



Caracterización geomecánica y análisis paramétrico del deslizamiento de San Martiño (Lugo)

Geomechanical characterization and parametric analysis of the San Martiño landslide (Lugo, Spain)

MARTINEZ-ALEGRIA, R.; CUESTA, J. y BLANCO, M.

El objetivo principal de este trabajo ha sido la determinación de los parámetros resistentes (C' y φ') que actuaron sobre la superficie de deslizamiento en el momento de iniciarse el movimiento.

Una vez caracterizado geomecánicamente el macizo rocoso se determinaron las cuatro familias de discontinuidades capaces de generar combinaciones inestables. Comparando métodos empíricos y analíticos se llega a valores de cohesión y ángulo de rozamiento (C' y φ').

Palabras clave: deslizamiento, cuña, análisis retrospectivo, parámetros resistentes, mineralogía.

The aim of this lecture is the determination of the shear strength parameters (C' and φ') that had an impact on the Landslide surface when the movement starts. Once the rock mass was characterized, we determined the four families of discontinuities capable of unstable geometric combinations.

Checking the empiric failure criteriums and an analytic method, we obtained a reliable value of the C' and φ' .

Key words: landslide, wedge, back analysis, shear strength parameters, mineralogy.

INTRODUCCION

El deslizamiento estudiado se sitúa en la provincia de Lugo entre las localidades de A Rua y Montefurado.

Por otro lado, del análisis fotogeológico con pares estereoscópicos a escala 1:4000 se han deducido una serie de rasgos morfológicos indicativos de fenómenos de inestabilidad de laderas, como pueden ser escarpes, deflecciones, etc.

Partiendo de estos datos se efectuó un análisis de la masa deslizada y zonas colindantes a fin de poder clasificar en primer lugar, el tipo de movimiento, y deducir las condiciones hidráulicas actuantes para posteriormente evaluar por diferentes métodos los parámetros resistentes bajo los cuales se produjo la rotura.

Se han utilizado, por un lado, los criterios de rotura empíricos de Barton y Choubey, a partir de los cuales se define una curva de rotura del tipo Mohr-Coulomb. Por otro lado, y sobre testigos de diaclasas, se han realizado ensayos de corte directo, y por último, sobre una superficie de rotura definida, se hizo un análisis retrospectivo (back analysis) con el que se ha definido la envolvente de parámetros resistentes para los que la ladera estaba en condiciones de equilibrio límite.

ENTORNO GEOGRAFICO

Fisiografía

La zona estudiada se sitúa en una región de acusada orografía en la que destacan las estribaciones de la Sierra de O Caurel por el Norte y al Sur las sierras del Eixo y Moa. Estando separadas por los valles de Quiroga y Valdeorras de dirección E-O.

Característica destacada es el profundo encajamiento de la red hidrográfica, sobre todo el río Sil, factor este que contribuye al desarrollo de fenómenos de inestabilidad.

Clima

Desde un punto de vista climático, esta zona se caracteriza por estar afectada por un clima mediterráneo templado con un carácter de relativa continentalidad.

Los valores registrados de la oscilación térmica anual son del orden de los 15°, con veranos calurosos e inviernos con pocas heladas. El índice pluviométrico de esta región es de 1150 mm anuales, distribuidos fundamentalmente de Octubre a Mayo, siendo los meses más lluviosos Diciembre y Marzo, y el más seco Julio.

Vegetación

La cobertura vegetal es discontinua con frecuentes afloramientos de macizos rocosos, estando constituida principalmente por matorral de tipo jara y brezo, y ocasionalmente gramíneas aprovechadas como pastizales.

Los fondos de valle incluyen cultivos como el viñedo o pequeñas huertas dedicadas a otros cultivos.

DESCRIPCION GEOLOGICA

Dentro de la zonación formulada por Lotze (1945) para el Macizo Hespérico, este área se encuadra en la zona Asturoccidental-Leonesa, dentro del dominio Courel-Truchas (MARCOS, A. 1973).

El dominio de O Caurel-Truchas, se caracteriza por tener un Ordovícico más potente que el dominio de Mondoñedo. Estructuralmente esta zona se sitúa en el anticlinal tumbado del Caurel.

Desde el punto de vista del metamorfismo y plutonismo, se caracteriza por la escasa presencia de granitoides y bajo grado de metamorfismo. El deslizamiento estudiado se desarrolla sobre una de estas manifestaciones ígneas, correspondiente a una apófisis del granito de A Rua.

En el entorno del deslizamiento se diferencian claramente dos litologías, por un lado y en la cabecera del movimiento, se distingue una serie de esquistos con intercalaciones de algún nivel de cuarcita pertenecientes a la formación de Pizarras de Luarca.

Por otro, la gran masa movilizada está constituida por material granítico perteneciente a una opófisis del granito de A Rua.

Estudio Petrográfico y Mineralógico

El estudio petrográfico y mineralógico se realizó sobre seis muestras seleccionadas de los testigos de distintos sondeos, correspondientes según al descripción de campo a:

G-1.—Granito sano con escasa fracturación, formado esencialmente por cuarzo, ortosa y moscovita con granos grandes cementados por otros más finos.

G-2.—Granito muy fracturado con alto grado de alteración, destacando los cuarzos, feldespatos de color blanquecino y laminillas de moscovita.

G-3.—Granito poco alterado de color amarillento.

G-4.—Granito sano en el que destacan los cuarzos, feldespatos y micas blancas y negras.

G-5.—Cuarcita brechificada y esquistos de color gris amarillento.

G-6.—Esquistos fracturados de color gris destacando la presencia de cuarzo en granos de gran tamaño, moscovita, sulfuros y óxidos.

Para el estudio mineralógico se utilizó la técnica de difracción de Rayos X (DRX). Obteniéndose los diagramas de las 6 muestras entre 3° y 60° de 2 θ , tratando con ello de reconocer los minerales presentes. Tras la interpretación de los diafractogramas se observó que las muestras G-2, G-3 y G-4 estaban constituidas esencialmente por los mismos minerales, prácticamente en las mismas proporciones. Como se puede ver en la figu-

ra 3, mayoritariamente aparecen Cuarzo, Moscovita, Feldespatos potásicos (Microclina) y Plagioclasas (Albita).

En las muestras G-1 y G-5 se detectan como componentes mayoritarios el Cuarzo y la Moscovita. Hay que destacar que en la muestra G-5, la Moscovita está presente en menor cantidad debido a que esencialmente esa muestra es Cuarcita.

La muestra G-6, considerada como un esquisto, está compuesta esencialmente por Cuarzo y Turmalina (Dravita), detectándose así mismo la presencia de Moscovita.

El estudio petrográfico de las muestras confirma los datos obtenidos con los difractogramas, observándose además la presencia de minerales accesorios no detectados en los diagramas de Rayos X.

La muestra G-1 presenta una textura heterogranular alotriomorfa de grano grueso (Fot. 1). Como minerales esenciales aparecen Cuarzo, Plagioclasas, principalmente Albita (pobre en Ca), Feldespatos potásicos y Moscovita; como minerales accesorios aparecen Granate y Apatito. Se aprecian algunas microfracturas en los granos.

El Cuarzo se presenta con extinción ondulante y bordes suturados y/o indentados y la Moscovita aparece deformada con los planos de exfoliación (010) doblados, dando extinción ondulante. Hay que destacar la presencia abundante de Carbonatos, así como una incipiente alteración hidrotermal.

Las muestras G-2, G-3 y G-4 son básicamente iguales tal y como se había detectado a partir de sus diagramas de Rayos X, apreciándose una mayor alteración meteórica en la muestra G-3.

La textura es alotriomorfa heterogranular de grano medio (Fot. 2). Como minerales esenciales aparecen Cuarzo, Plagioclasas, Feldespatos potásicos (Microclina) y Moscovita secundaria; y como accesorios, Granate (Fot. 3) en mayor abundancia que en G-1, Sericita, Clorita, Circón y Esfena.

