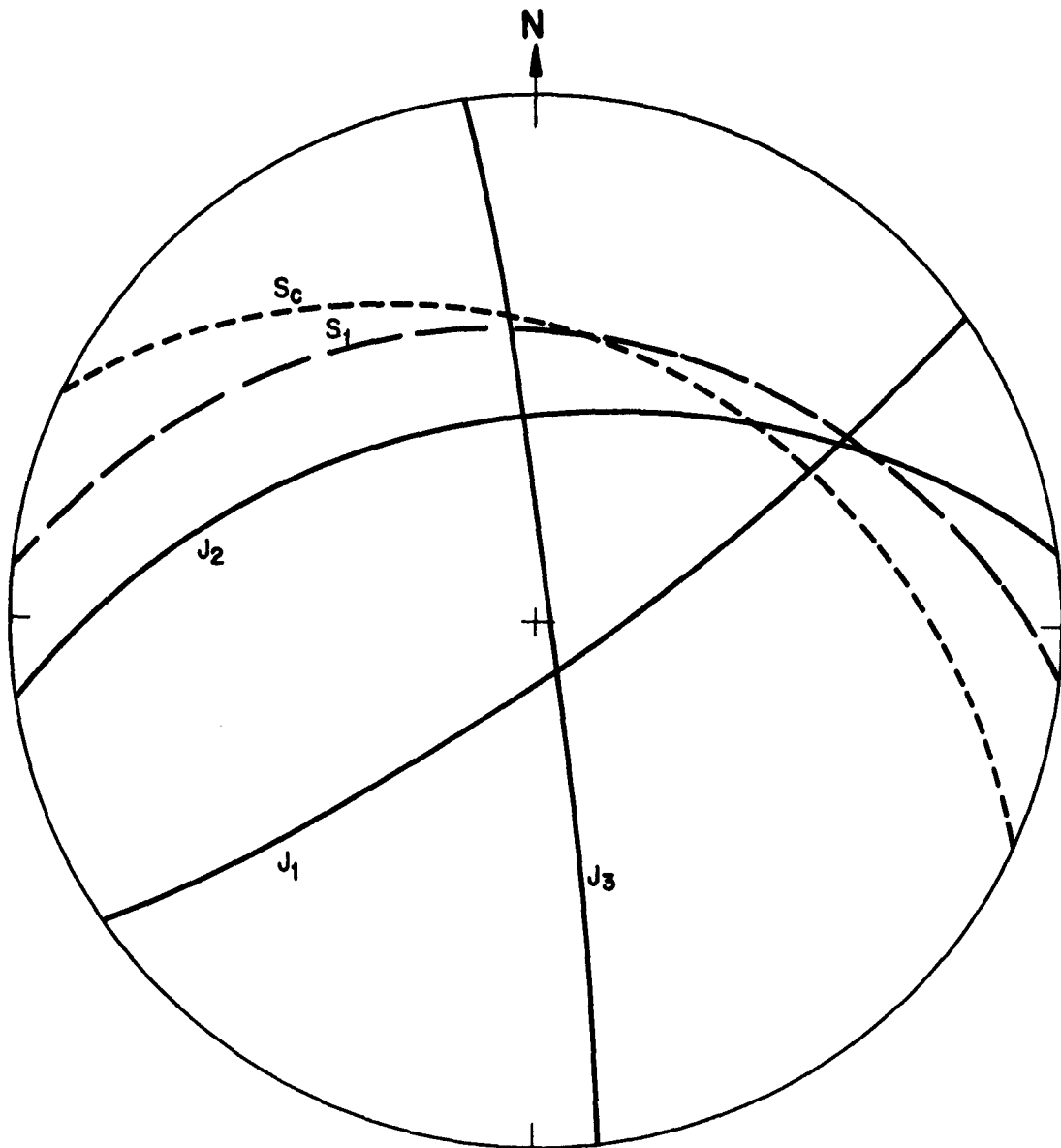
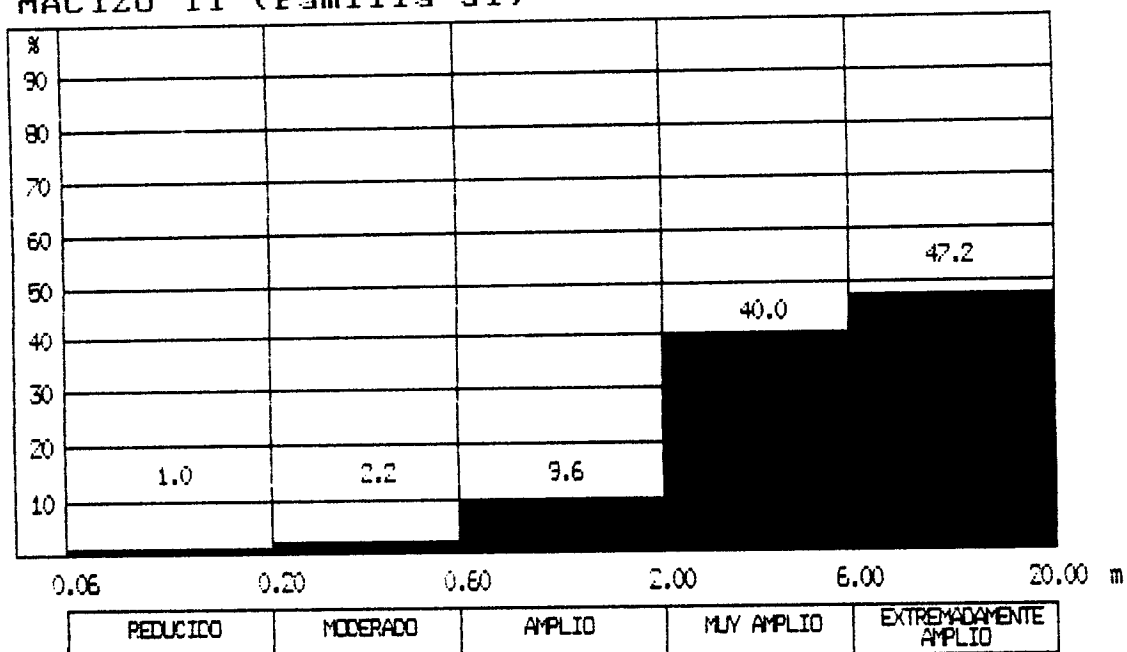


Fig. 5-9 Parámetros y elementos estructurales fundamentales en el Macizo II
Estereograma de las superficies de discontinuidad principales.

MACIZO II (Familia J1)

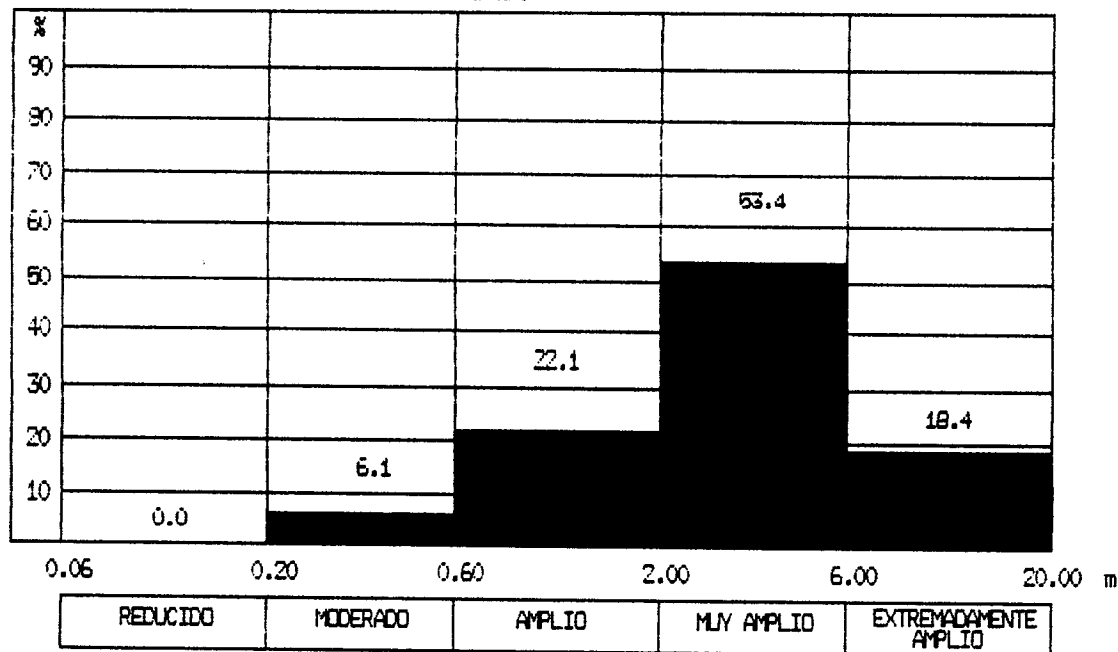


Espaciado Máximo = 11.00
 Espaciado Mínimo = 0.20
 Espaciado Medio = 2.94

 Desviación Típica = 3.10
 Coef. de Variación = 1.06

N = 39

MACIZO II (Familia J2)



Espaciado Máximo = 10.00
 Espaciado Mínimo = 0.30
 Espaciado Medio = 2.09

 Desviación Típica = 2.24
 Coef. de Variación = 1.07

N = 26

Fig. 5-10 Histogramas de Espaciados de las familias J1 y J2 (Macizo II)

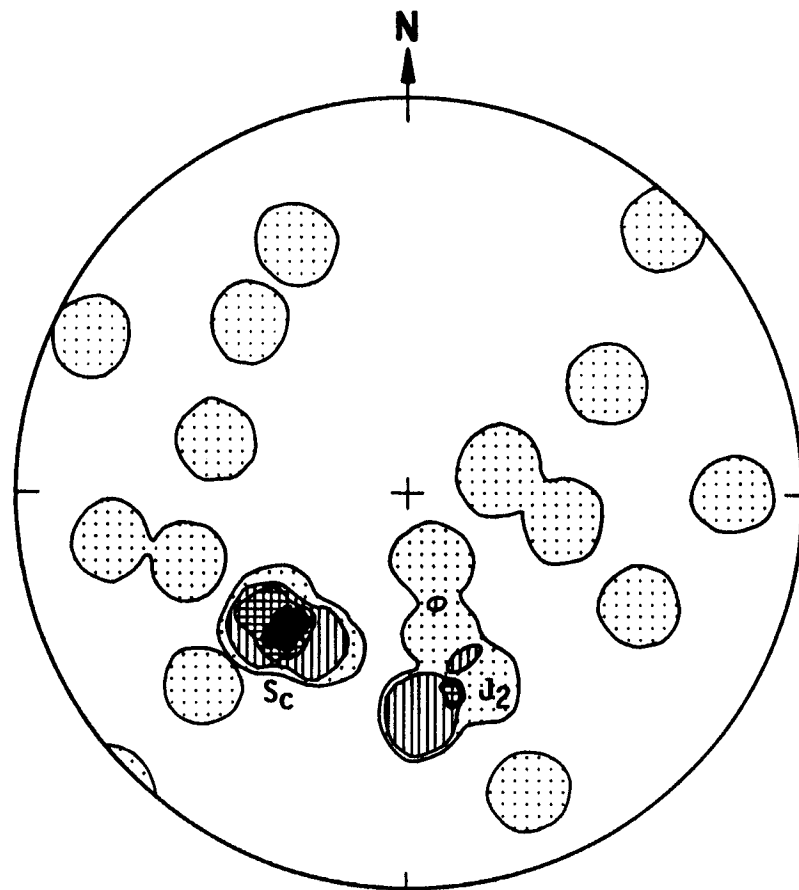
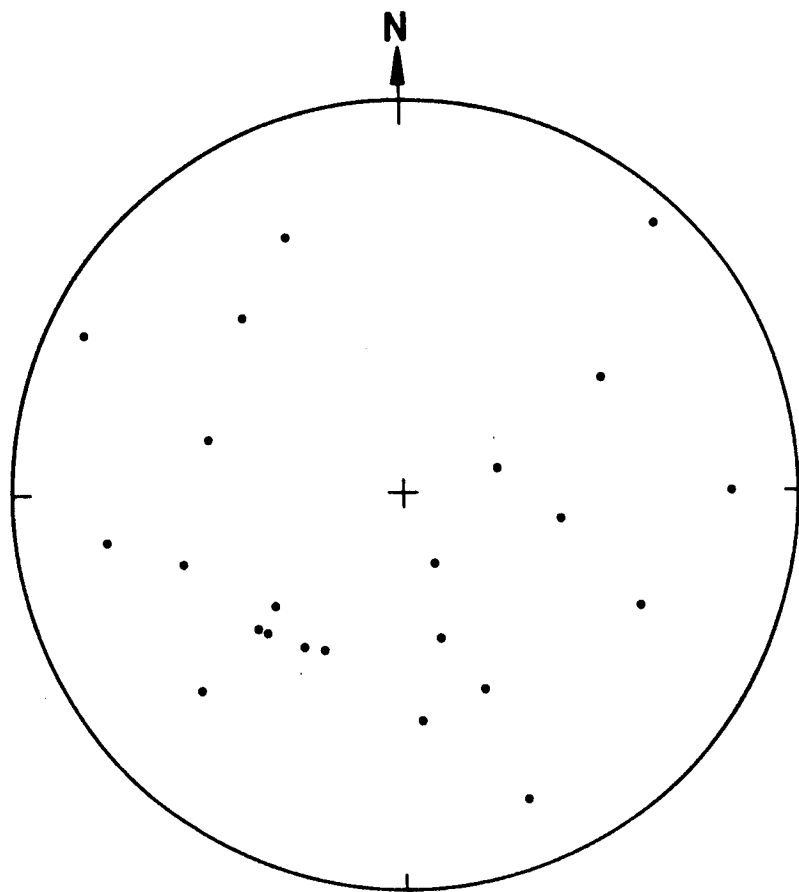


Fig. 5-12 Diaclasas medidas en el testigo del sondeo S-4
 Proyección de polos y Diagrama de concentración.
 (Proyección Equiárea, Hemisferio inferior). N = 24.

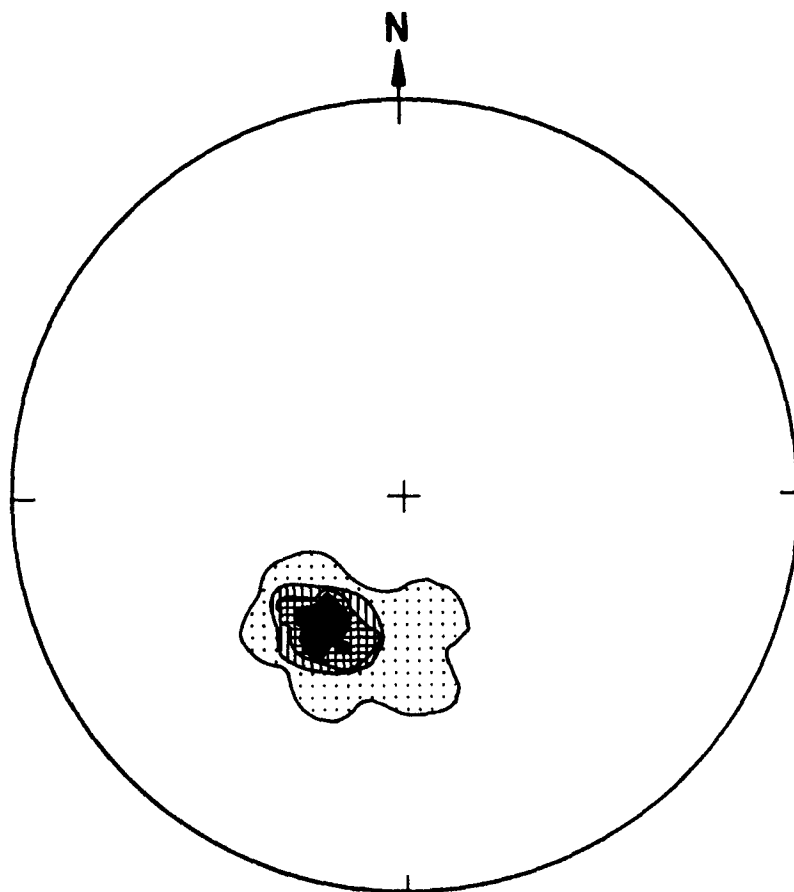
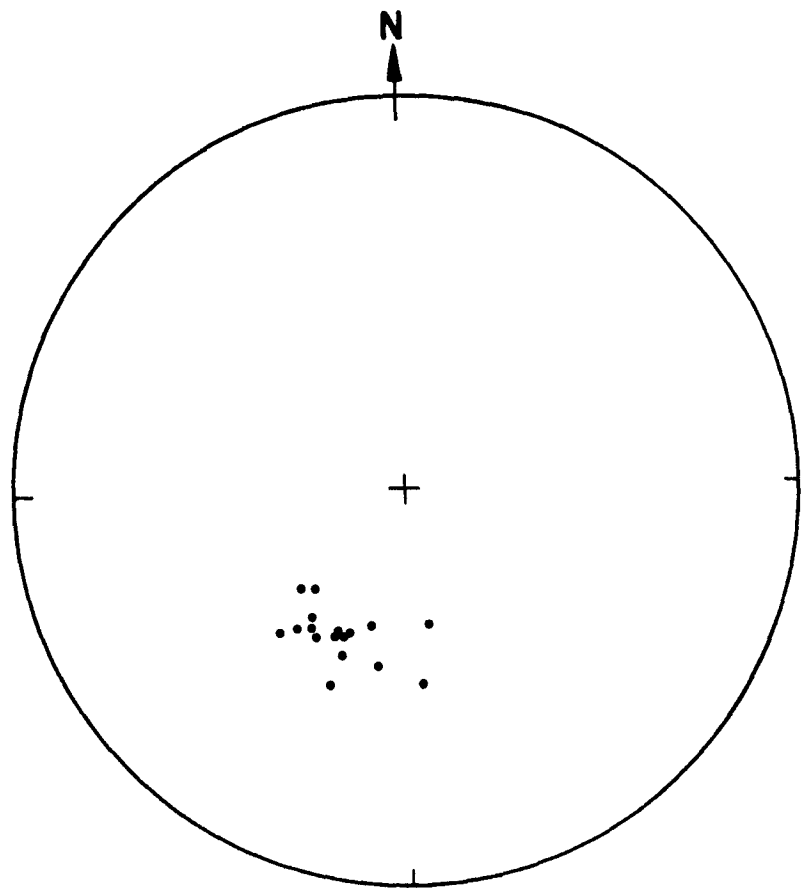


Fig. 5-13 Superficies de S_c medidas en el testigo del sondeo S-4.
 Proyección de polos y Diagrama de concentración.
 (Proyección Equiárea, Hemisferio inferior). $N = 17$

5.3. MACIZO III

Las condiciones de afloramiento en este macizo son algo diferentes a las de los dos primeros: Las pizarras de R4 se encuentran buzando en la misma dirección de la ladera y con un ángulo muy similar al de ésta, no existiendo buenas secciones para la observación y medida del diaclasado; por este motivo, los datos que se han tomado en superficie son algo escasos.