La muestra G-2 es una roca deformada, ya que las maclas de las Plagioclasas aparecen dobladas o rotas. El Granate aparece in-

cluido en Plagioclasas o Cuarzo. Este último puede corroer a los minerales anteriores en su formación como las Plagioclasas.

Se aprecian fenómenos de reacción entre el Feldespato potásico y las Plagioclasas, apareciendo pseudomorfos constituidos por Moscovita o Sericita de origen incierto (podrían ser debidos a silicatos de aluminio). La Moscovita aparece con extinción ondulante y el plano 010 deformado.

Se observa un grado de recristalización apreciable ya que los bordes de los Cuarzos son indentados o suturados, apareciendo con extinción ondulante, así mismo se aprecian microfracturas intragranulares con presencia de Circones.

En la muestra G-3 las Micas aparecen bastante más deformadas que en las otras dos muestras, siendo su estado de meteorización mayor, apreciándose muchas microfracturas que traspasan los límites de los granos.

La muestra G-4 tiene algo más de Clorita, Biotita (no apreciada en las muestras anteriores) y Granate. La Plagioclasa está poco alterada y las Micas aparecen deformadas y con extinción ondulante (Fot. 4) al igual que el Cuarzo, que desarrolla una labor corrosiva sobre minerales anteriores ya que sus bordes son suturados. Aparecen microfracturas que quedan limitadas a los propios granos.

Como accesorio, la Esfena-Leucoxeno asociado a Clorita pueden aparecer como alteración de la Biotita. En esta muestra hay pocos Carbonatos, estos probablemente sustituyen al Granate ya que crecen encima de él. Aparecen así mismo pseudomorfos como en las muestras anteriores.

Estas cuatro muestras se pueden considerar Granitos-Leucogranodioritas, ya que son rocas claras que tienen esencialmente Moscovita (en lugar de Biotita) y Plagioclasas pobres en calcio, corresponderían a Granitos Sincinemáticos o, según la clasificación de Capdevila (1969), Capdevila *et alers.* (1970, 1973), al tipo G-2.

La muestra G-5, es una Cuarcita forma-

da por venas holocuaríticas algo abudnadas con tamaño de grano diferente y extinción ligeramente ondulante. Las venas de grano grueso están flanqueadas por zonas de grano más pequeño, apareciendo los Cuarzos morfológicamente orientados y asociados con micas blancas de muy pequeño tamaño (Fot. 5). El tránsito entre las venas de Cuarzo y los niveles de grano más fino es neto y brusco, ocasionalmente este límite puede tener un enriquecimiento supletorio de micas finas.

La muestra G-6 es un esquisto formado esencialmente por Cuarzo y Turmalinas (Fot. 6), (que son tardías ya que engloban a cristales anteriores), con presencia de micas blancas. Tiene minerales opacos en abundancia (pirita o clacopirita), tanto dentro de la vena de Cuarzo como en la de Turmalina, existiendo niveles en donde el contenido en opacos es mayor. Como accesorios aparecen principalmente Carbonatos y Clorita. Presenta grandes microfracturas que atraviesan varios granos.

La Moscovita está intercalada con la Turmalina, cuyos cristales marcan una esquistosidad pero son postcinemáticos ya que no están deformados, algunos cristales de Turmalinas se encuentran formando arcos poligonales señalando las charnelas de micropliegues. Así mismo, se observa una microfalla dúctil que podría ser anterior a la formación de la Turmalina ya que esta no se encuentra deformada.

A escala macroscópica, el macizo granítico de color blanco en roca fresca, se encuentra teñido de color ocre por la lixiviación de Biotitas, Feldespatos y Plagioclasas. Con respecto a la alteración meteórica, esta adquiere un especial desarrollo en las zonas de discontinuidades.

Tectónica y Estructura

Con carácter general el conjunto de discontinuidades que compartimentan el macizo rocoso estudiado son el resultado de la

actuación de la orogenia Hercínica en sus diferentes fases.

Sin embargo la configuración del valle actual está asociada a un rejuogo, como falla normal durante la orogenia Alpídica, de la falla del Sil.

Durante el Cuaternario es observable en la zona una variación del nivel de base de los ríos, asociado probablemente a movimientos isostáticos activos. No obstante, esta es una zona de sismicidad baja con intensidades de grado V en la escala MSK, no siendo necesario considerar aceleraciones sísmicas en los cálculos de estabilidad.

Se han representado en un diagrama polar las orientaciones de diaclasas en granitos y esquistos, así como los planos de estratificación de estos últimos. A partir de estas proyecciones se ha realizado un diagrama estadístico (Fig. 5) en el que se definen las zonas representativas en porcentajes sobre el número total de discontinuidades.

Siendo las familias más representativas las siguientes:

Discontinuidades en granito:

	Dirección	Buzamiento
FAMILIA 1 (F.1)	335	85
FAMILIA 2 (F.2)	255	40
FAMILIA 3 (F.3)	70	65
FAMILIA 4 (F.4)	65	20

Discontinuidades en Esquistos:

	Dirección	Buzamiento
ESTRATIFICACION	80	50
FAMILIA 1 (F.1)	335	70
FAMILIA 2 (F.2)	280	55
FAMILIA 3 (F.3)	280	85
FAMILIA 4 (F.4)	160	65

Geomorfología

El rasgo morfológico más característico lo constituye el valle del Sil profundamente encajado y que cruza el conjunto del área estudiado de E a O describiendo una serie de meandros muy cerrados.

El deslizamiento de San Martiño se ubica en una ladera orientada al O en la margen cóncava de uno de estos meandros, donde el ataque erosivo del río es máximo y por lo tanto en disposición favorable para el desarrollo de fenómenos de inestabilidad.

De la observación estereoscópica de la ladera y el análisis de la topografía (Fig. 2), es posible deducir un gran deslizamiento, actualmente fósil, que comprendería los materiales recientemente movilizados. El escarpe que delimita este deslizamiento está conformado por superficies planares concordantes con las obtenidas en el censado de discontinuidades.

Tipología del deslizamiento

A la hora de clasificar un movimiento y siguiendo los criterios establecidos por Varnes (1978), se deben de definir: el tipo de material afectado, la magnitud y orientación del movimiento y la geometría de la superficie de rotura.

El tipo de material afectado es principalmente un macizo granítico con una pequeña proporción de rocas esquistosas en cabecera.

La magnitud y orientación del movimiento han sido obtenidas a partir de 8 dianas de puntería y dos hitos mediante observaciones topográficas periódicas. Pudiendo observarse una gran concordancia en la orientación y sentido del movimiento hacia el SSO. No ocurre lo mismo con las magnitudes de los desplazamientos, así durante los meses de Abril y Mayo se han medido desplazamientos comprendidos entre 4,5 y 12 mm. (Fig. 12).

De la comparación entre el conjunto de

discontinuidades en la zona movida e «in situ» se deduce además que no hubo giros ni cambios de orientación en las mismas por lo que cabe suponer que el movimiento fue únicamente traslacional.

La geometría de la superficie de rotura ha sido deducida a partir del conjunto de diaclasas. En primer lugar se representaron en planos acotados el conjunto de discontinuidades capaces de originar la rotura. Con origen en el borde externo cartografiado y en el escarpe observado en la foto aérea se han podido deducir dos superficies de deslizamiento similares, comprobadas en los sondeos por variaciones en el estado de alteración, por aumentos locales en la intensidad de fracturación y variaciones bruscas en la permeabilidad del macizo.

Con todos estos datos se configuran dos superficies de deslizamiento, una cortical y otra más profunda, ambas con forma de cuña muy lateral y con salida hacia el S.SO.

Los planos que determinan las cuñas son los siguientes:

Granitos:	F.1 y F.2
Esquistos:	F.2 y F.4 F.1 y F.2

CARACTERIZACION GEOMECHANICA

Criterio de Rotura de Bieniawski

Este método estima unos valores de cohesión y ángulo de rozamiento en función de índice RMR del macizo rocoso y en el se contemplan los siguientes parámetros: Resistencia a compresión simple de la roca matriz (Ru), índice de RQD, separación entre las diaclasas y estado de alteración de las mismas.

Granito	Clase RMR	C'	φ'
Zona deslizada	III-IV	1-3 kp/cm ²	20° a 30°
In situ	II	3-4 kp/cm ²	35° a 45°
Esquistos	III-IV	1-3 kp/cm ²	20° a 30°

Criterio de Rotura de Barton y Choubey

Este método, fundamentado en la hipótesis de una rotura de tipo Mohr-Coulomb, supone que la resistencia al esfuerzo cortante (τ_n) en la junta está relacionada con la rugosidad de la misma (JRC) a partir de unos perfiles de rugosidad tipo, con la resistencia a la compresión simple en las paredes (JCS) estimada a partir del rebote elástico del martillo Schmidt y con el ángulo de rozamiento básico (φ_b).

La expresión de cálculo es la siguiente:

$$\tau_n = \sigma_n \cdot \text{Tan JRC} \cdot \text{Log}_{10} \frac{\text{JCS}}{\sigma_n} + \varphi_b$$

Las leyes de rotura obtenidas para las familias de juntas más representativas se presentan en las figuras n.º 10 y 11, así como los valores obtenidos.

Ensayos de Corte Directo

Sobre tres diaclasas representativas del macizo granítico se realizaron ensayos de corte directo con las muestras saturadas y tres escalones de carga. Del análisis de las gráficas de Tensión Tangencial y Desplazamiento se han obtenido los siguientes valores de parámetros resistentes de pico y residual.

	c'_p (kp/cm ²)	φ'_p	C'_r (kp/cm ²)	φ'_r
M-1 (JRC-10)	1	44°	0	37,5°
M-2 (JRC-8)	0,7	37°	0	24°
M-3 (JRC-12)	0,2	30°	--	25°

En la muestra M-3 no se diferencian con claridad los parámetros de pico y residual, lo cual podría ser explicable dada su proximidad a una de las superficies de deslizamiento deducidas y que implicaría que esta zona estaría funcionando con parámetros próximos a los residuales.

Análisis retrospectivo

Fundamentado en las teorías del equilibrio límite, las cuales suponen que el coeficiente de seguridad en el momento de iniciarse el movimiento era igual a la unidad.

El método de cálculo elegido ha sido el propuesto por Hoek y Bray (1977) para análisis de cuñas, compilado en el programa de ordenador INESTA.

La cuña analizada la constituyen los planos 255/40 y 355/85, situándose la grieta de tracción a 300/33. La orientación del plano de talud considerada han sido 285/75.

Con estos datos se ha definido una envolvente de valores de los parámetros resistentes (Fig. 13) para los que la ladera está en equilibrio estricto $F = 1$, comprendiendo las condiciones hidráulicas extremas, talud seco y talud saturado.

Discusión de resultados

De la comparación entre la envolvente de valores de resistencia al esfuerzo cortante obtenidos por análisis retrospectivo con las de métodos empíricos y analíticos se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- Los valores de pico obtenidos mediante ensayos de corte directo son coherentes con los definidos por el criterio de rotura de Barton *et al.*
- Los valores de resistencia residual de los ensayos de corte directo se sitúan en el entorno de la envolvente definida por análisis retrospectivo. Si bien este método es estático y no contempla deformaciones, cabe suponer que funciona con los valores de resistencia residual.

- Con el criterio de rotura de Bieniawski se obtienen valores excesivamente altos en cohesión y bajos en rozamiento.
- En el ensayo de corte realizado sobre la M-3 es difícil diferenciar valores de pico y residuales. No obstante la proximidad de esta muestra a la envolvente obtenida da pie a pensar que estos valores son próximos a los residuales. Esto se corrobora con que esta muestra corresponde a la superficie de deslizamiento y ya ha sufrido un desplazamiento con la correspondiente disminución del perfil de rugosidad original.
- Con todos estos datos se puede llegar a afirmar que la envolvente de parámetros resistentes obtenida por análisis retrospectivo corresponde a los valores residuales o próximos a ellos, siendo estos valores los que están actuando sobre la cuña definida puesto que el movimiento ya ha sido iniciado.

De todo ello se deduce que los valores de resistencia actuantes sobre las juntas serían del siguiente orden:

$$\text{cohesión } C' = 0,7 \text{ t/m}^2$$

$$\text{a. rozamiento } \varphi' = 36^\circ$$

AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente trabajo queremos agradecer las facilidades proporcionadas por D. Luis Suárez y D. Carlos Pastor, de Renfe; sin cuya colaboración no habría sido posible la realización del mismo.

Recibido, 26-IV-89
Aceptado, 15-V-89

BIBLIOGRAFIA

- AYALA, F. J. *et al.* (1987). Manual de Taludes. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. 455 pp.
- BARTON, N. R. (1971). A Relationship between Joint Roughness and Joint Shear Strength. Norges Geotekniske Institut. Oslo.
- BIENIAWSKI, Z. T. (1973). Engineering Classification of jointed rock masses. The Civil Engineer in South Africa.
- BIENIAWSKI, Z. T. (1979). The Geomechanics Classification in Rock Engineering Applications. 4 th. Int. Cong. on Rock Mechanism. Montreux, Vol. 2, pp. 41-48.
- CAPDEVILLA, R. (1969). le métamorphisme régional progressif et les granites dans le segment hercynien de Galice Nord Orientale (NW de L'Espagne). Thèse, Univ. de Montpellier, 430 pp.
- CAPDEVILLA, R. y FLOOR, P. (1970). Les differents types de granites hercyniens et leur distribution dans le Nord-Ouest de L'Espagne. Bol. Geol. Min. Vol. LXXX-II-III, pp. 215-225.
- CAPDEVILLA, R., CORRETGE, G. y FLOOR, P. (1973). Les granitoïdes varisques de la Méseta ibérique. Bull. Soc. Geol. France., serie 7, vol. XV, pp. 209-228.
- CONFEDERACION HIDROGRAFICA DEL NORTE (CHNE), (1986). Estudios previos de planificación hidrológica. Recursos Hidráulicos de las Cuencas del Norte de España. Madrid.
- GOMEZ LAA, G. y FOYO MARCOS, A. (1979). An analysis of permeability test «in situ» in Some spanish dams. XIII ICOLD. Nueva Delhi.
- HOEK, E. y BRAY, J. (1977). Rock Slope Engineering. The Institution of Mining and Metallurgy. Londres.
- INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS COMMISSION ON STANDARDIZATION OF LABORATORY AND FIELD TEST, (1978). Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. Gran Bretaña.
- I. G. M. E. (1972) Mapa Hidrogeológico Nacional. Explicación de los mapas de lluvia útil, de reconocimiento hidrogeológico y de síntesis de los sistemas acuíferos. Madrid.
- LOTZE, F. (1945). Zur Gliederung de Varisziden der Iberischen Meseta. Goetekt. Forsch, V. 6. Berlín, pp. 78-92.
- MARCOS, A. (1973). Las series del Paleozoico inferior y la estructura herciniana del occidente de Asturias (NW de España). Trabajos de Geol. Fac. Cienc. Universidad de Oviedo, núm. 6.
- RIOS, J. M. (1983). Geología de España. Libro Jubilar. Tomo I. Madrid, pp. 655.
- VARNES, D. J. (1978). Landslides. Analysis and Control. National Academy of Sciences. Washington D. C.
- ZU-YU CHEN and CHANG-MING SHAO, (1988). Evaluation of minimum factor of safety in slope stability analysis. Canadian Geotechnical Journal. Volume 25, Number 4. Ottawa, Canada, pp. 735-748.