De las dos familias de diaclasas que se han determinado (Ver Fig. 5-14), sólo la familia J_1 posee un desarrollo constante y permite realizar medidas de espaciados. Los parámetros de fracturación calculados (Ver Fig. 5-15) son óptimos, aunque debe tenerse en cuenta que están basados en pocos datos.

El sondeo S-5 se ha ubicado en el borde SE del macizo (Ver Mapa N° 4), y los datos de fracturación tomados en el testigo denotan la presencia de más diaclasas de las que se han podido observar sobre el afloramiento (Ver Fig. 5-17); las más abundantes son diaclasas subhorizontales. La densidad de fracturación en el testigo se mantiene casi siempre en 4-16 fracturas/m, intercalándose algunos tramos con menos fracturación. No obstante, el aspecto más desfavorable lo constituye la presencia continua a lo largo de todo el sondeo de dos esquistosidades de crenulación que corresponden a una S_3 y a una S_5 (Ver Fig. 5-18).

La presencia de la S_5 se debe a la proximidad de una banda de deformación hacia el SE que puede verse señalada en el Mapa N° 4. La inclinación de dicha banda debe ser de $50^\circ - 60^\circ$ hacia el NW y, por tanto, en la mayor parte del macizo aparecerá a una cierta profundidad y no en superficie.

La S_3 plantea más problemas puesto que aunque el sondeo se ha realizado en el borde del macizo y en superficie no ha podido ser detectada, lo más probable es que se encuentre presente en todo el macizo III, del mismo modo que ocurre en el IV, muy próximo a él, y que sea difícil de observar a causa de su orientación semejante a la de la S_1 .

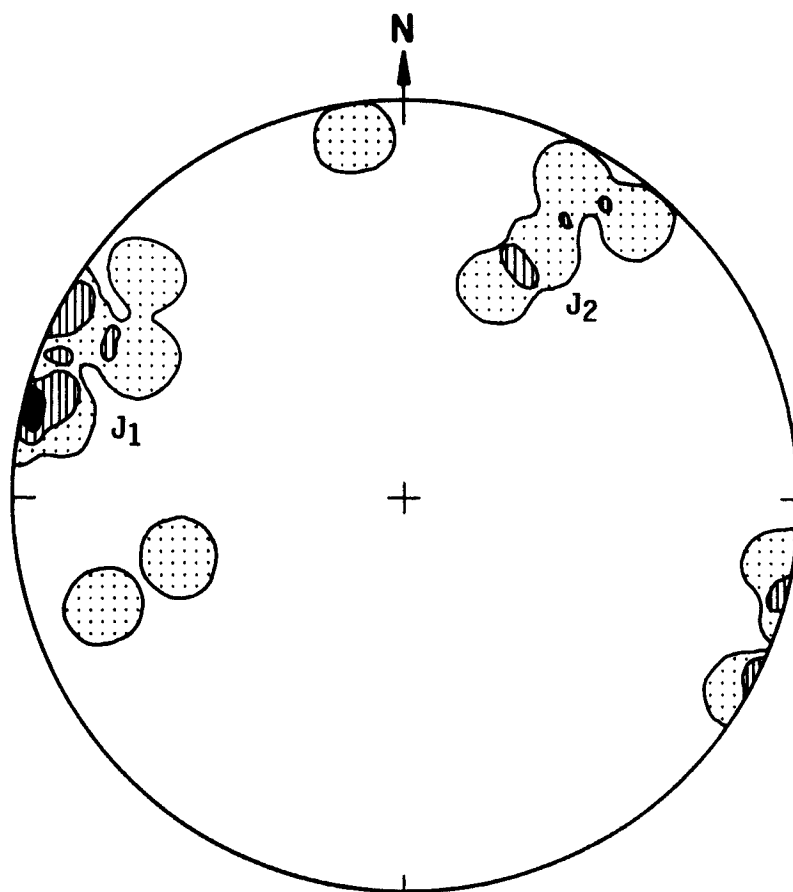
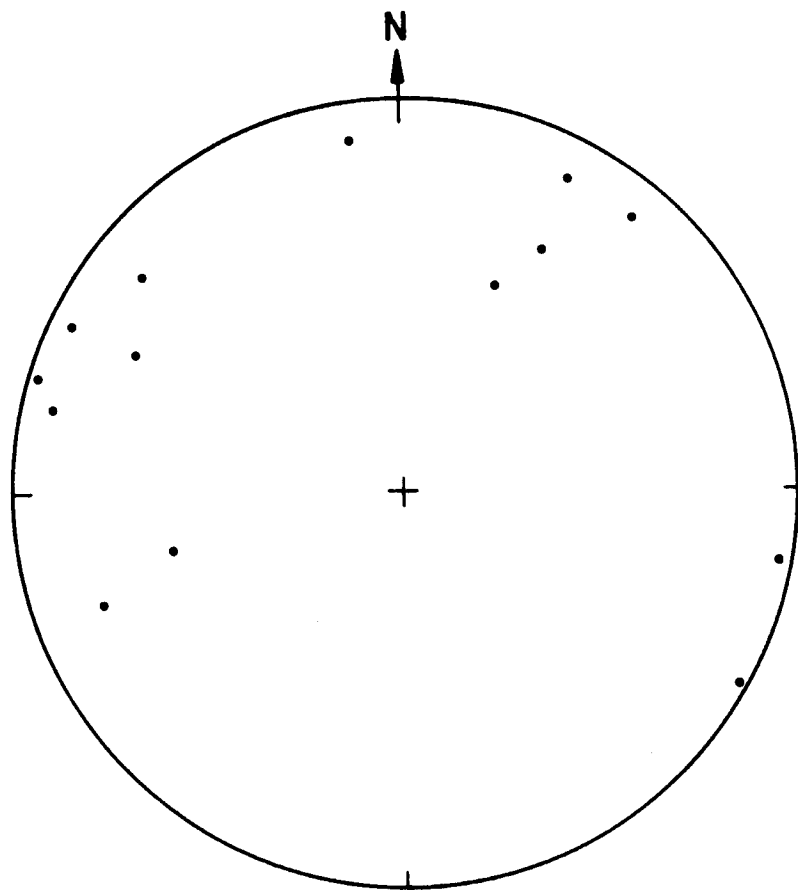


Fig. 5-14 Familias de diaclasas sistemáticas en el Macizo III
 Proyección de polos y diagrama de concentración.
 (Proyección Equiárea, Hemisferio inferior) . N = 14.

MACIZO III

| | |
|---------------------------------|----------------|
| - Estratificación: | $S_0 = 30/27$ |
| - Esquistosidad primaria: | $S_1 = 30/42$ |
| - Esquistosidad de crenulación: | $S_c = 38/42$ |
| - Familias de diaclasas: | $J_1 = 113/82$ |
| - Parámetros de fracturación: | $J_v = 0,91$ |
| | $V_B = 0,85$ |

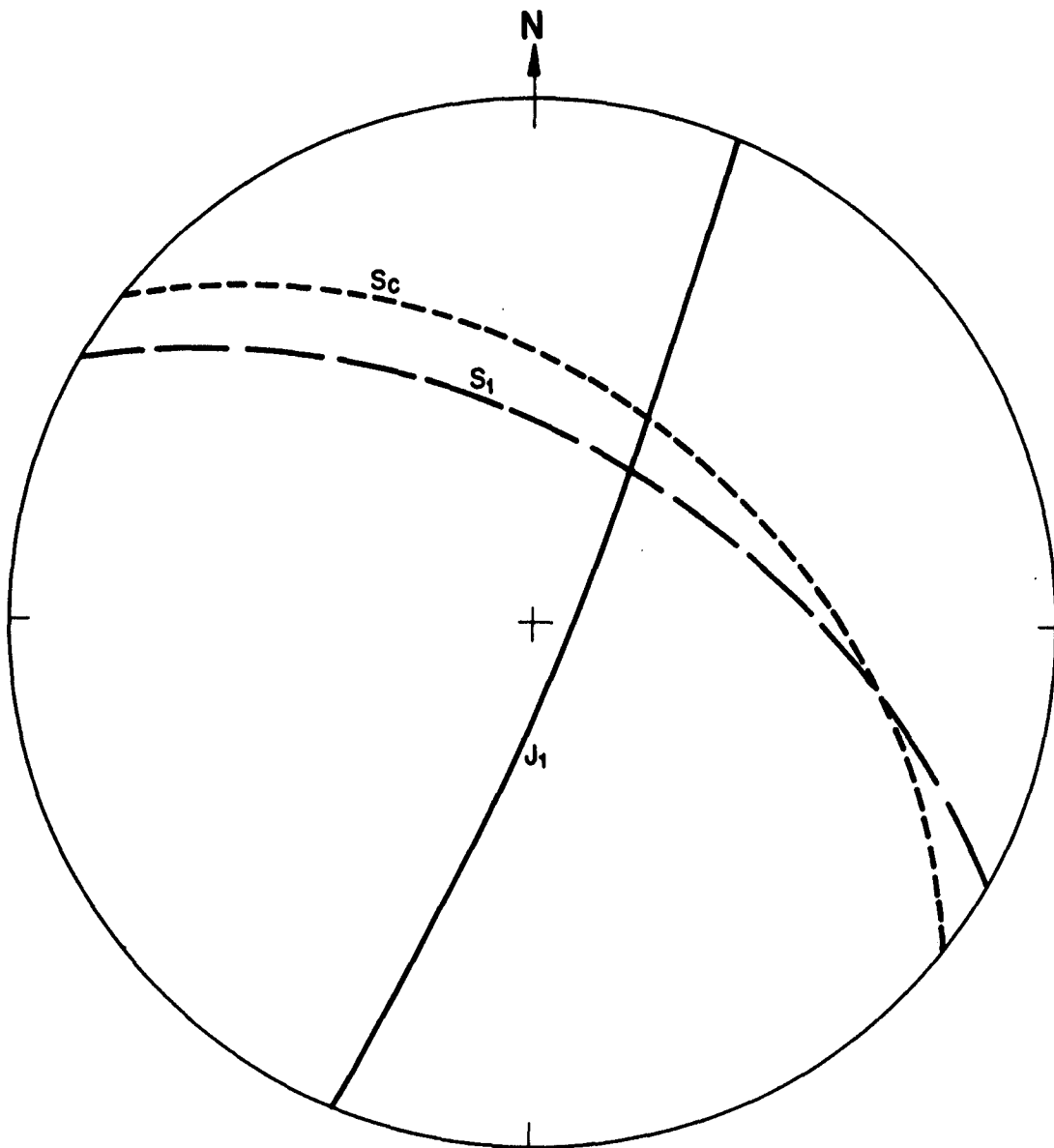
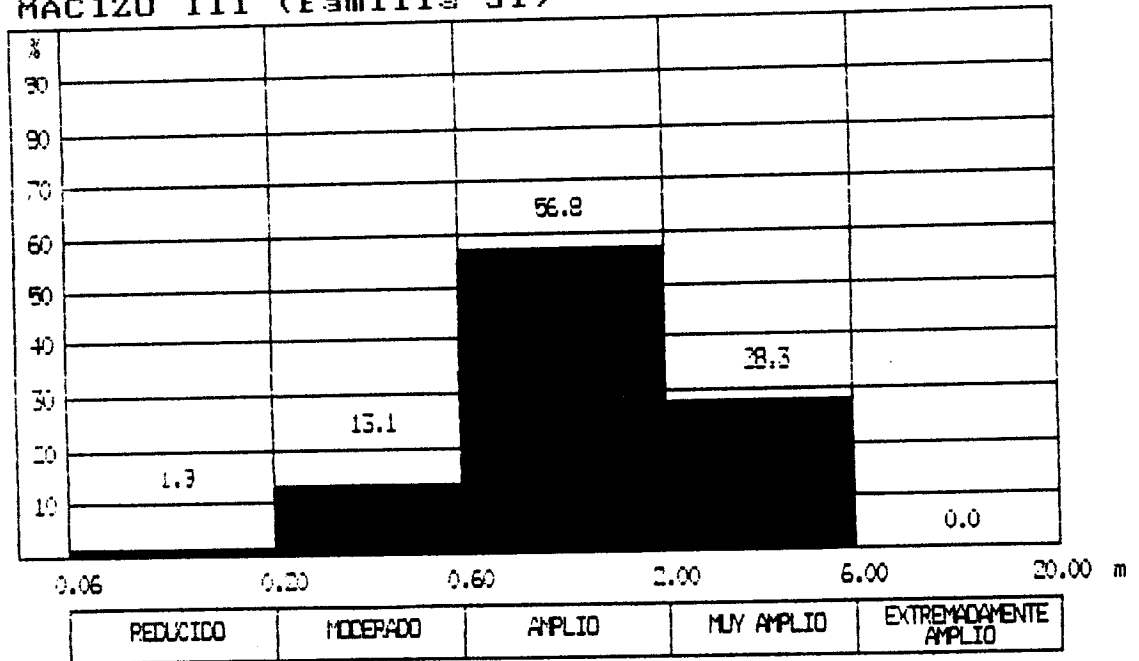


Fig. 5-15 Parámetros y elementos estructurales fundamentales en el Macizo III.

Estereograma de las superficies de discontinuidad principales.

MACIZO III (Familia J1)



Espaciado Máximo = 3.60
 Espaciado Mínimo = 0.20
 Espaciado Medio = 1.10

N = 39

Desviación Típica = 0.82
 Coef. de Variación = 0.74

Fig. 5-16 Histograma de Espaciados de la familia J₁ (Macizo III).

De este modo, aún sin conocer con seguridad las características de la fracturación en profundidad para todo el macizo, si puede suponerse que la explotación en el mismo no podrá llevarse a cabo debido a los problemas planteados principalmente por la presencia de S₃.