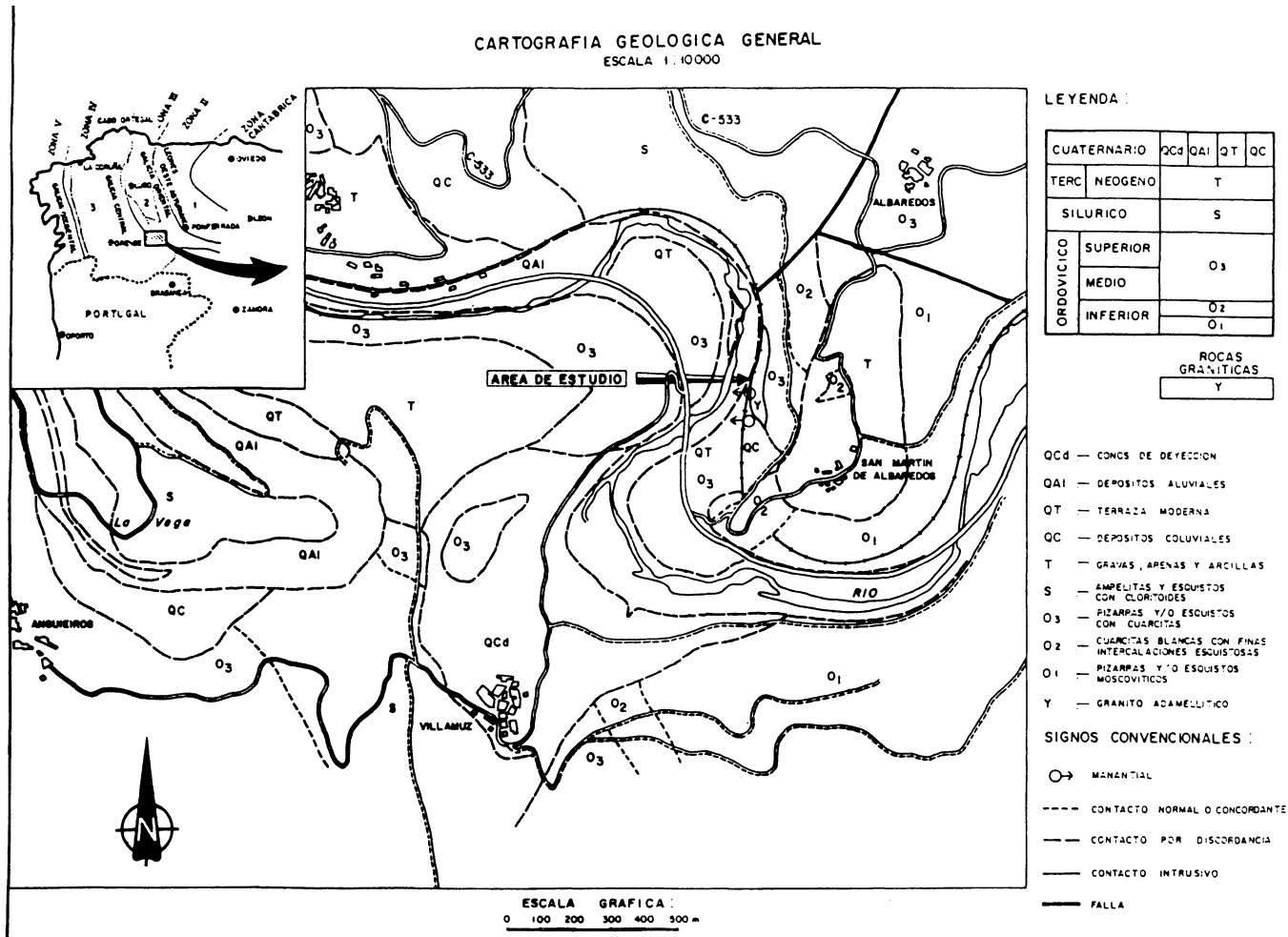


Figura 1

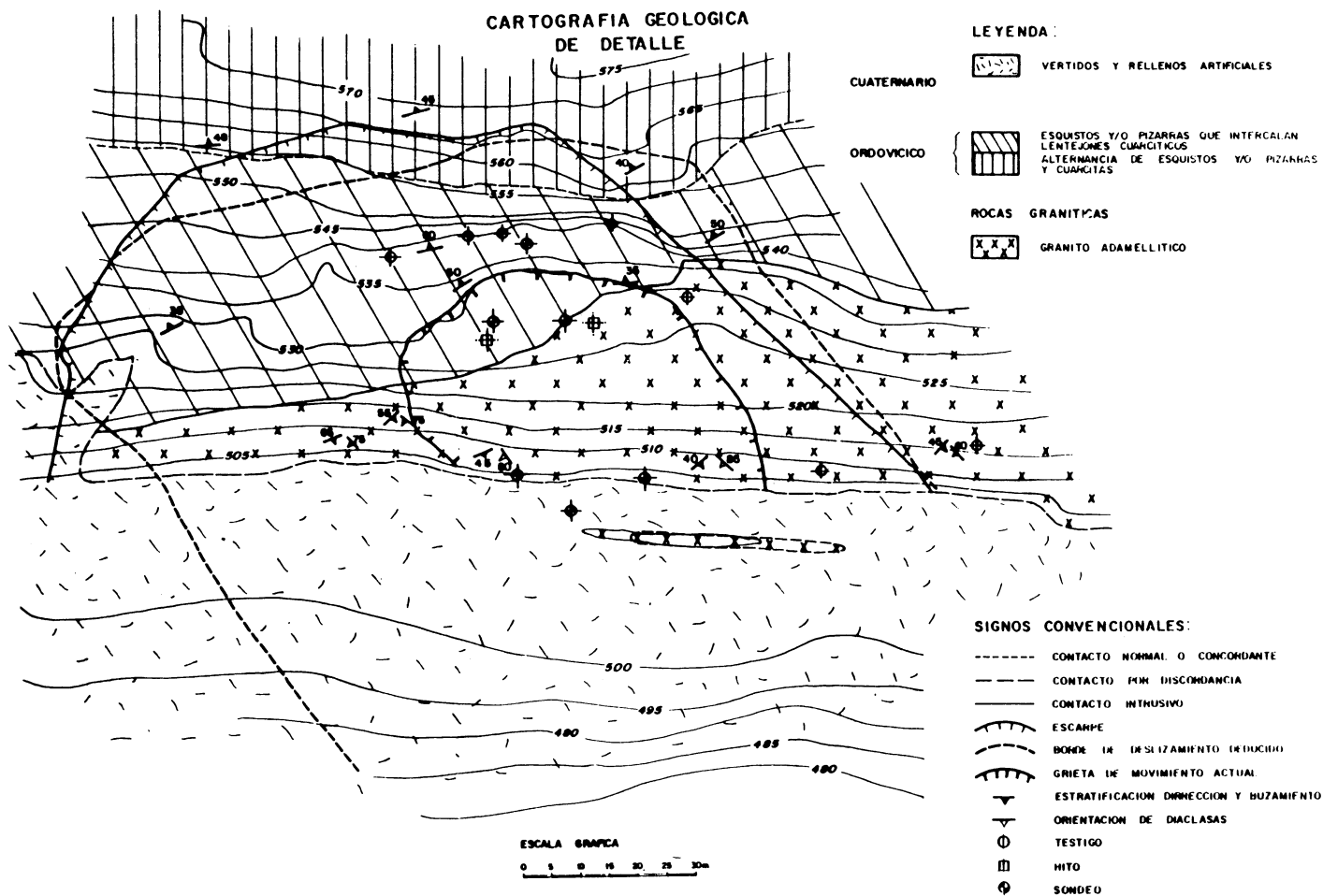


Figura 2

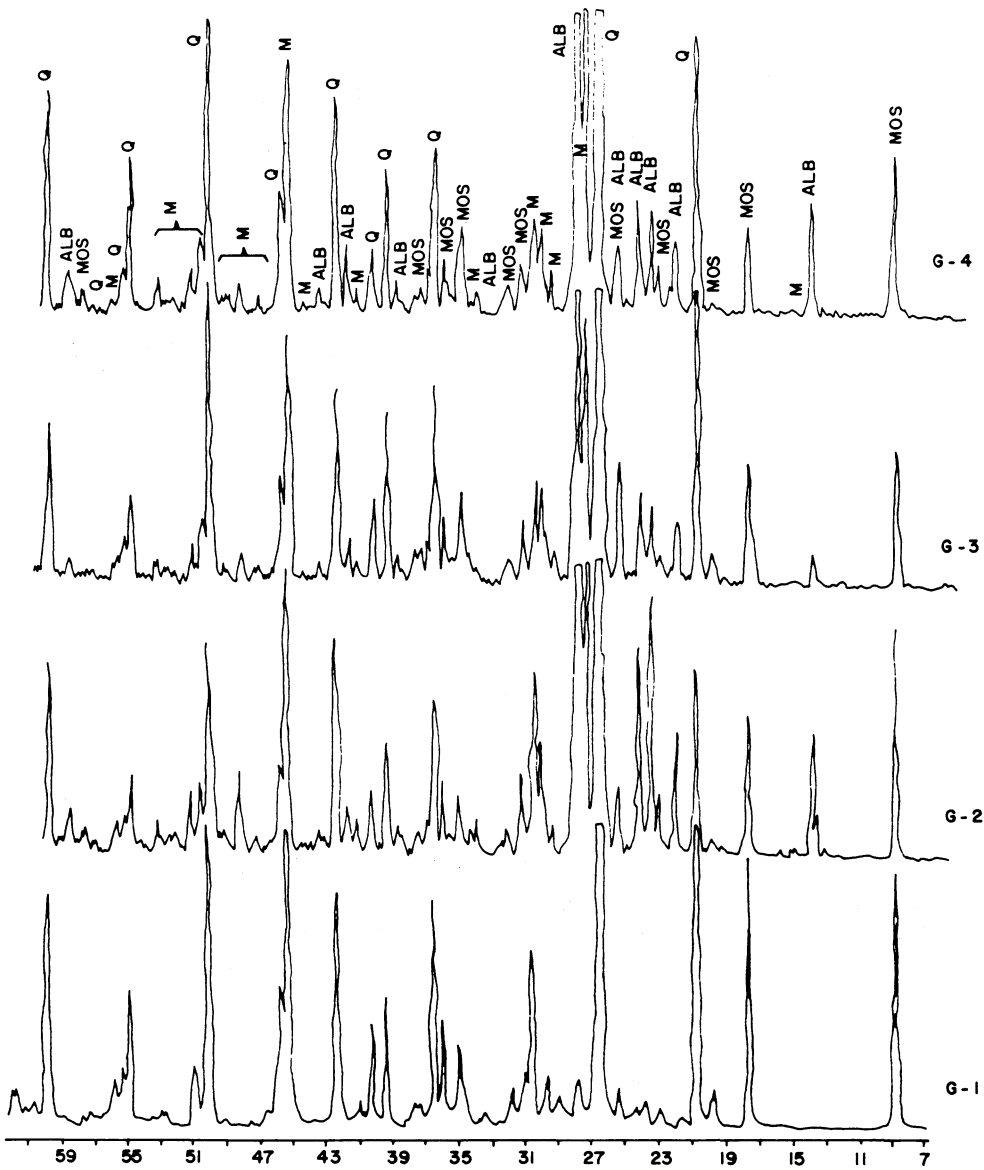


Fig. 3. Diagramas de Rayos X de cuatro muestras de granito.

Q = Cuarzo; MOS = Moscovita; M = Microclina; ALB = Albita.

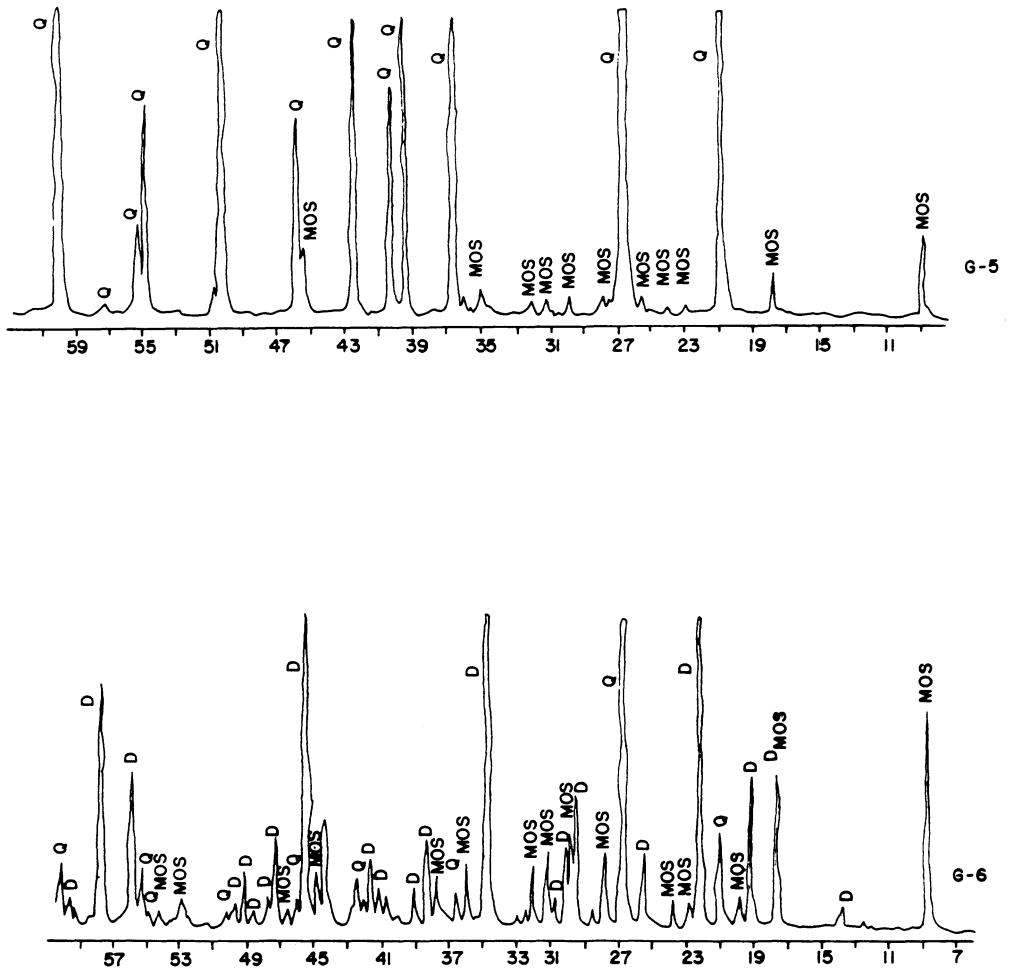


Fig. 4. Diagrama de Rayos X de una muestra de cuarcita G-5 y otra de esquistos G-6.
 Q = Cuarzo; D = Dravita; MOS = Moscovita.