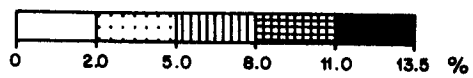
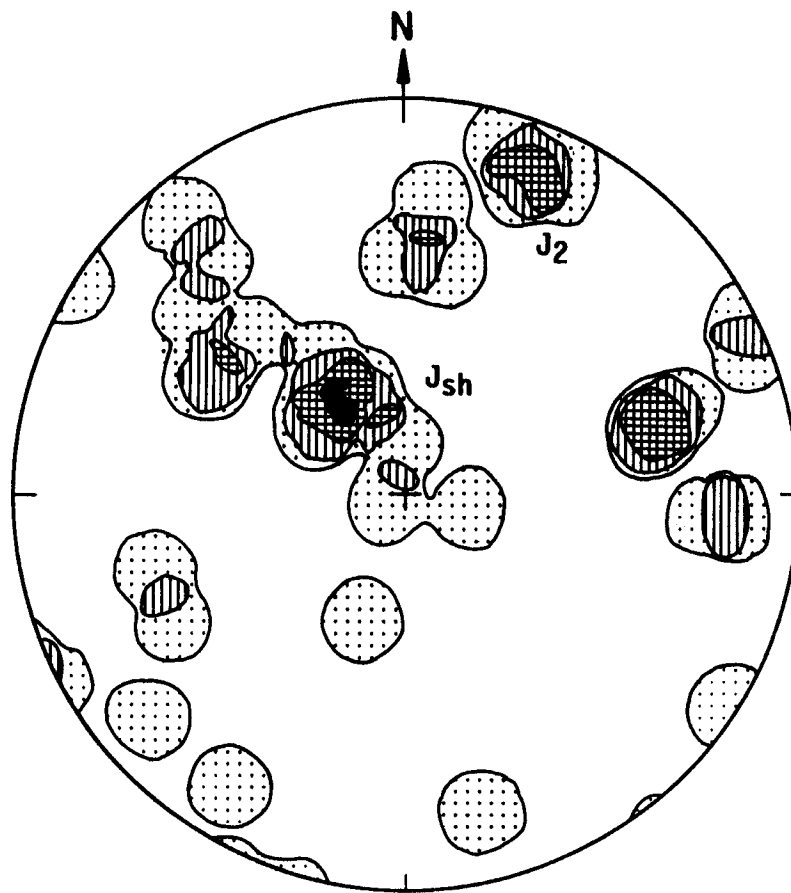
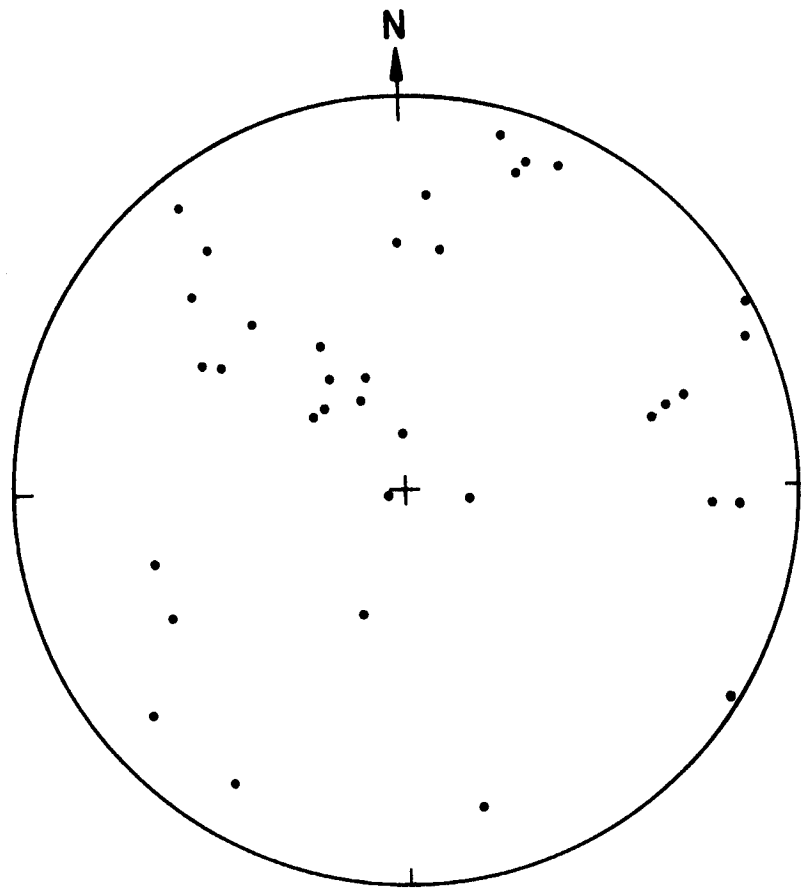


Fig. 5-17 Diaclasas medidas en el testigo del Sondeo S-5
 Proyección de polos y diagrama de concentración.
 (Proyección Equiárea, Hemisferio inferior). N = 37

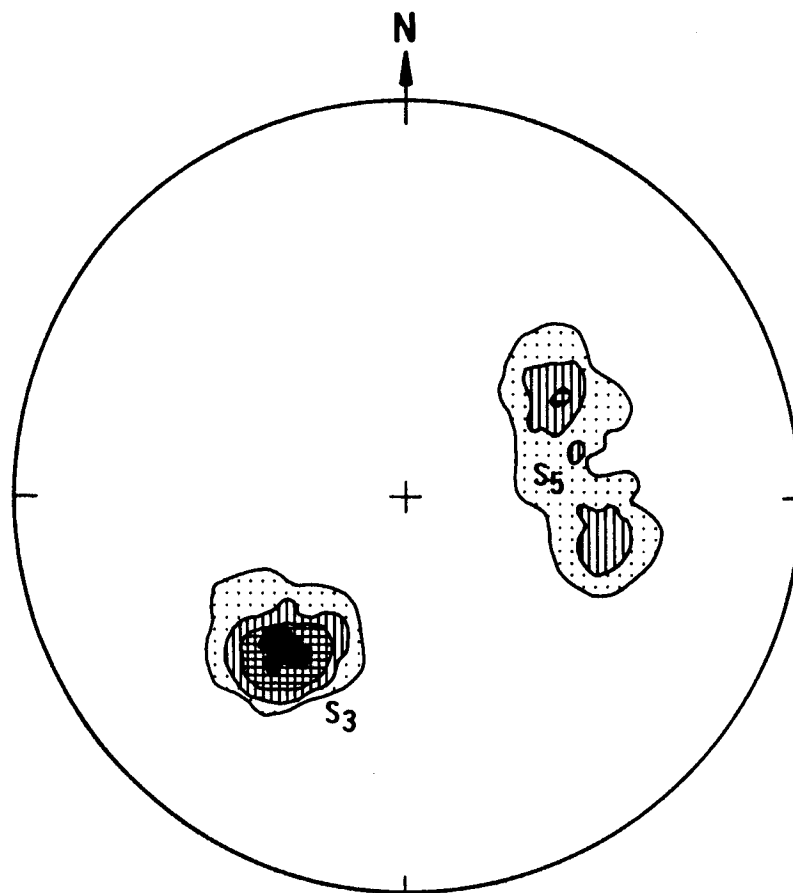
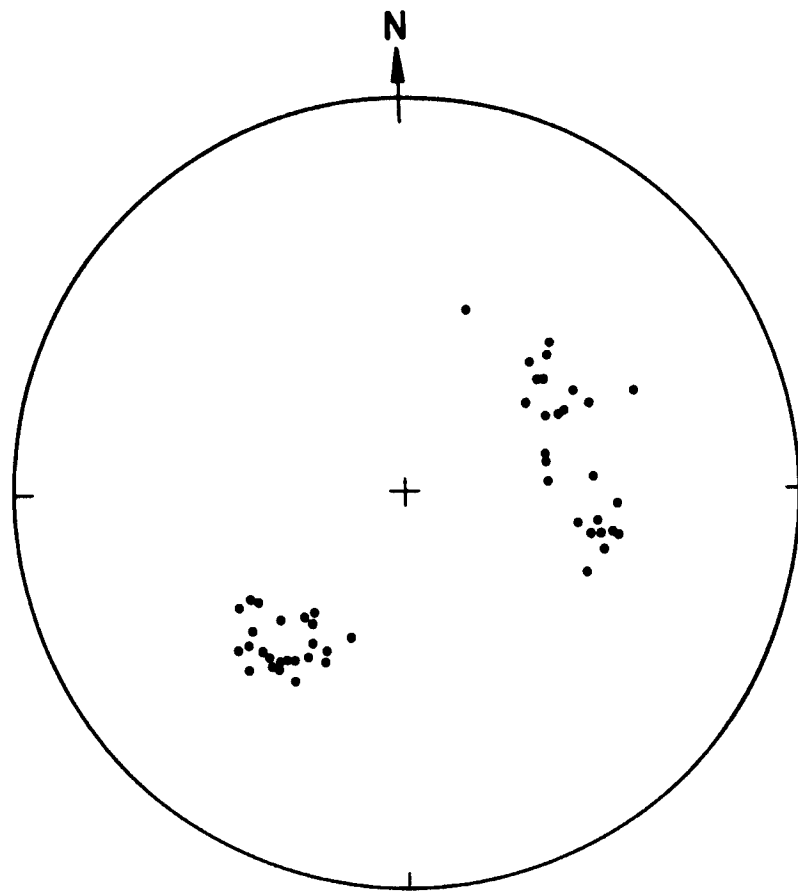


Fig. 5-18 Esquistosidades de crenulación medidas en el testigo del Sondeo S-5.
 Proyección de polos y Diagrama de concentración.
 (Proyección Equiárea, Hemisferio inferior). N = 55

5.4. MACIZO IV

En el Macizo IV se sitúa la cantera más importante de la zona, que se encuentra abandonada desde hace algunos años (Ver Fotografía 5-2) ; la observación de los frentes y cortes de la misma ha permitido hacer un estudio muy detallado de los aspectos estructurales, que sin duda de bieron tener una influencia decisiva en el fracaso de la explotación.

Fue en este sector donde primero se puso de manifiesto la presen cia de unas superficies de esquistosidad con orientación parecida a la

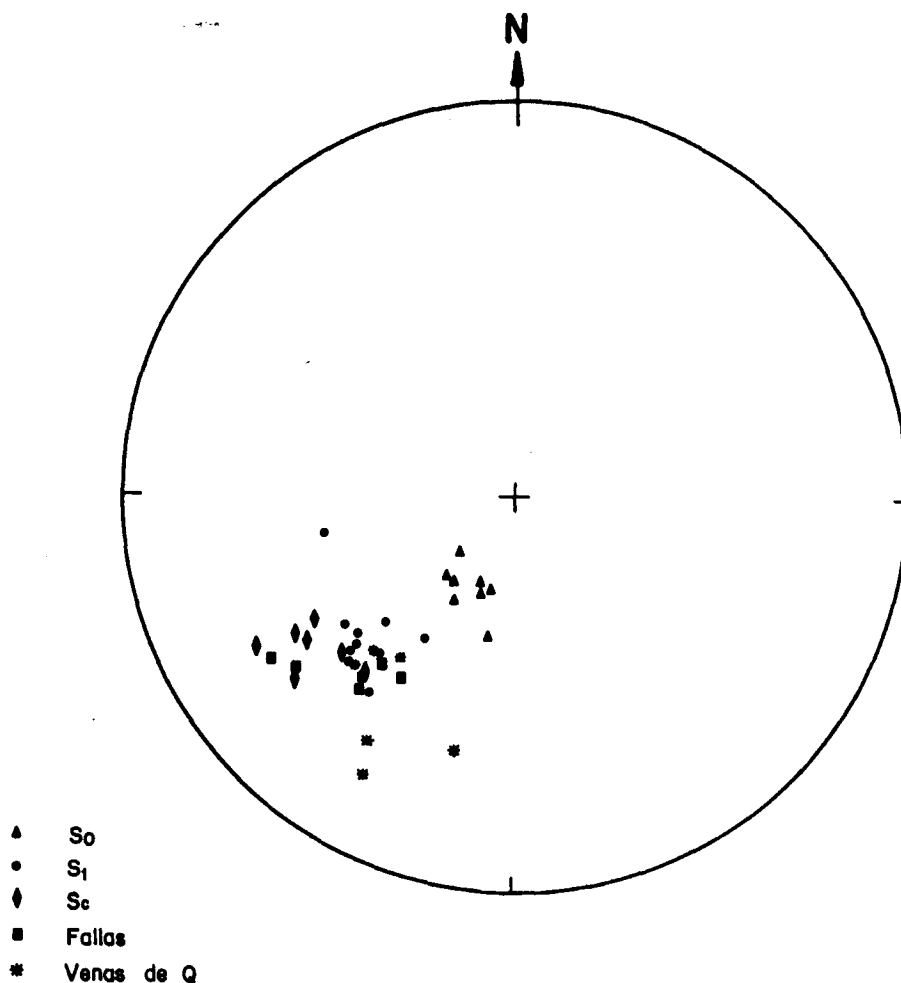


Fig. 5-19 Estratificación, Esquistosidad primaria y de crenulación, Fallas y Venas de Cuarzo en el Macizo IV.
(Proyección Polar Equiárea, Hemisferio inferior)

de la esquistosidad primaria (S_1) y que podían confundirse fácilmente con ella; se trataba de una esquistosidad de crenulación de tercera fase (S_3) no muy intensamente desarrollada que daba lugar a la existencia de una segunda superficie de anisotropía en la roca formando un ángulo bajo con la S_1 . Este hecho incide negativamente en la fisibilidad de la pizarra ya que al ser exfoliada abrirá indistinta e irregularmente por ambas superficies (S_1 y S_3), dificultando notablemente su elaboración para placas o losas.

Las características de la fracturación en el Macizo IV son bastante favorables: se han determinado cuatro familias y un quinto grupo - que corresponde en realidad a las superficies de esquistosidad de crenulación (S_3 o S_C), sin embargo sólo la familia J_1 tiene un desarrollo suficientemente importante y constante como para ser considerada; La familia J_2 está constituida por pequeñas diaclasas secundarias originadas por distensión en relación con las de la familia J_1 que son producidas por cizalla y van asociadas con frecuencia a "kink - bands" inversos (Ver Fotografías 5-3, 5-4 y 5-5).

Localmente se desarrollan algunas fallas inversas con desplazamientos poco importantes a lo largo de planos paralelos a la S_1 o a la S_C (Ver Fig. 5-19 y Fotografía 5-6).

Los parámetros de fracturación calculados en función de los espaciados de la familia de diaclasas transversales J_1 (Figs. 5-21 y 5-22) están dentro de los admitidos para un macizo explotable.

Con el sondeo S-2 (Ver Anexos), emplazado en la misma cantera, se ha comprobado que la fracturación en profundidad no es muy intensa y que las superficies de discontinuidad más frecuentes en él son las de S_C (Ver Figs. 5-23 y 5-24). Hay algunos tramos a lo largo del sondeo en los que la S_C no está presente y las características litológicas son aceptables, pero se trata tan sólo de tres tramos de 2 a 4 m de espesor intercalados entre los 22 m y 47 m de profundidad.