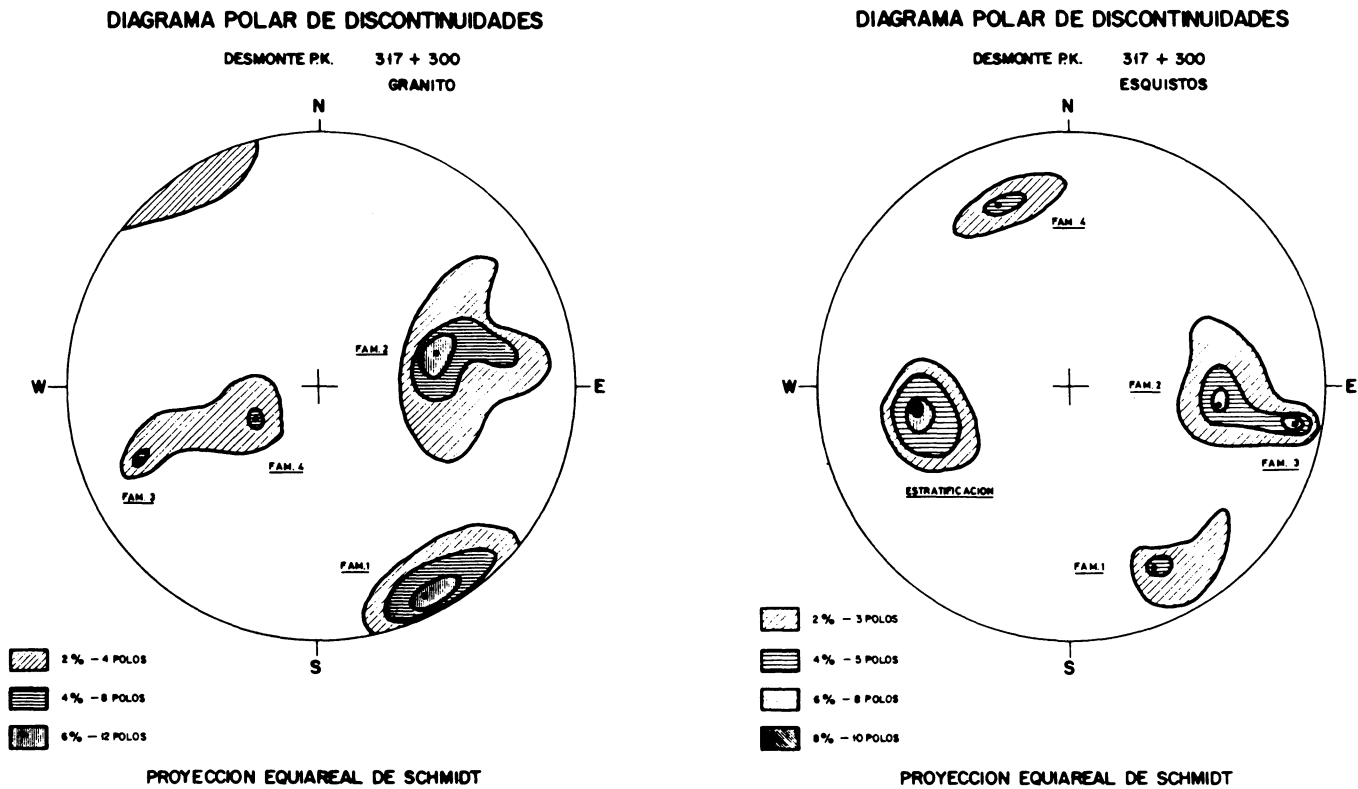
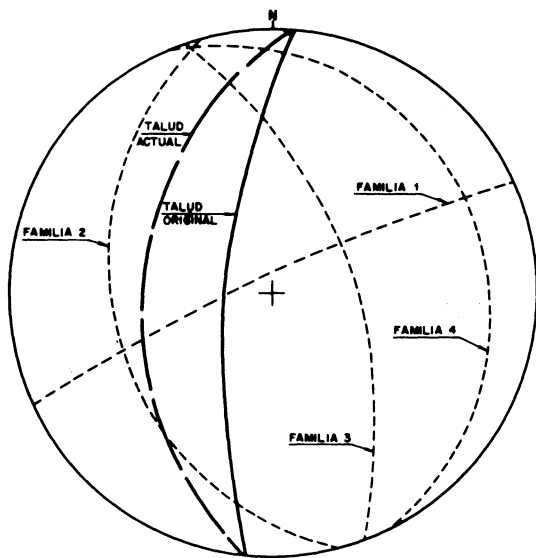


Figura 5

PROYECCION EQUIAREAL DE SCHMIDT PARA DISCONTINUIDADES EN GRANITO



PROYECCION EQUIAREAL DE SCHMIDT PARA DISCONTINUIDADES EN ESQUISTOS

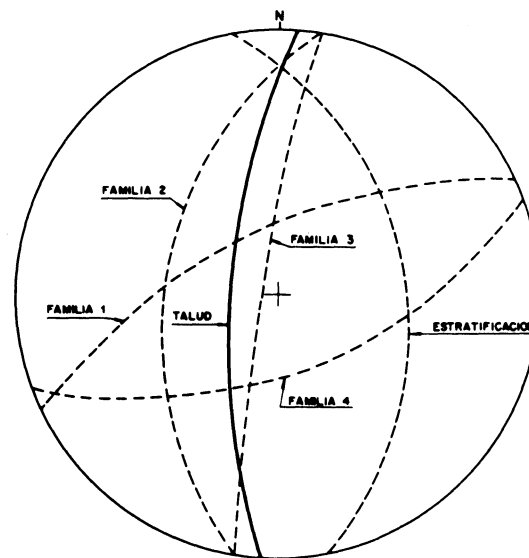


Figura 6

REPRESENTACION ESTADISTICA DE
LOS PARAMETROS JRC y JCS
EN GRANITO

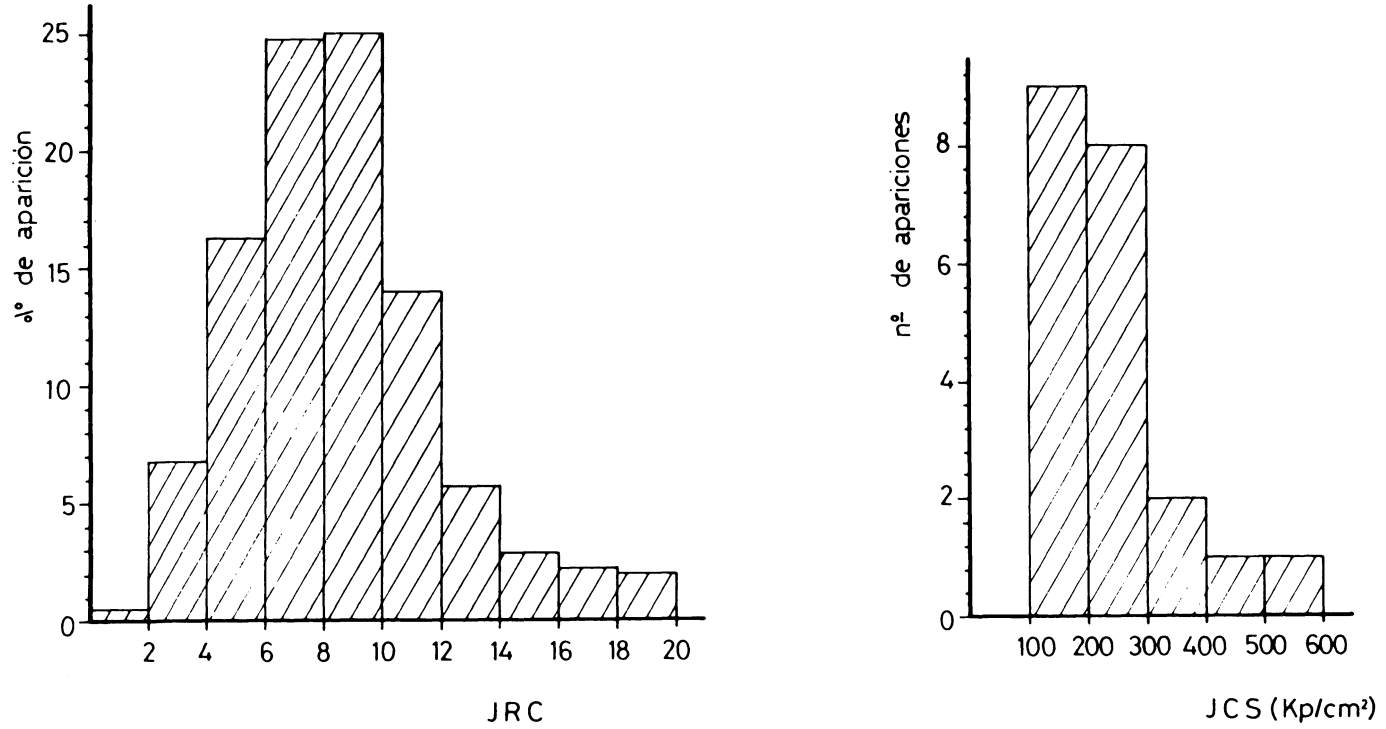


Figura 7

REPRESENTACION ESTADISTICA DE
LOS PARAMETROS JRC y JCS
EN ESQUISTOS

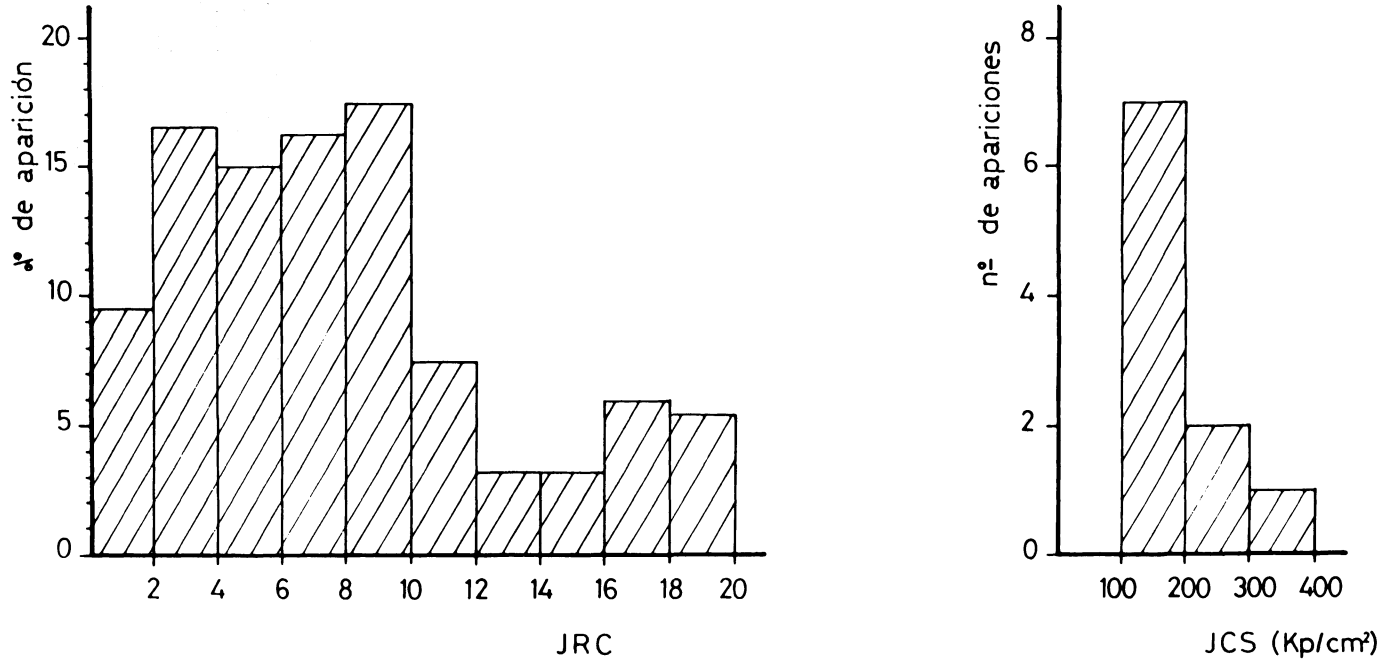


Figura 8

CRITERIO DE ROTURA PARA JUNTAS DE GRANITO
BARTON & CHOUBEY (1977)

$$\tau = \sigma_n \cdot \tan. (JRC \cdot \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) + 30^\circ)$$

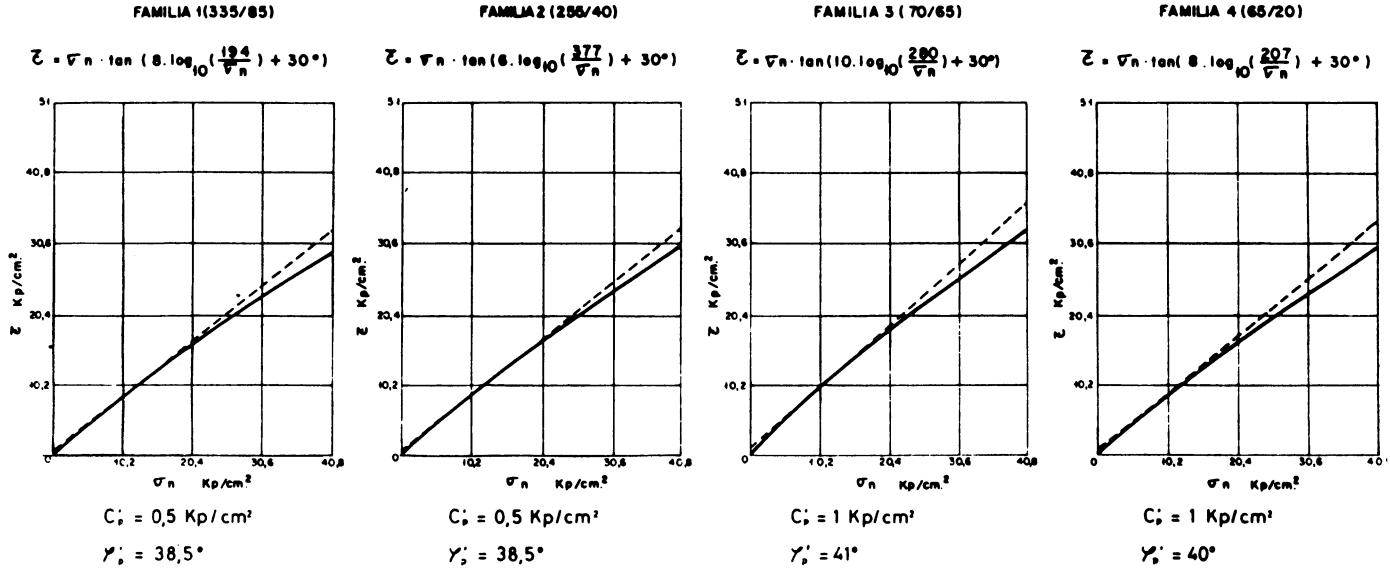


Figura 9

CRITERIO DE ROTURA PARA JUNTAS DE ESQUISTOS
BARTON & CHOUBEY (1977)

$$\tau = \sigma_n \cdot \tan \left(JRC \cdot \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) + 30^\circ \right)$$

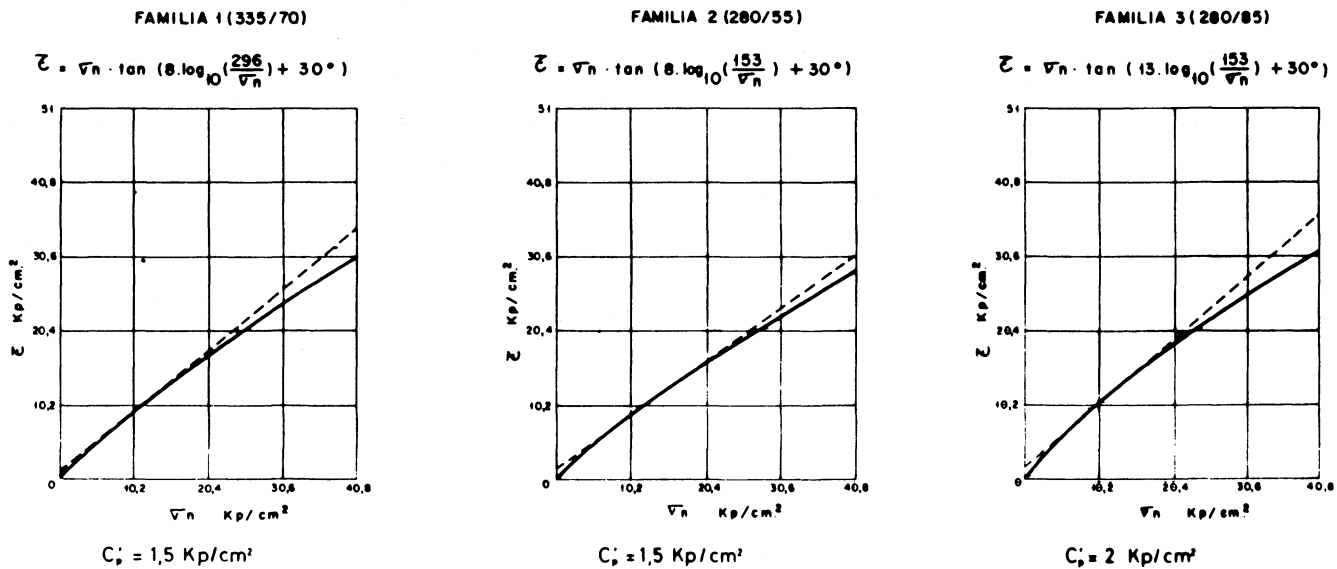


Figura 10

CRITERIO DE ROTURA PARA JUNTAS DE ESQUISTOS
BARTON & CHOUBEY (1977)

$$\tau = \sigma_n \cdot \tan \left(JRC \cdot \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) + 30^\circ \right)$$