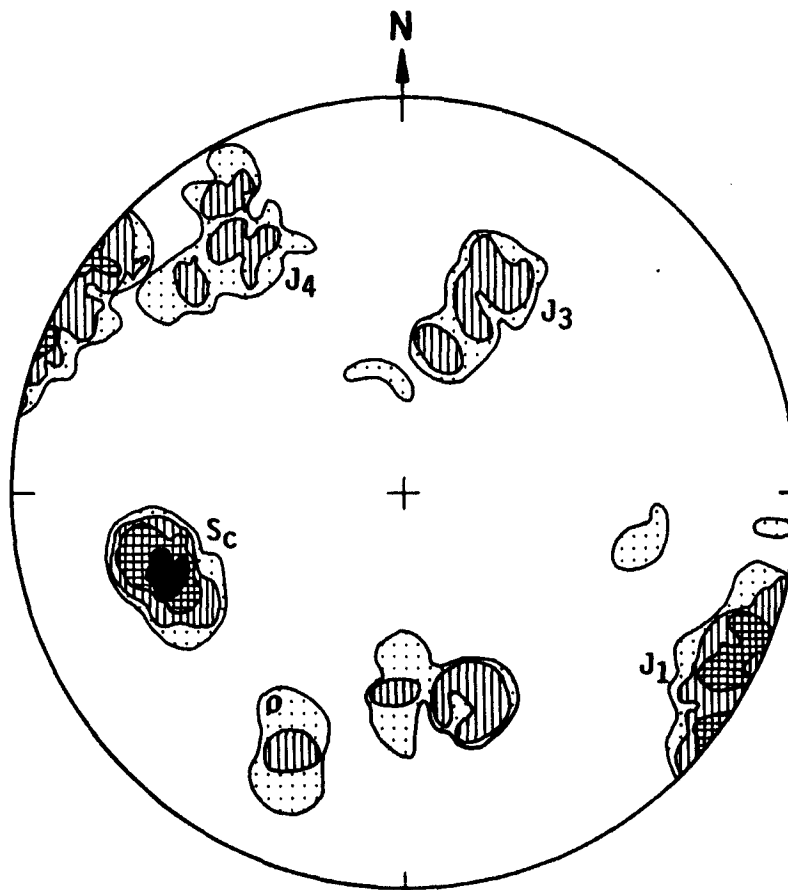
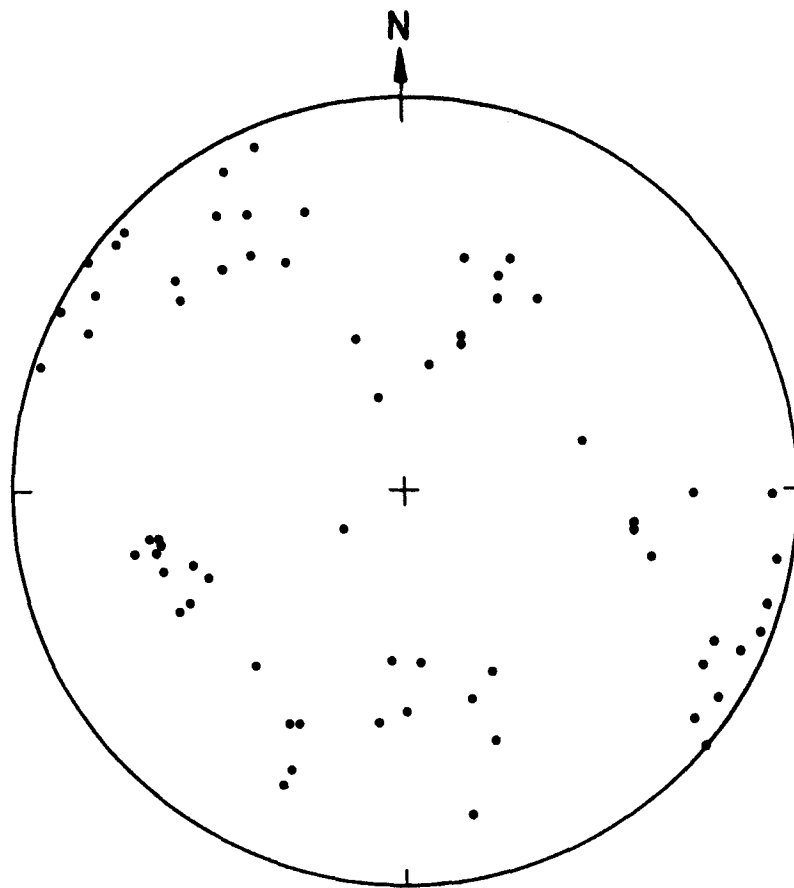
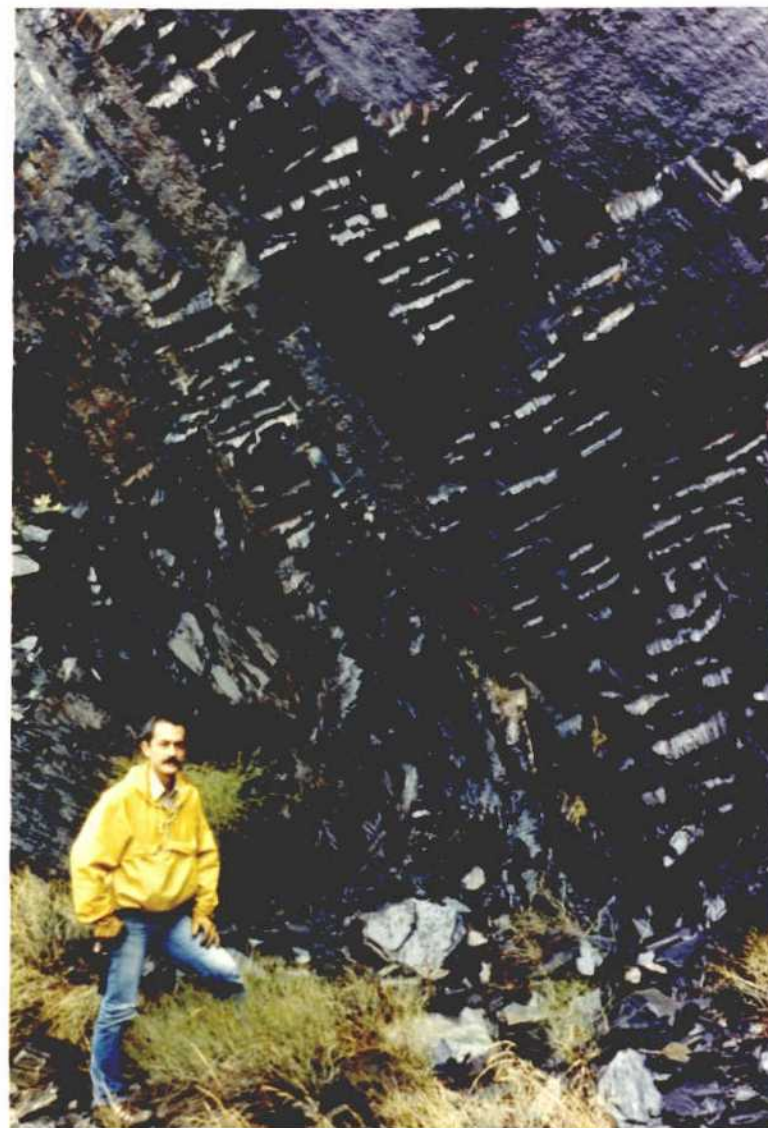


Fig. 5-20 Familias de diaclasas sistemáticas en el Macizo IV. Proyección de polos y Diagrama de concentración. (Proyección Equiárea, Hemisferio inferior). N = 67.



E a la izquierda



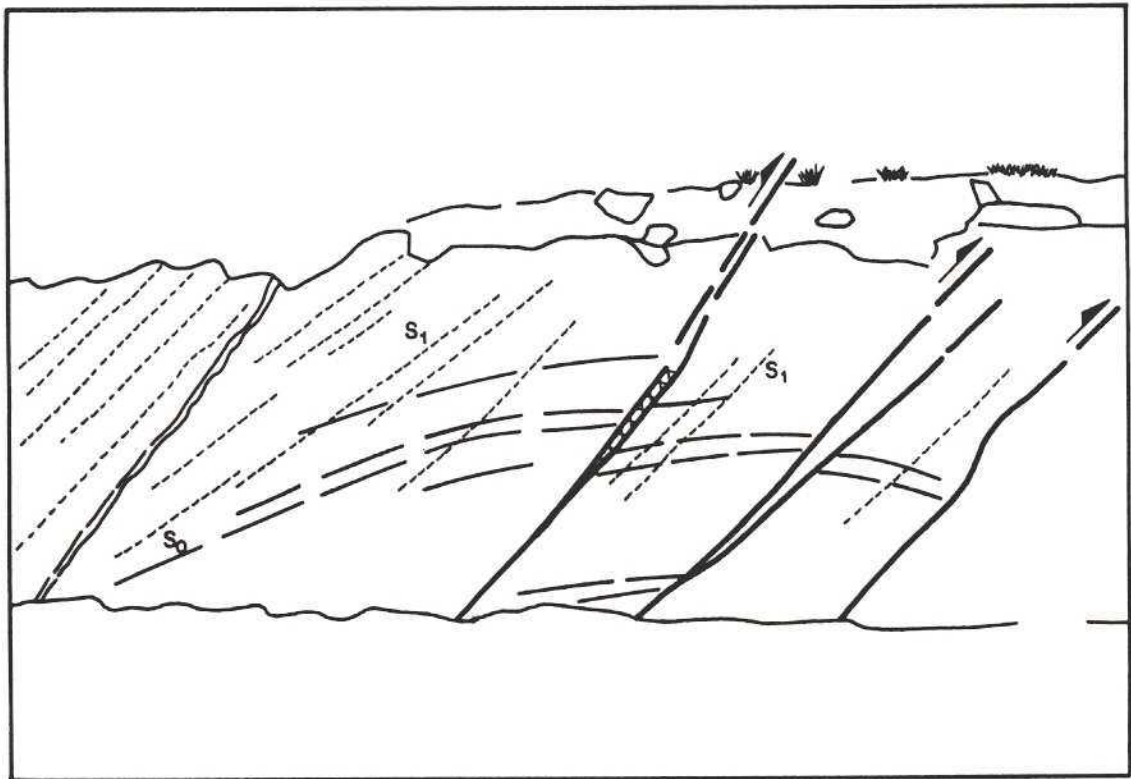
N a la derecha

FOTOGRAFÍAS 5-3 y 5-4 Aspecto de las diaclasas transversales o radiales de la familia J_1 y de las diaclasas menores (grietas de tensión) originadas en relación con ellas (J_2).

En conclusión, puede decirse que la presencia de esquistosidad de cre
nulación (S_c) en el macizo plantea un importante problema para la explota
ción del mismo.



FOTOGRAFIA 5-5 Diacla-
sas transversales (J_1)
asociadas a "kink-bands"
inversos y aspecto de la
superficie curvada de -
una diaclasa de tensión
secundaria (J_2) (E a la
derecha)



FOTOGRAFIA 5-6 Pequeñas fallas inversas desarrolladas según planos de S_1 en la Trinchera de entrada a la cantera (N a la izquierda).

MACIZO IV

- Estratificación: $S_0 = 25/22$
- Esquistosidad primaria: $S_1 = 47/43$
- Esquistosidad de crenulación: $S_C = 51/54$
- Familias de diaclasas: $J_1 = 300/89$
- Parámetros de Fracturación: $J_V = 0,52$
 $V_B = 0,93$

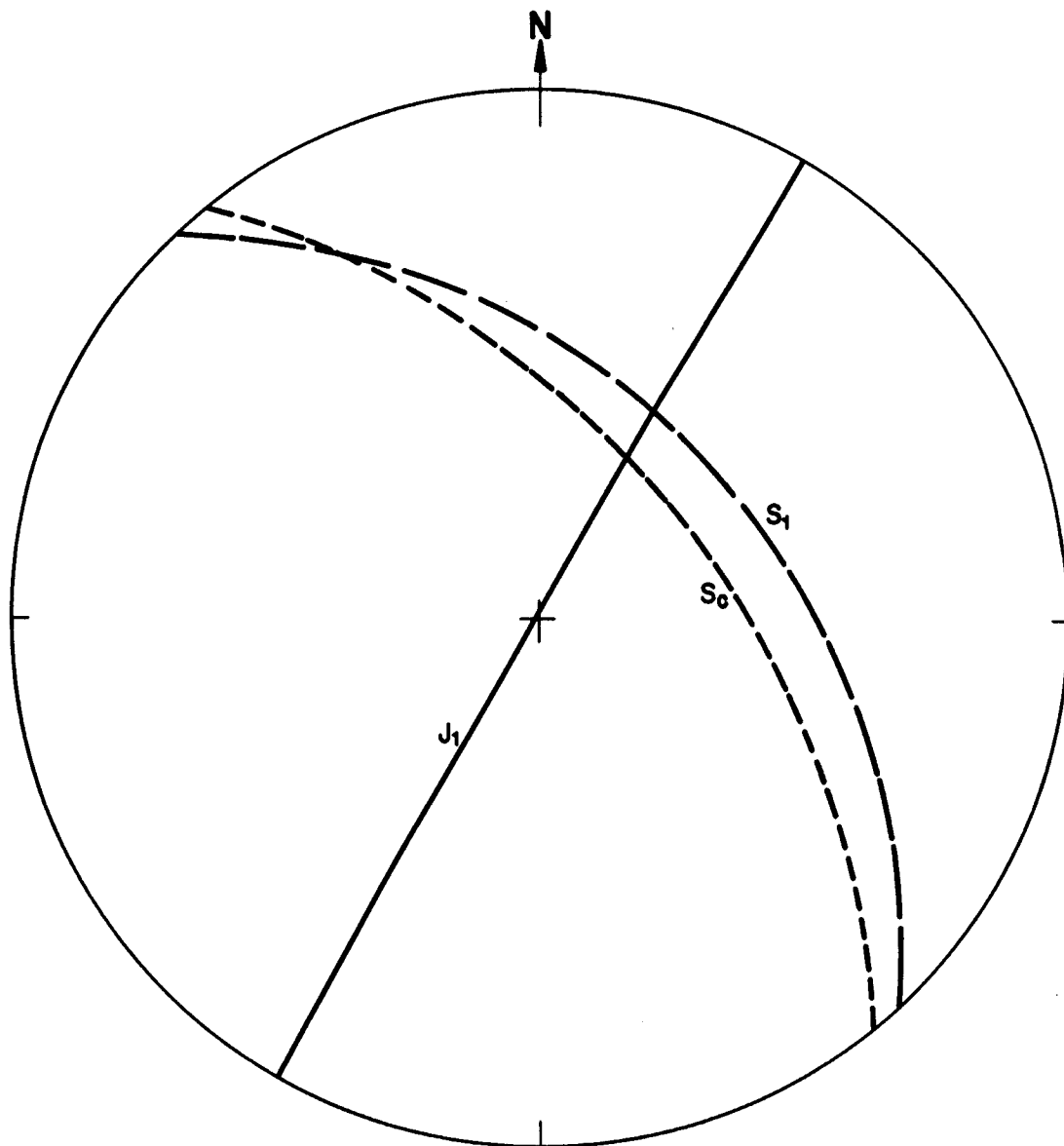


Fig. 5-21 Parámetros y elementos estructurales fundamentales en el Macizo IV.

Estereograma de las superficies de discontinuidad principales.

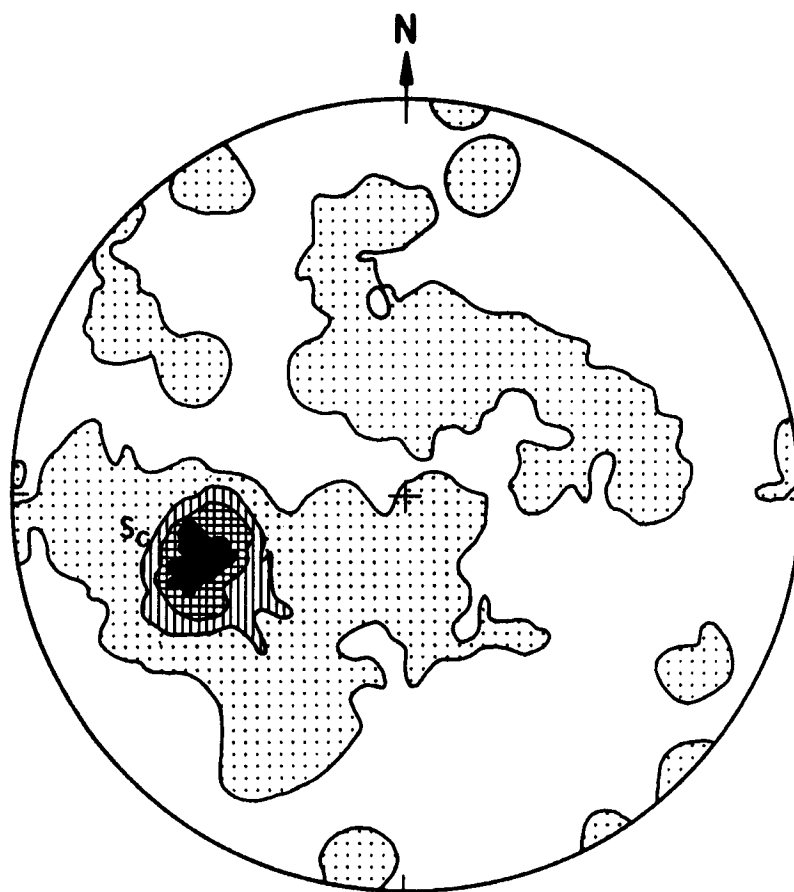
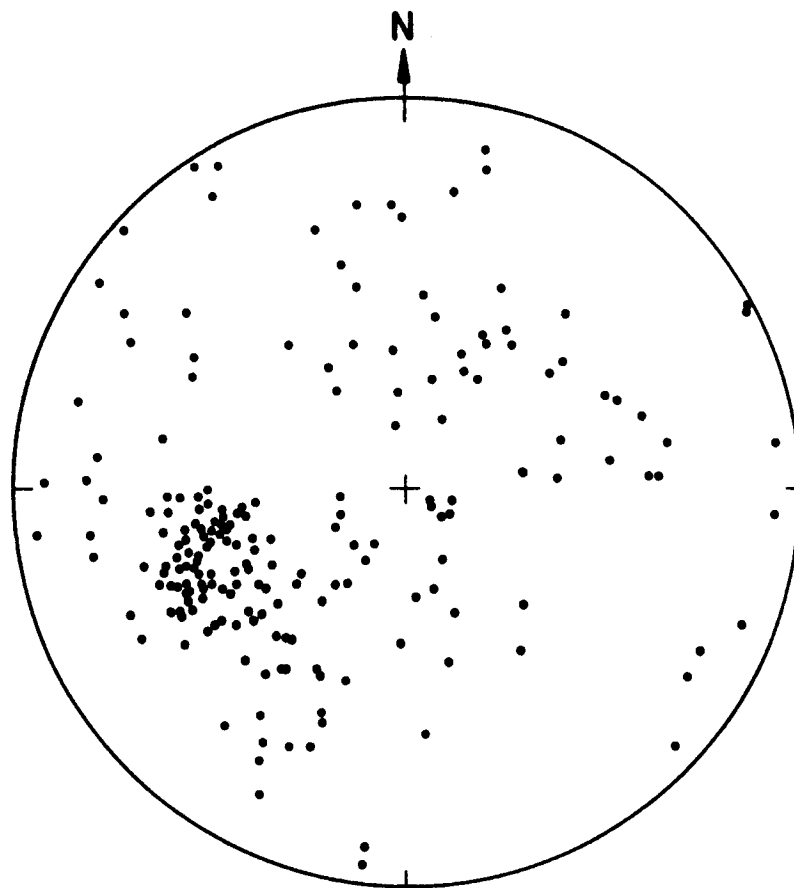


Fig. 5-23 Diaclasas medidas en el testigo del sondeo S-2.
 Proyección de polos y Diagrama de concentración.
 (Proyección Equiárea, Hemisferio inferior). N = 204
 La mayor parte de las medidas corresponden a superficies S_c que no se han identificado como tales.

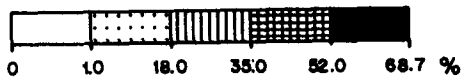
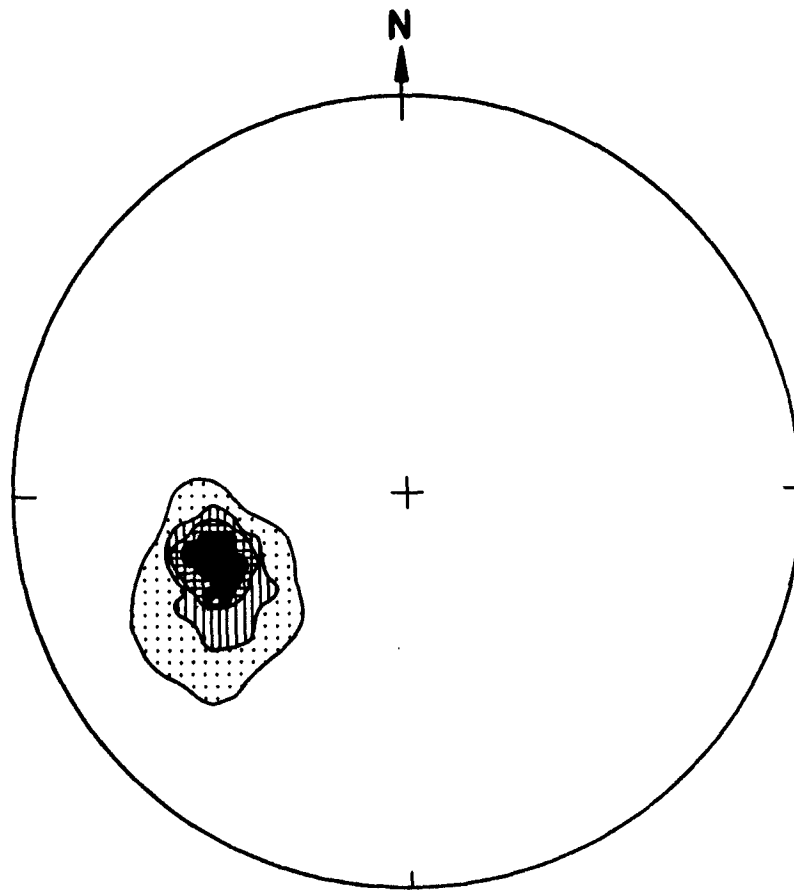
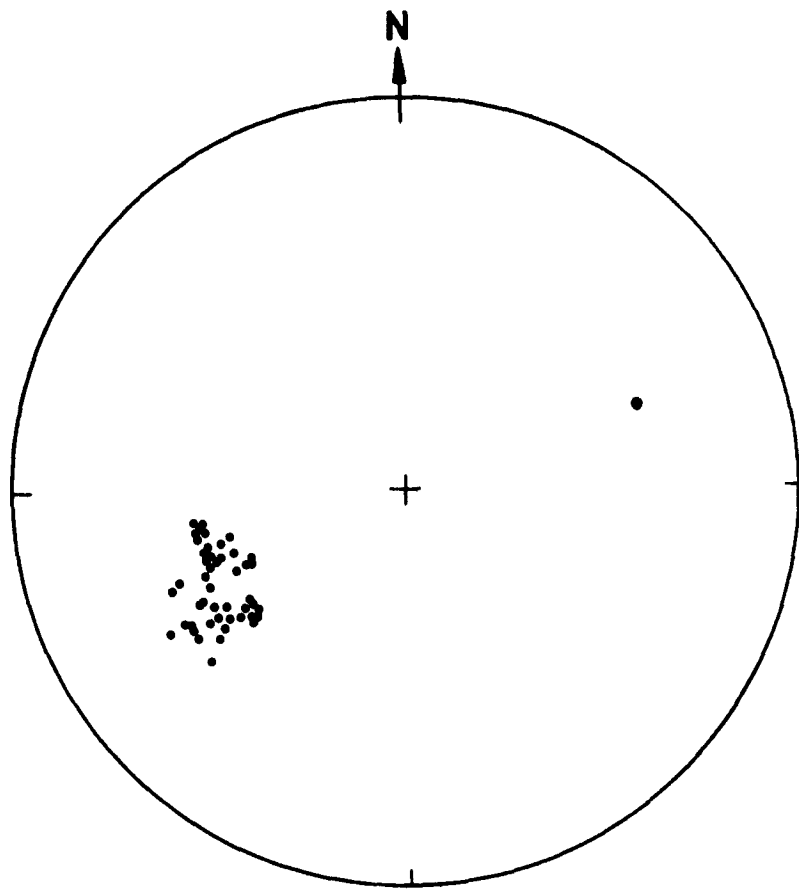


Fig. 5-24 Superficies de S_c medidas en el testigo del sondeo S-2
 Proyección de polos y Diagrama de concentración.
 (Proyección Equiárea, Hemisferio inferior). $N = 83$.

5.5. MACIZO V

Este macizo constituye un pequeño sector rectangular situado en la esquina NW de la zona A. Está limitado por zonas con esquistosidad de crenulación o fracturación intensas y por el muro de la formación R4.

Se han podido individualizar tres familias de diaclasas en superficie de las cuales sólo la J_1 tiene incidencia en el tamaño de bloque (Ver Fig. 5-26). Los espaciados de esta familia (Fig. 5-28) y los Parámetros de fracturación derivados (Fig. 5-27) nos indican que, bajo este aspecto, el macizo puede considerarse explotable.

Se han realizado dos sondeos: el S-6 y el S-9 (Ver Anexos), con los que se ha comprobado que la densidad de fracturación es algo mayor en el extremo NW del macizo (el testigo del sondeo S-9 tiene, en general, más de 4 fract./m), suponiéndose para la mayor parte del mismo una densidad de fracturación baja, de acuerdo con lo observado en el testigo del sondeo S-6 (1-4 fract./m).

Por otro lado, puede confirmarse la presencia de un tramo de 16 m de espesor real con buenas características litológicas que comienza a 7,40 m del muro de la formación R4; en el sondeo S-9 aparece, no obstante, una zona de 3m con superficies de S_C dentro de dicho tramo.

En conclusión, puede decirse que el Macizo V reúne las mejores condiciones de explotabilidad entre todos los que se han descrito hasta el momento.

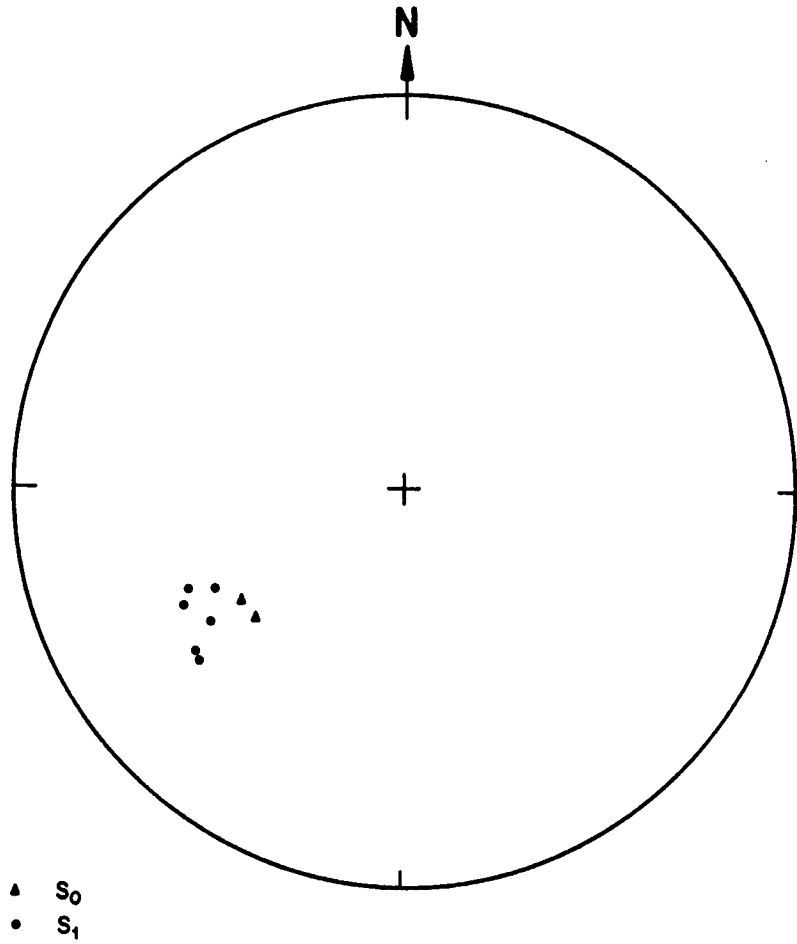


Fig. 5-25 Estratificación y Esquistosidad primaria en el Macizo V.
(Proyección Equiárea, Hemisferio inferior).

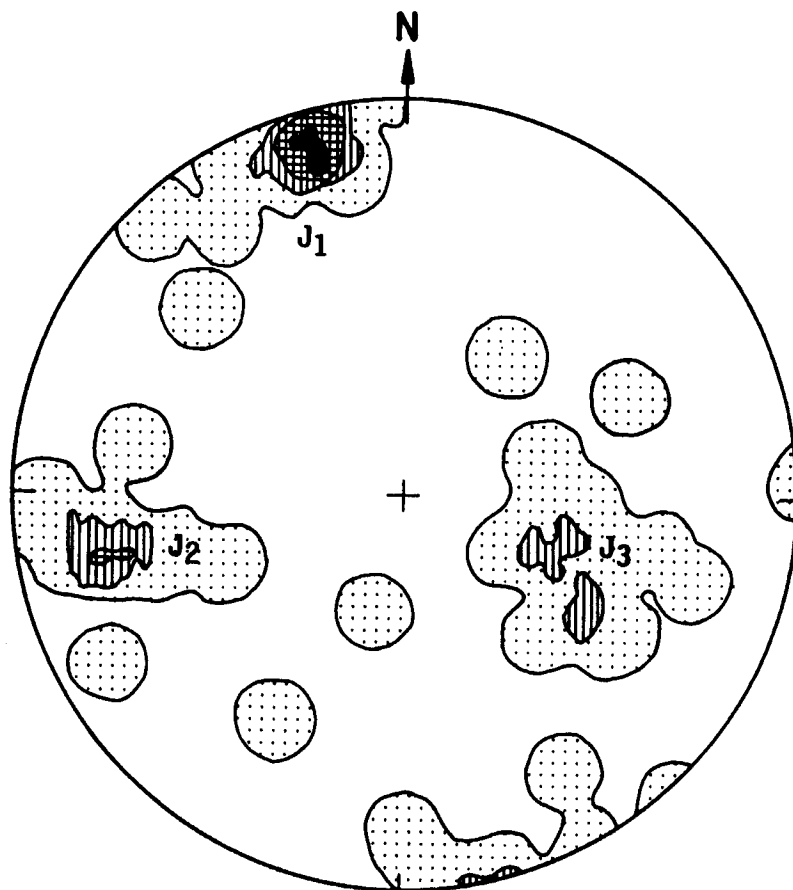
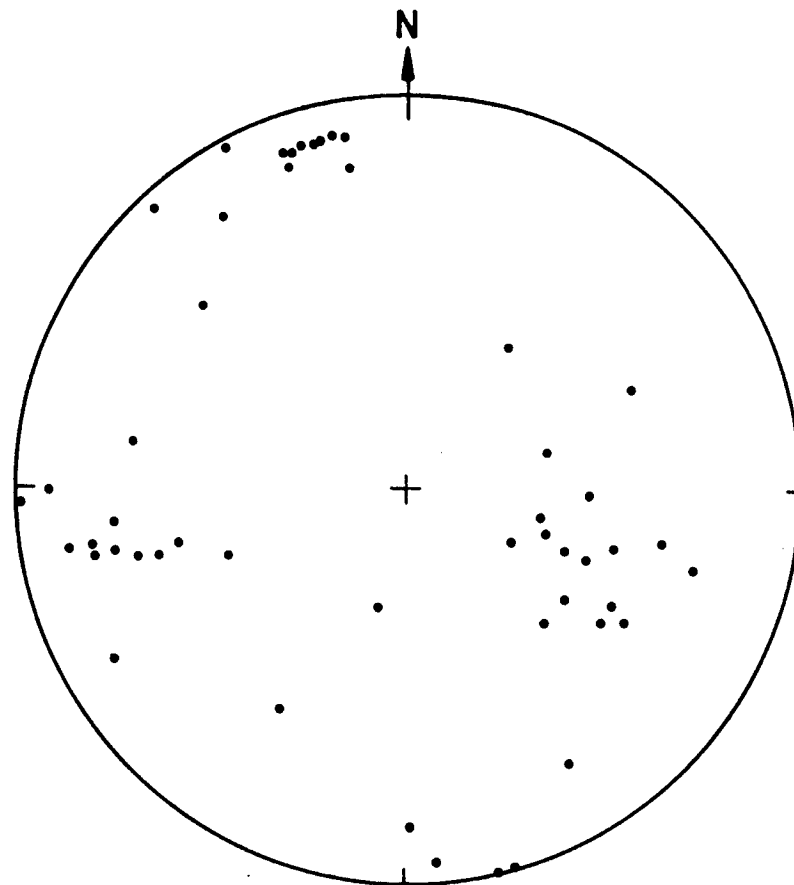


Fig. 5-26 Familias de diaclasas sistemáticas en el macizo V
 Proyección de polos y Diagrama de concentración.
 (Proyección Equiárea, Hemisferio inferior). N = 50.

MACIZO V

- Estratificación: $S_0 = 57/41$
- Esquistosidad primaria: $S_1 = 59/51$
- Familias de diaclasas: $J_1 = 165/82$
- Parámetros de fracturación: $J_V = 1,05$
 $V_B = 0,77$

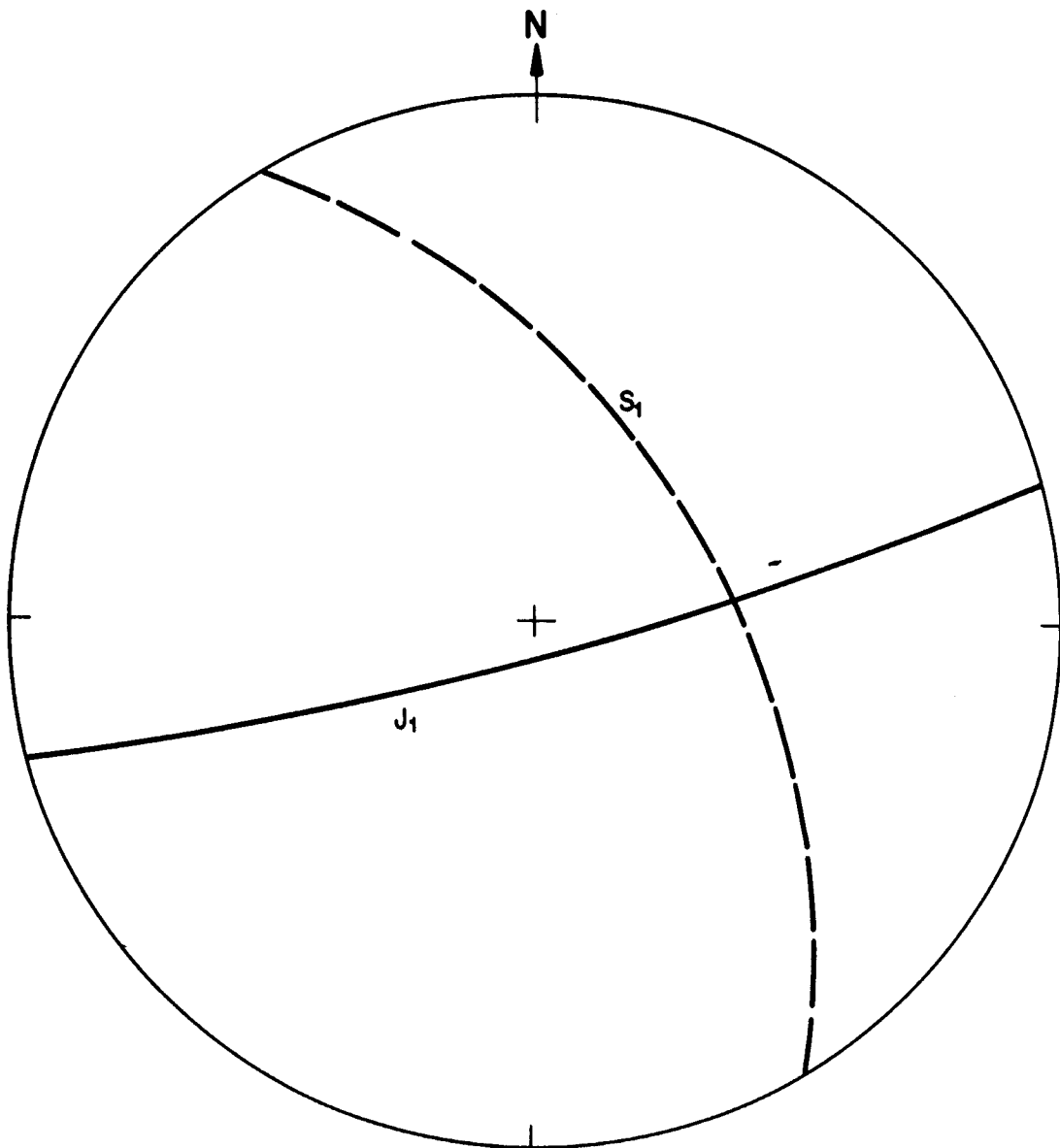


Fig. 5-27 Parámetros y elementos estructurales fundamentales en el Macizo V.
Estereograma de las superficies de discontinuidad principales.

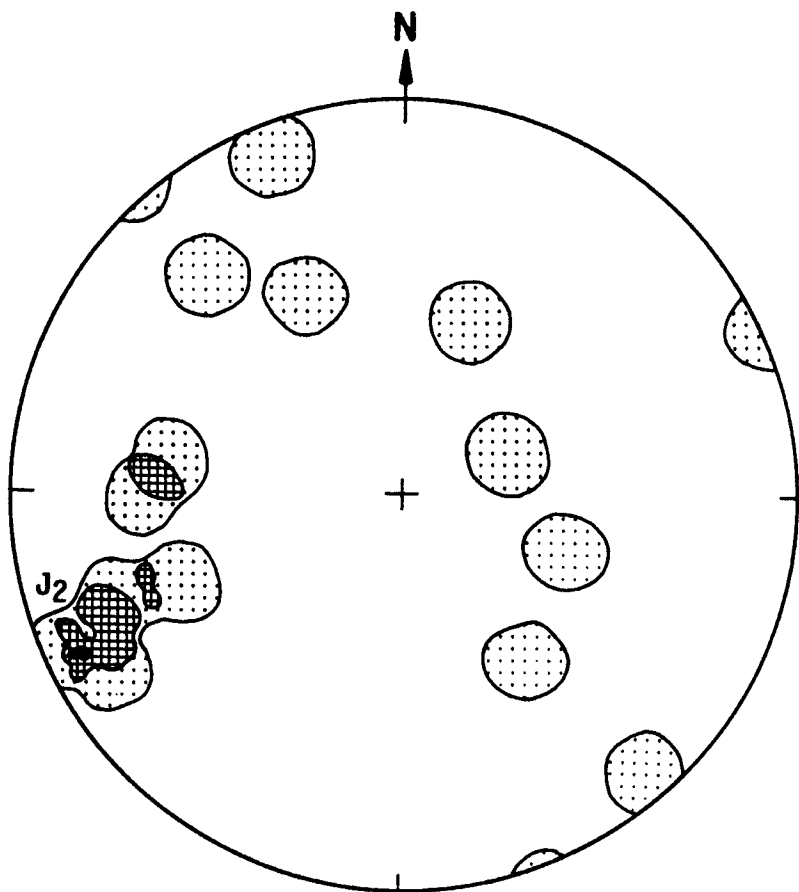
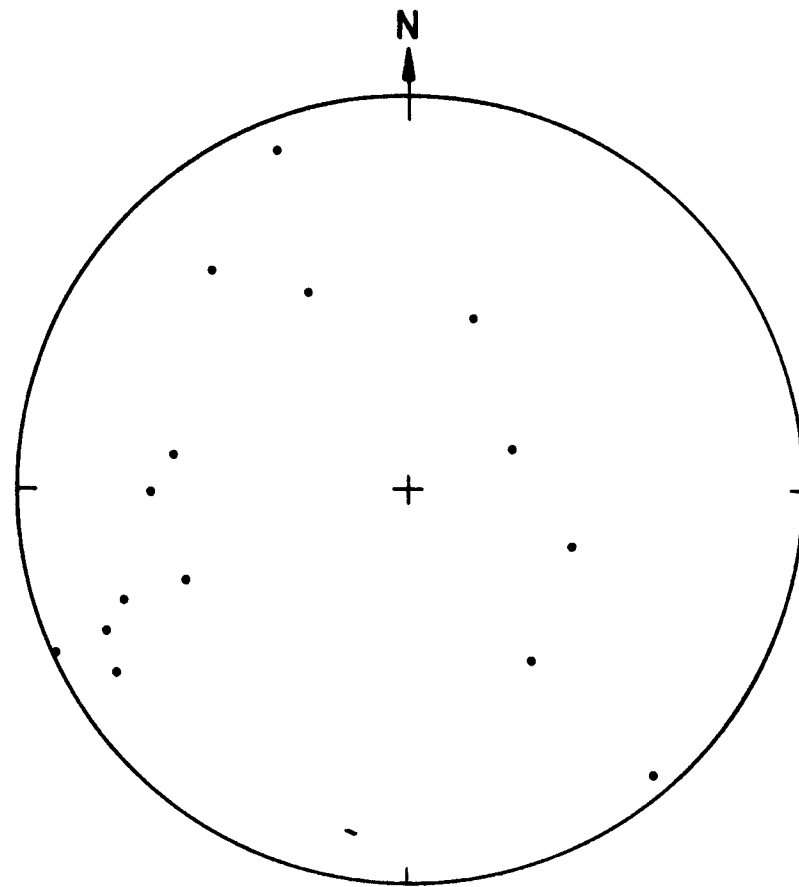


Fig. 5-29 Diaclasas medidas en el testigo del sondeo S-6
 Proyección de polos y Diagrama de concentración.
 (Proyección Equiárea, Hemisferio inferior). N = 15

5.6. MACIZO VI

Este macizo se localiza en el entorno de las Canteras del Bornova (ver Fotografía 4-2), antiguas explotaciones en las que se extraía la pizarra manualmente y se elaboraba de modo artesanal.

En el estudio del diaclasado se han determinado tres familias principales (Ver Fig. 5-31), aunque la tercera de ellas no se ha tenido en cuenta para el cálculo de los parámetros de fracturación por presentar espaciados muy amplios.

Los parámetros de fracturación resultantes (Ver Fig. 5-32) no llegan a superar los límites mínimos que se han considerado para los macizos explotables.

Por otro lado, también se ha detectado la presencia de superficies de S_c , lo cual constituye un segundo factor negativo.

El sondeo S-8 (Ver Anexos) ha confirmado los resultados obtenidos a partir del estudio en superficie, presentando el testigo una densidad de fracturación bastante constante (4-16 fract/m), una notable alteración (grado III) y una fisibilidad muy irregular en general.

De acuerdo con todo lo dicho, este macizo puede considerarse inexplorable.

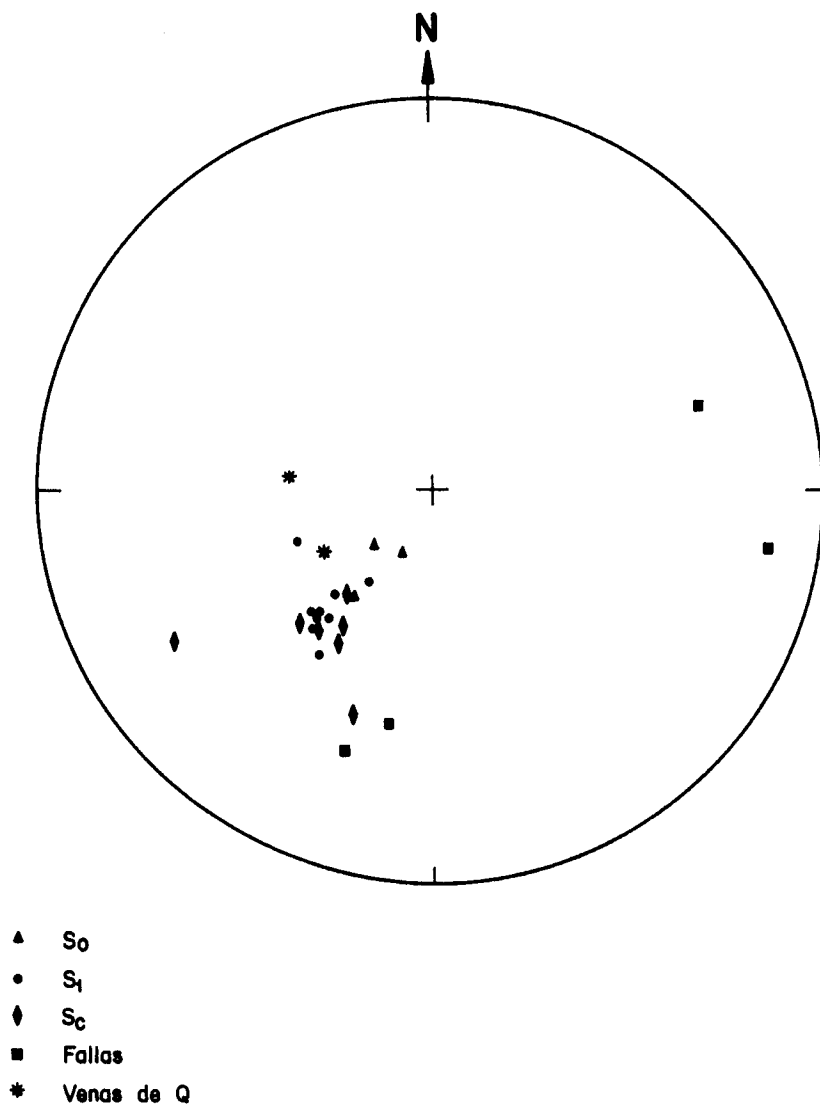


Fig. 5-30 Estratificación, Esquistosidad primaria y de crenulación, Fallas y Venas de Cuarzo en el Macizo VI. (Proyección Equiárea, Hemisferio inferior).

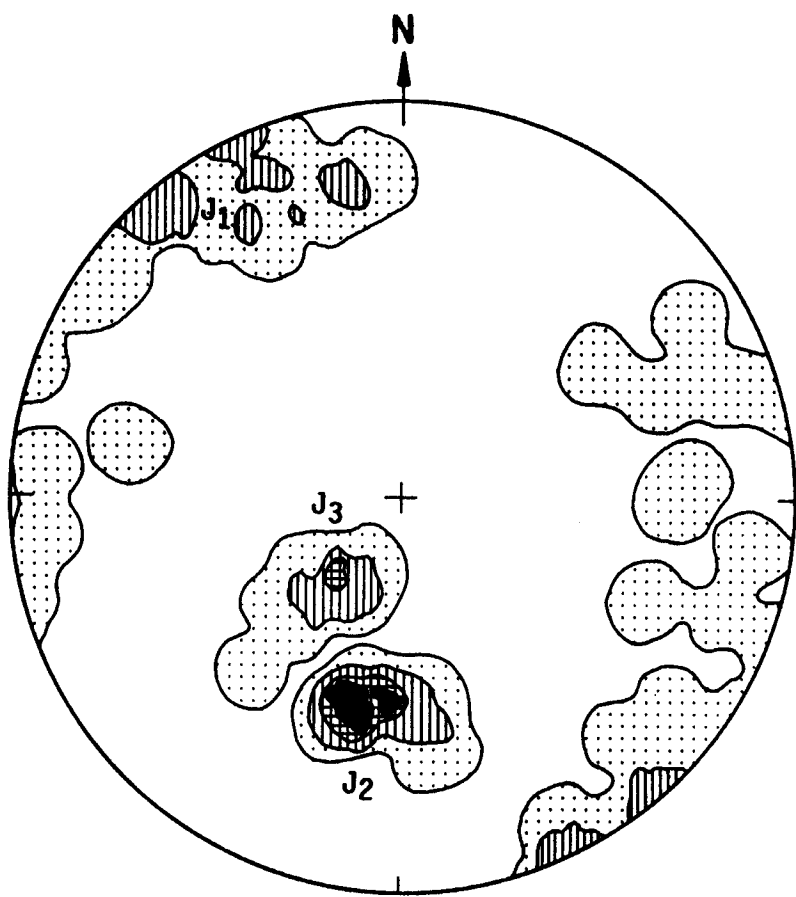
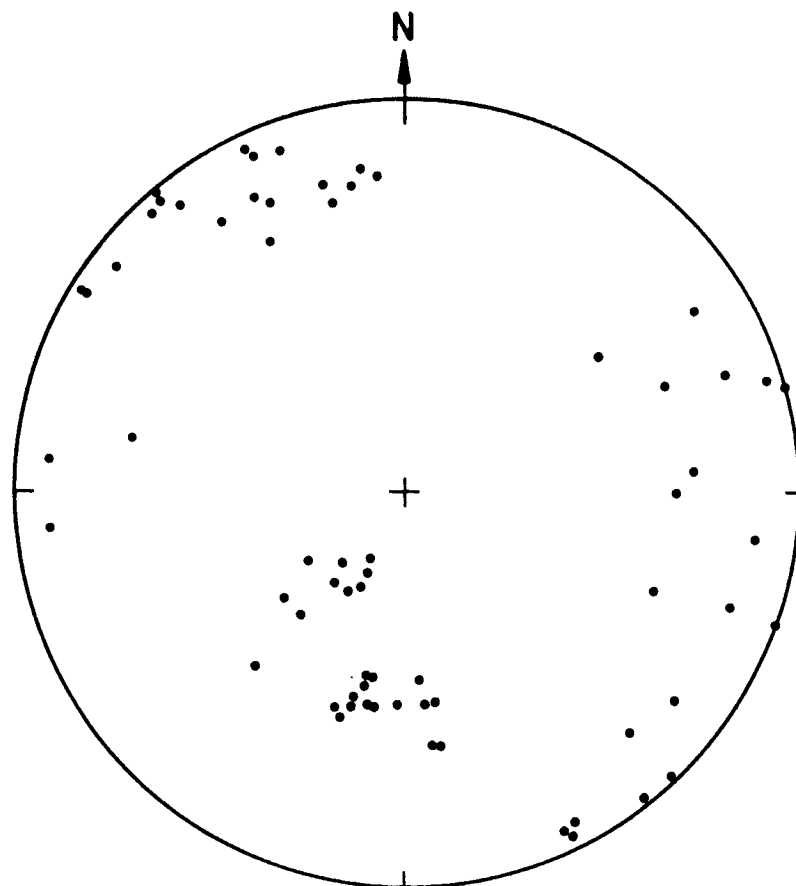


Fig. 5-31 Familias de diaclasas sistemáticas en el Macizo VI. Proyección de polos y Diagrama de concentración. (Proyección Equiárea, Hemisferio inferior). N = 67.

MACIZO VI

| | |
|---------------------------------|--------------------------------|
| - Estratificación: | $S_0 = 37/19$ |
| - Esquistosidad primaria: | $S_1 = 42/34$ |
| - Esquistosidad de crenulación: | $S_c = 40/41$ |
| - Familias de diaclasas: | $J_1 = 327/89$ $J_2 = 6/46$ |
| - Parámetros de fracturación: | $J_v = 2.16$ $V_B = 0.53$ |

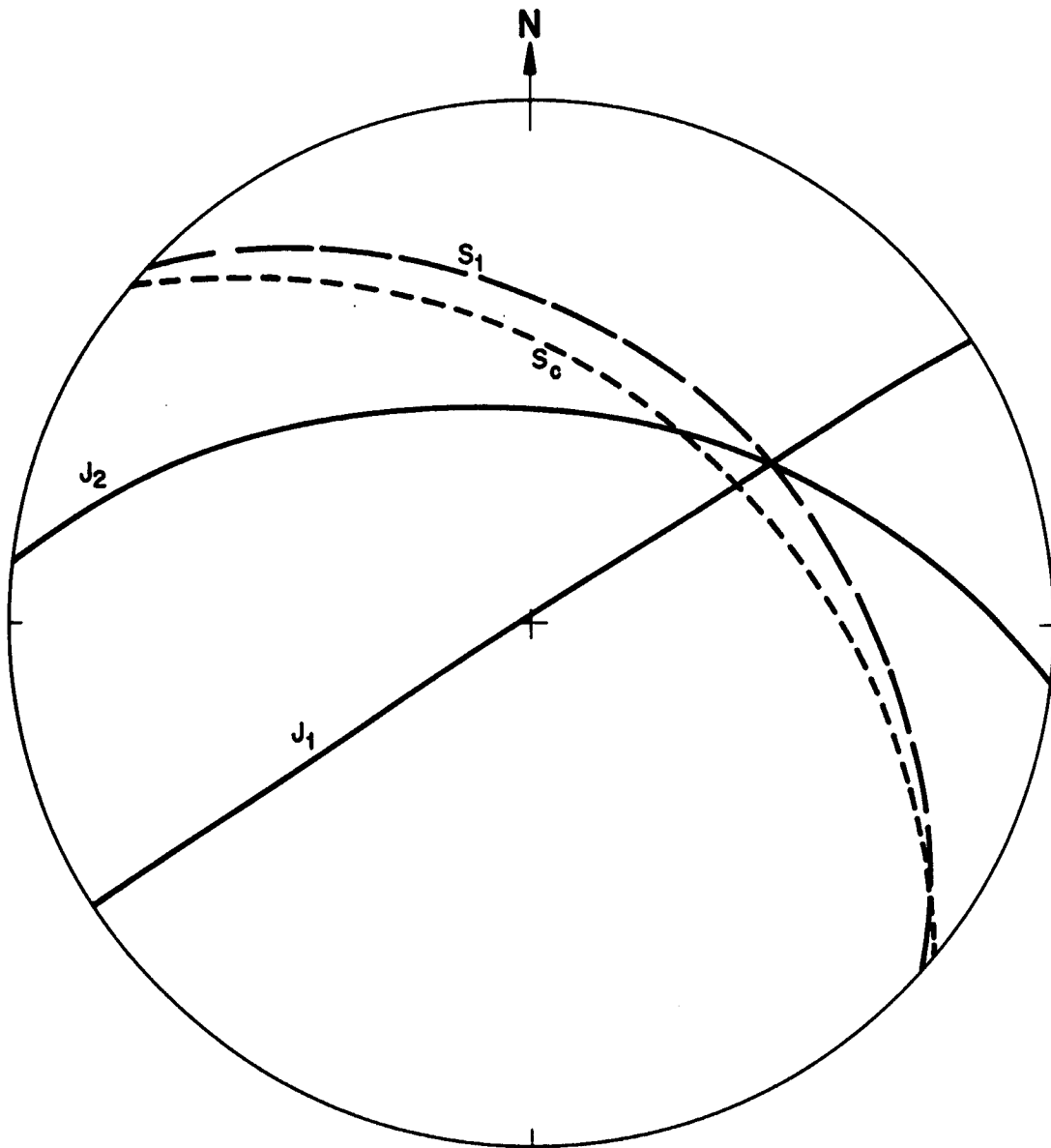


Fig. 5-32 Parámetros y elementos estructurales fundamentales en el Macizo VI.

Estereograma de las superficies de discontinuidad principales.

5.7. MACIZO VII

El Macizo VII se encuentra bastante próximo al anterior, en una ladera más suave, con algunos recubrimientos cuaternarios parciales de poco espesor al pie de la misma.

El tipo de afloramiento no permite hacer un estudio de la fracturación en superficie suficientemente completo.

Se han determinado dos familias de diaclasas sistemáticas - (Ver fig. 5-35), estando la J_2 constituida por diaclasas menores irregularmente desarrolladas.

Los parámetros de fracturación obtenidos (Ver fig. 5-36) son excelentes, pero conviene tener en cuenta que pueden estar algo alejados de la realidad.

También aquí se han podido medir algunas superficies de S_c , aunque parecen ser menos frecuentes que en el Macizo VI.

En el testigo del sondeo S-7 (Ver Anexos) puede observarse - como la densidad de fracturación en profundidad es bastante mayor de lo que se esperaba, existiendo muy pocos tramos con menos de 4 fract/m. En cuanto a las características litológicas, alternan tramos con buena fisibilidad con otros en los que aparecen superficies de S_c .

El tramo con buenas características litológicas más importante tiene un espesor real de 13 m y aparece a partir de los 8 m de profundidad.

Sin poder llegar a una conclusión definitiva respecto a la explotabilidad de este macizo en función de las características de la fracturación, sí puede decirse que la presencia de equistosidad de crenulación, aunque no sea generalizada, plantea un serio problema que habría de ser es

tudiado con más detalle como paso previo dentro de una investigación directamente orientada al inicio de una explotación.

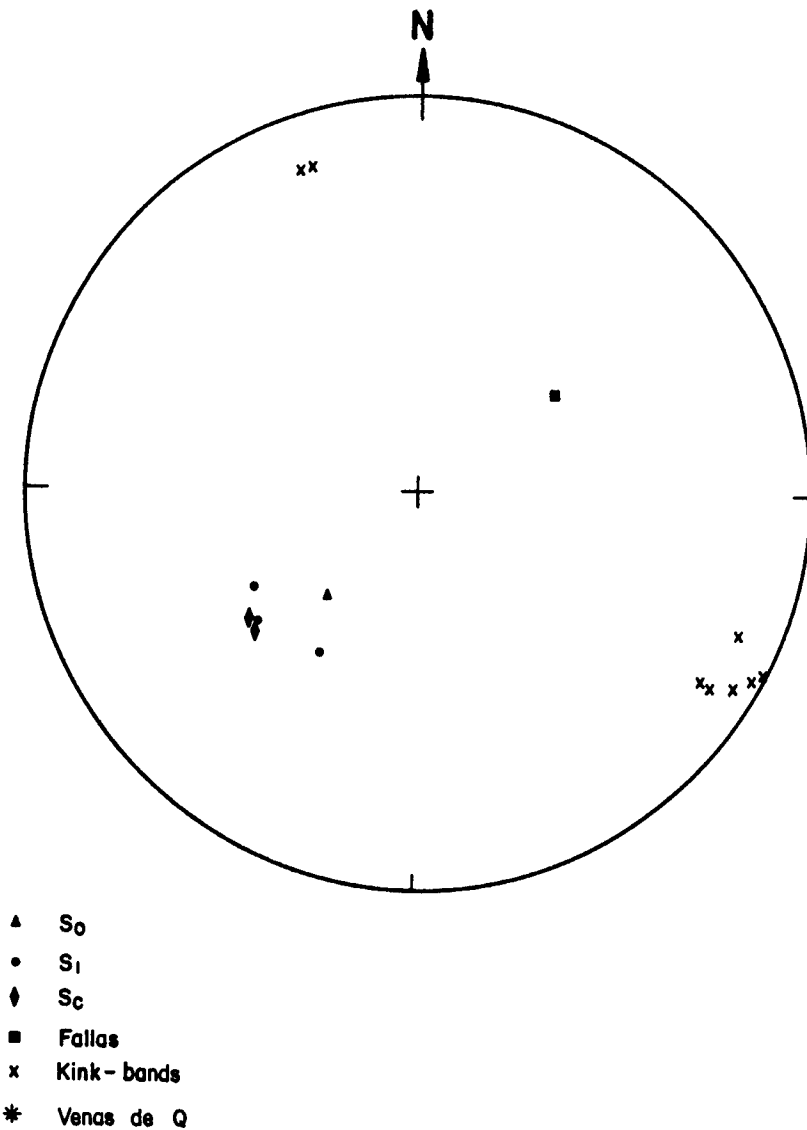


Fig. 5-34 Estratificación, Esquistosidad primaria y de crenulación, Fallas, "Kink-bands" y Venas de Cuarzo en el Macizo VII. (Proyección Equiárea, Hemisferio inferior).

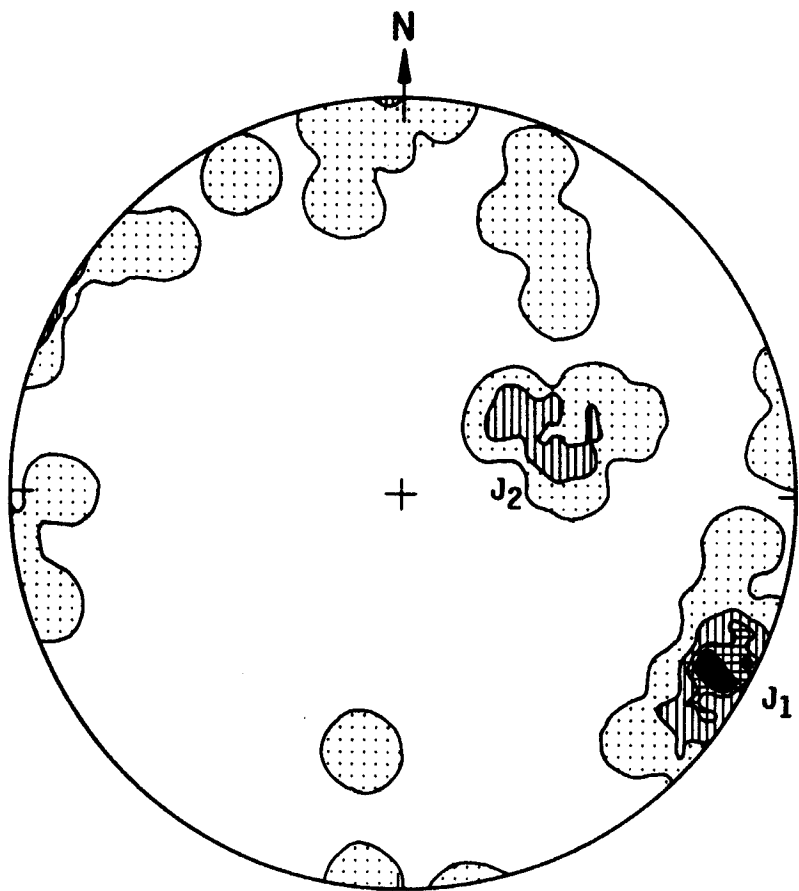
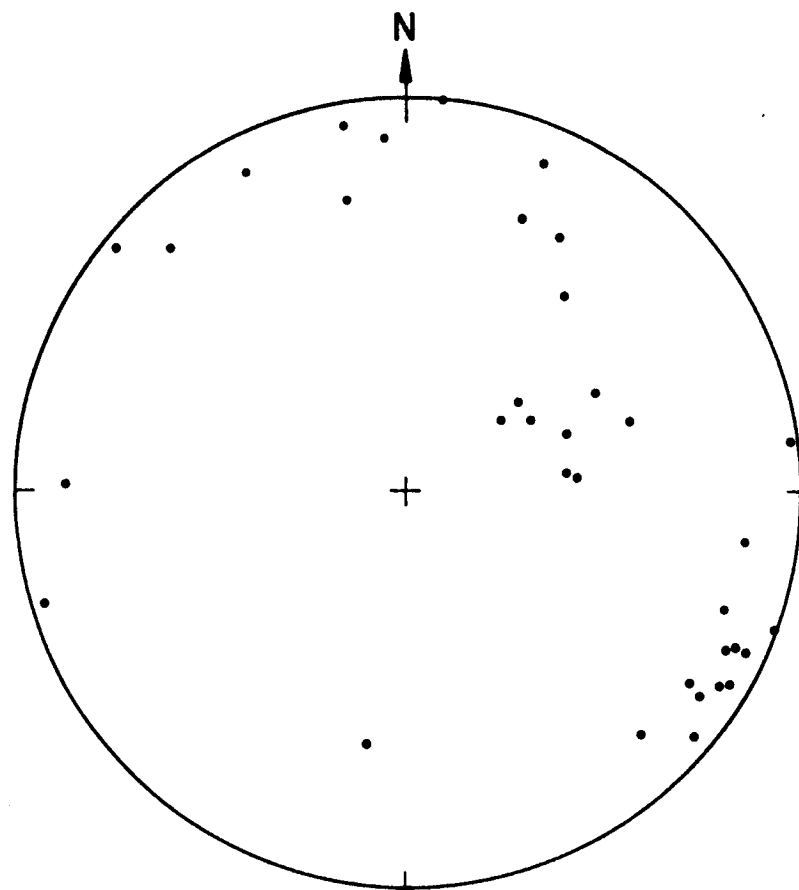


Fig. 5-35 Familias de diaclasas sistemáticas en el Macizo VII. Proyección de polos y Diagrama de concentración. (Proyección Equiárea, Hemisferio inferior). N = 35.

MACIZO VII

- Estratificación: $S_0 = 38/29$
- Esquistosidad Primaria: $S_1 = 46/41$
- Esquistosidad de crenulación: $S_c = 51/45$
- Familias de diaclasas: $J_1 = 301/84$
- Parámetros de fracturación: $J_v = 0.56$
 $V_B = 0.94$

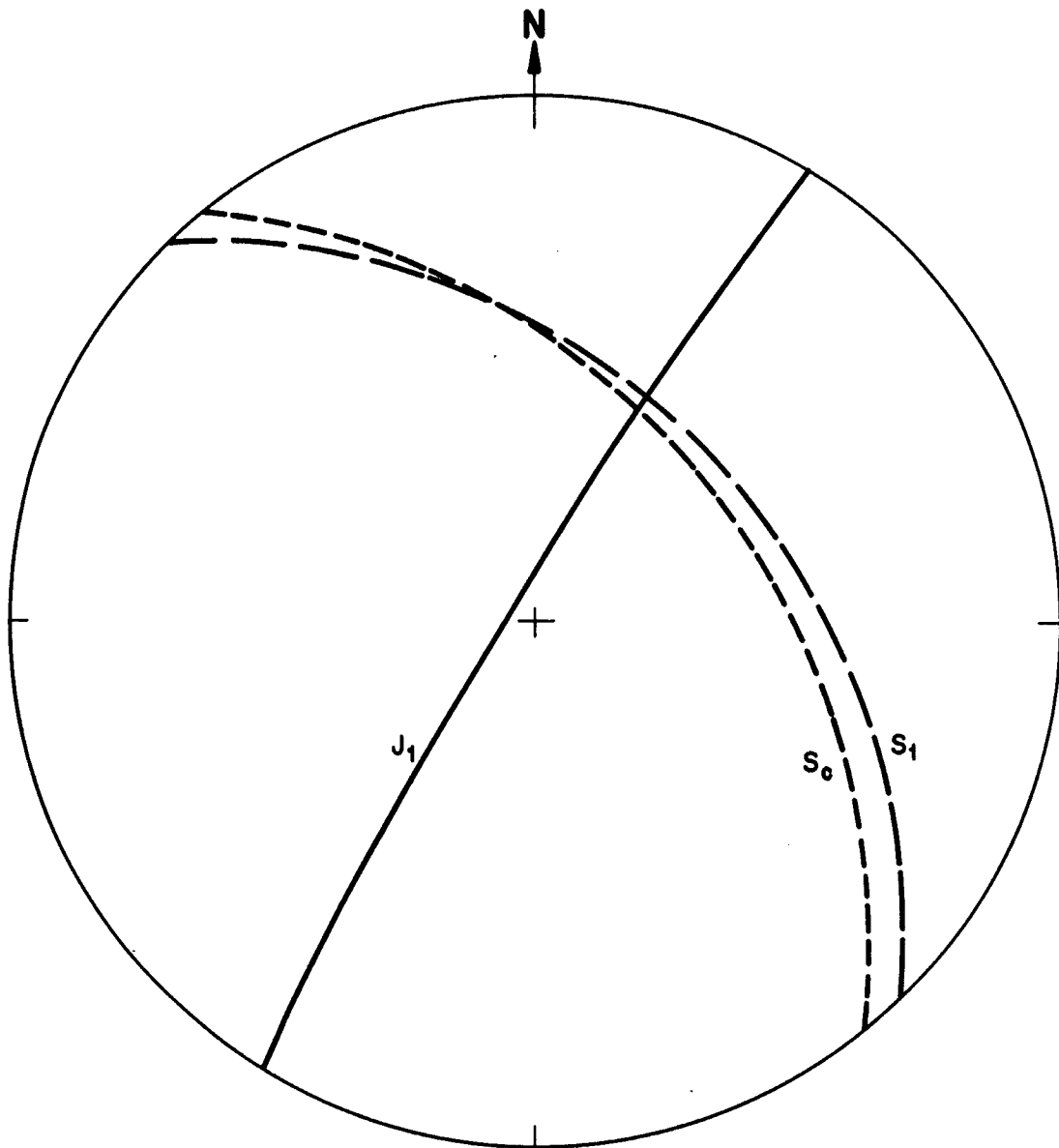


Fig. 5-36 Parámetros y elementos estructurales fundamentales en el Macizo VII.

Estereograma de las superficies de discontinuidad principales.

5.8. VALORACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Tratando de sintetizar todo lo que se ha expuesto en los epígrafes anteriores con el fin de hacer una valoración en conjunto de los siete macizos que se han estudiado, se han reflejado en la Fig. 5-38 las características estructurales que presenta cada uno.

En el diagrama que se muestra en dicha figura aparecen representados los macizos por puntos cuya posición viene dada por un valor en ordenadas que corresponde al parámetro J_V y otro en abscisas que es el parámetro V_B . Se han señalado además los umbrales admitidos para cada uno de estos parámetros, de tal modo que los macizos explotables, en función únicamente de la fracturación, se han de situar en el recuadro superior derecho del diagrama. (No hay que olvidar que estos dos parámetros guardan entre sí una cierta relación por depender ambos de los espaciados que presentan las familias de diaclasas sistemáticas).

Por otro lado, se indica también la presencia de superficies de esquistosidad de crenulación en tres grados: Escasa o nula, Media y Muy frecuente, considerándose este último caso suficientemente definitivo como para descartar la posibilidad de explotación en un macizo.

Según esto, podemos resumir los resultados alcanzados en este estudio del siguiente modo:

- Los Macizos I y VI no son explotables puesto que poseen unos parámetros de fracturación que están fuera de los límites - que se han señalado.

El resto de los macizos no parecen presentar problemas en este sentido, sin embargo conviene recordar que los parámetros calculados para los Macizos III y VII no se apoyan en un número suficiente de datos como para que se consideren absolutamente fiables.

- La presencia generalizada de superficies de S_c en los Macizos III y IV hace que ambos hayan de ser también desechados de cara a la explotación.
- El Macizo V es el que posee mejores características en conjunto para ser explotado, habiéndose confirmado en él la existencia de un paquete de pizarra de 16 m de espesor con buenas características litológicas y sin estar afectado por factores estructurales desfavorables, salvo en el extremo NW.
- En el Macizo II existe también un tramo de 13,00 m de espesor cuyas características litológicas y estructurales son válidas para la explotación, sin embargo convendrá cerciorarse previamente de su continuidad (determinada fundamentalmente por el desarrollo local de las superficies de S_c) y evaluar el costo adicional que supondrá el llegar a poner al descubierto dicho nivel.
- El Macizo VII, aunque se ha incluido entre los explotables, - plantea todavía algunos interrogantes. Las características de la fracturación observadas en el sondeo S-8 no son del todo favorables y la presencia local de superficies de S_c constituye un segundo factor negativo a tener en cuenta. Por ello se recomienda completar los datos obtenidos con la realización de algún otro sondeo de reconocimiento.

Por último, hay que hacer notar que, aún sin haber hacerse una estimación de reservas, las dimensiones de los macizos y los espesores de los niveles de pizarra que pueden ser aprovecha-dos hacen pensar en un tipo de explotaciones de mediana entidad, similares a la cantera que funcionó temporalmente en el sector que ahora - se ha denominado Macizo IV.

En cuanto a los resultados de los ensayos, realizados sobre muestras de los sondeos S-2 y S-4 (Ver apartado 5 del volumen de Anexos), - aunque no ha podido determinarse la resistencia a la flexión, puede confirmarse la clasificación como P.A.I. (Pizarras medianamente alterables) que ya se obtuvo a partir de los ensayos de la 1ª Fase.

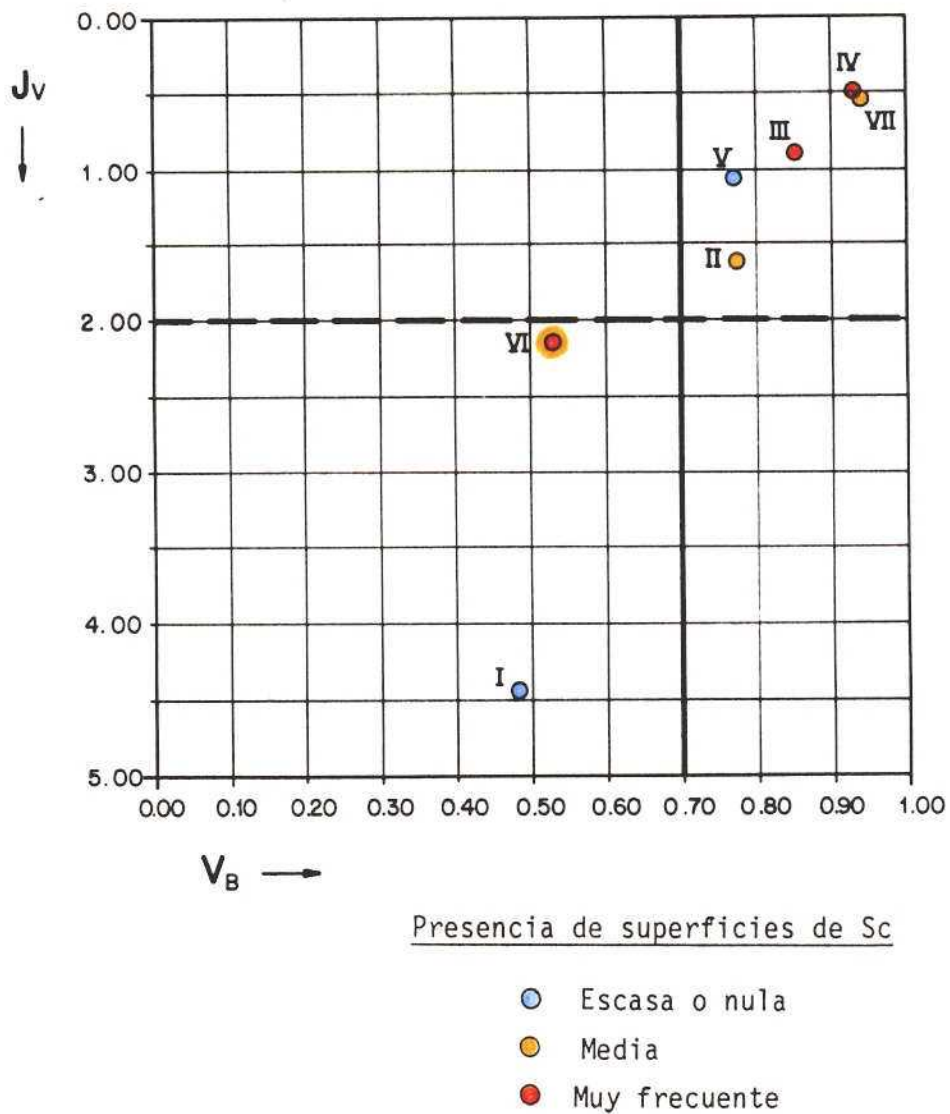


Fig. 5-38 Diagrama de síntesis de los factores estructurales en los macizos estudiados.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La investigación realizada se ha centrado en el estudio geológico-minero de las tres zonas seleccionadas a raíz de la "Exploración y Caracterización de Pizarras Ornamentales en el Sistema Central (Provincias de Madrid, Guadalajara y Segovia), 1ª Fase", con el fin de localizar en ellas las posibles masas de pizarra susceptibles de ser explotadas para -- usos ornamentales.

- Estas tres zonas se sitúan en el N de la provincia de Guadalajara, cercanas a la localidad de Atienza, y han sido denominadas del siguiente modo:
 - . Zona A.- Rodada
 - . Zona B.- Bornova
 - . Zona C.- Los Prados

- Dentro del dominio geológico conocido como Complejo de Somosierra-Vellón (CAPOTE et al. 1981), las citadas zonas se localizan en el flanco inverso de un pliegue de primera fase hercínica (Anticlinal de Hiendelaencina) - que se encuentra con vergencia opuesta (Hacia el W) por efecto de un pliegue de tercera fase.

Existe una estructura de deformación más tardía en el ámbito de las dos primeras zonas a la que se ha llamado Sinclinal de La Miñosa.

- La formación potencialmente explotable se denomina Rodada 4 (R4); tiene - un espesor de 110-140 m y se supone que corresponde al Ordovícico Supe - rior (Ashgill).

Se han diferenciado en ella dos miembros, estando el superior, cuyo espesor es de 15 - 25 m, constituido por pizarras con una gran heterogeneidad textural que no tienen calidad litológica suficiente para poder ser explotadas.

- En cada una de las tres zonas se ha elaborado una cartografía geológica a E. 1:5.000 y se han analizado los distintos factores litológicos y estructurales que controlan la calidad y la explotabilidad de las pizarras, tratando de obtener un primer criterio de selección de sectores favorables en los que centrar la investigación.

El reconocimiento en campo se ha completado con el estudio microscópico de diversas muestras orientadas.

- De este modo, tras haberse desechado la Zona C (Los Prados) en su totalidad por presentar una notable densidad de "kink-bands" y diaclasas transversales, en las Zonas A y B se han llegado a delimitar siete macizos, cinco en la primera y dos en la segunda, en los cuales se han llevado a cabo un análisis estructural de detalle enfocado principalmente a determinar las características de la fracturación en cada uno. A las observaciones en superficie se han sumado los datos obtenidos a partir de los ocho sondeos realizados y de los ensayos efectuados con muestras procedentes de los testigos.
- La valoración de la explotabilidad en dichos macizos, en cuanto a la fracturación que presentan, se ha apoyado en una serie de datos recogidos en varias canteras de la región de Valdeorras (Orense), de amplia tradición pizarrera.

Junto con la fracturación, el factor que más incidencia tiene en la explotabilidad es la existencia o no de una esquistosidad de crenulación de tercera fase (S_C o S_3), relativamente espaciada, que por tener una orientación muy semejante a la de la esquistosidad primaria (S_1) resulta a veces difícil de detectar.

Tras la valoración efectuada, se ha concluido lo siguiente:

- Los Macizos I y VI no son explotables a causa de una fracturación demasiado densa. Tampoco lo son los Macizos III y IV por presentar un desarrollo generalizado de superficies de S_C .

- Se consideran explotables los tres macizos restantes (II, V y VII), siendo el Macizo V el que mejores características posee y quedando aún alguna duda acerca de la validez del Macizo VII.

- En el Macizo V se ha determinado un tramo de pizarras de 16 m de espesor y 80 m de continuidad lateral mínima con buenas características litológicas y fracturación poco densa, en general. Este macizo sería el más indicado para la apertura de un frente experimental.

- En el Macizo II aparece un tramo de 13 m de espesor con características litológicas y estructurales favorables para la explotación, aunque no se conoce con seguridad la continuidad del mismo dentro del macizo y, por otro lado, tampoco llega a aflorar en superficie, pudiendo suponerse un costo elevado para llegar a ponerlo al descubierto. No obstante, existe un nivel válido más superficial con un espesor de 1,20 m sobre el que podría plantearse la apertura de un pequeño frente experimental.

- También en el Macizo VII existe un tramo de 13 m de espesor con litología de calidad que ha sido cortado por el sondeo S-7 a partir de los 8 m de profundidad; sin embargo, aparte de no conocerse su continuidad lateral, presenta una fracturación algo más densa de lo deseable. Por este motivo, convendría confirmar o no sus posibilidades de explotación con la realización de algún otro sondeo.

- Se recomienda la realización de un estudio directamente en caminado a la implantación de una explotación, considerándose los tres macizos citados y las características y problemas que cada uno presenta. En dicho estudio, podrían llevarse a cabo cartografías a E. 1:500 o mayor, algunos sondeos que permitan llegar a efectuar una cubicación mínima, apertura de frentes experimentales-productivos y el correspondiente análisis económico y de mercado para determinar la viabilidad real de la explotación.

- Hay que dejar claro, para terminar, que, dado el volumen de

las masas de pizarra que se han localizado, las explotaciones que podrían iniciarse serían sólo de mediana entidad. Por otra parte, se insiste en la importancia primordial que tendría para la futura investigación la extracción de bloques y posterior labrado a partir de frentes experimentales productivos, puesto que, además de suministrar datos definitivos en cuanto al rendimiento de la explotación, permitiría una financiación parcial de los trabajos.

7. BIBLIOGRAFIA

ADELL, F.; BALLEÑILLA, A.; BASCONES, L.; GONZALEZ LODEIRO, F.; RODRIGUEZ GONZALEZ, A. y TENA-DAVILA, M. (1982).- Mapa Geológico de España -- E. 1:50.000. 2ª Serie. Hoja 434 (Barahona) I.G.M.E.

ADELL, F.; BASCONES, L.; GONZALEZ-LODEIRO, F.; LA MONEDA, E.; MARTINEZ - ALVAREZ, F.; RODRIGUEZ GONZALEZ, A. y TENA-DAVILA, M.

- (1981).- Mapa Geológico de España E. 1:50.000. 2ª Serie. Hoja 460 - (Hiendelaencina) I.G.M.E.

- (1982).- Mapa Geológico de España E. 1:50.000. 2ª Serie. Hoja 433 - (Atienza). I.G.M.E.

BARROS, J.C.; CASTAÑO, M.; HACAR, M.; LOMBARDEO, M. y OLMO SANZ, A. - del (1985).- Metodología de investigación de los yacimientos de pizarras para cubiertas.

Cuad. Lab. Xeol. Laxe, 10, 429-444

BROWN, E.T. (Edt.) (1978).- Rock Characterization Testing and Monitoring. ISRM Suggested Methods
Pergamon Press

CAPOTE, R.; CASQUET, C. y FERNANDEZ CASALS, M.J. (1981).- Los grandes - complejos estructurales del Sistema Central: Modelo de evolución - tectonometamórfica.

Rev. Real Ac. Cien. Exac. Fis. Nat., 76 (2), 313-331

CASTAING, C. y RABU, D. (1981).- Apports de la géologie à la recherche - et à l'exploitation des pierres de taille (roches ornamentales et - de construction).

Bull. du B.R.G.M. (2ème série) III (1), 81-97

- CURRIE, J.B. y REIK, G.A. (1977).- A method of distinguishing regional di_{rections} of jointing and of identifying joint sets associated with - individual geologic structures.
Canad. Jour. Earth Sci., 14 (6), 1211-1228
- ENGELDER, T.; (1985).- Loading paths to joint propagation during a tecto_{nic} cycle: an example from the Appalachian Plateau, U.S.A.
Jour. Struct. Geol., 7 (3/4), 459-476
- FRESNO, F.; MORAL, J. del y RAMIREZ MORA, F.
- (1979 a).- Localización y estudio de explotaciones de pizarras en la zona Centro.
Fondo Documental del I.G.M.E.
 - (1979 b).- Ensayos tecnológicos y aplicaciones industriales de las pi_{zarras} de la Zona Centro.
Fondo Documental del I.G.M.E.
- GONZALEZ LODEIRO, F. (1981).- Estudio geológico estructural de la terminación oriental de la Sierra de Guadarrama (Sistema Central Español).
Tesis Doctoral, Univ. Salamanca.
- HANCOCK, P.L. (1985).- Brittle microtectonics: principles and practice.
Jour. Struct. Geol., 7(3/4), 437-457
- LE CORRE, C. (1970).- Bases methodologiques pour la recherche ardoisière dans le Massif Armoricaín.
Bull. Soc. Géol. Minéral. Bretagne, C, II (2), 73-87

LOMBARDERO, M.; MARTIN PARRA, L.M.; PABLO, J. de; RUBIO, V. y VILLASANTE, R. (1986).- Exploración y caracterización de pizarras ornamentales en el Sistema Central (Provincias de Madrid, Guadalajara y Segovia). 1ª Fase.

Fondo Documental del I.G.M.E.

PRICE, N.J. (1966).- Fault and joint development in brittle and semi-brittle rock.

Pergamon Press, London, 176 pp.

RECHES, Z. (1976).- Analysis of joints in two monoclines in Israel.

Geol. Soc. Am. Bull., 87 , 1654-1662