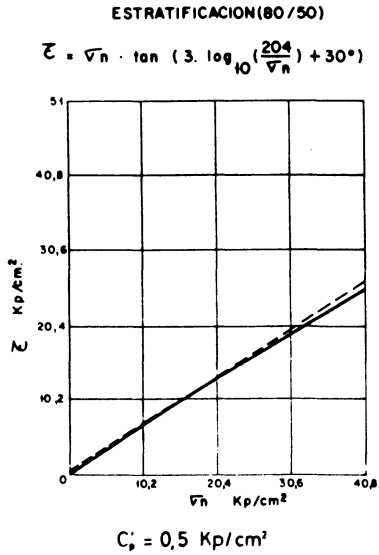
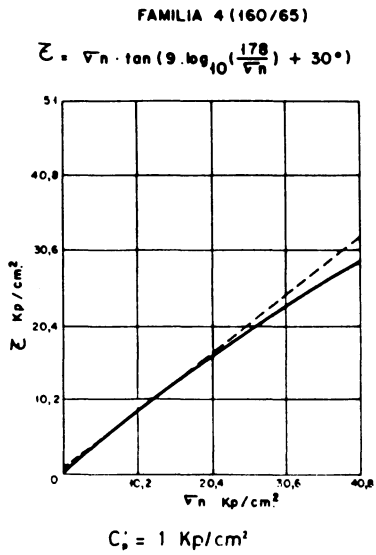
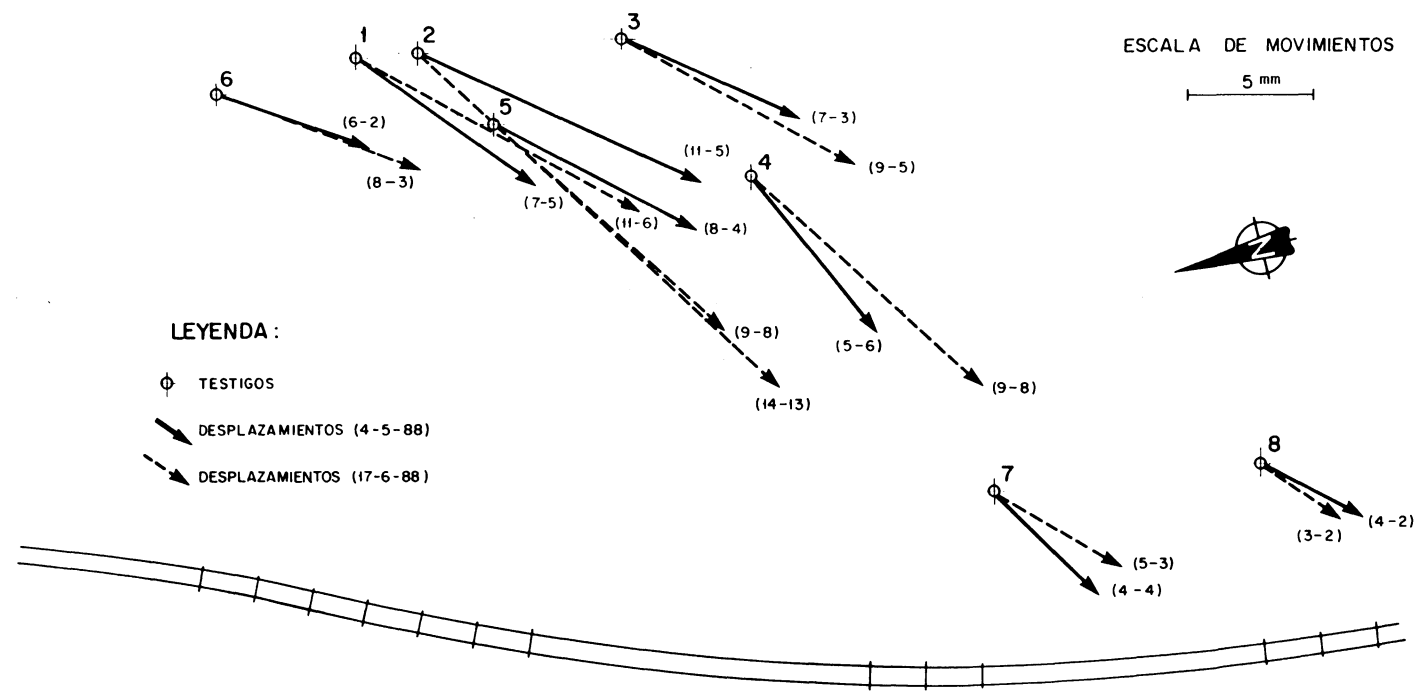


Figura 11

CONTROL TOPOGRAFICO DESPLAZAMIENTO DE LOS TESTIGOS



ENVOLVENTE DE PARAMETROS RESISTENTES

LEYENDA :

- X ENSAYOS DE CORTE DE PICO
- ⊗ ENSAYOS DE CORTE RESIDUALES
- CRITERIO DE ROTURA DE BARTON Y CHOUBEY PARA ESQUITOS
- CRITERIO DE ROTURA DE BARTON Y CHOUBEY PARA GRANITO
- CRITERIO DE ROTURA DE BIENIAWSKI PARA EL DESLIZAMIENTO ACTUAL.

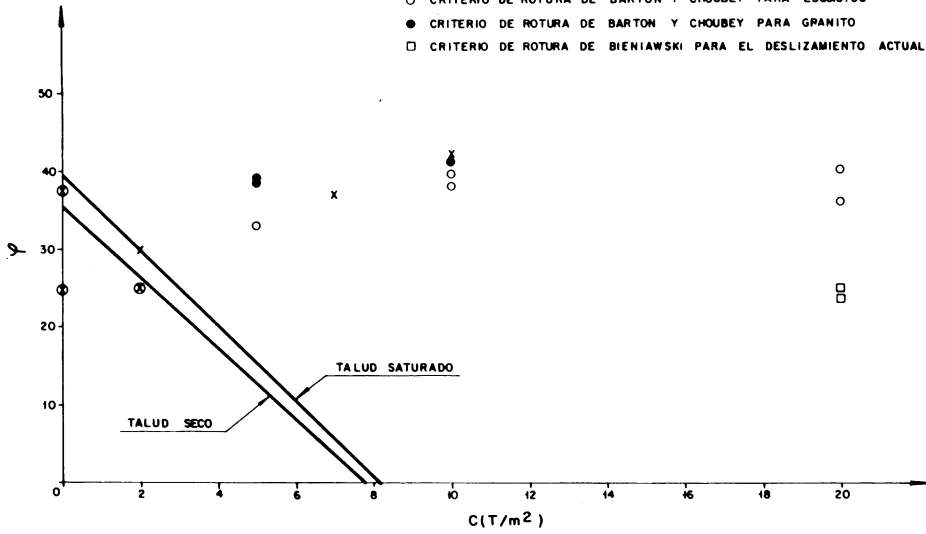


Figura 13

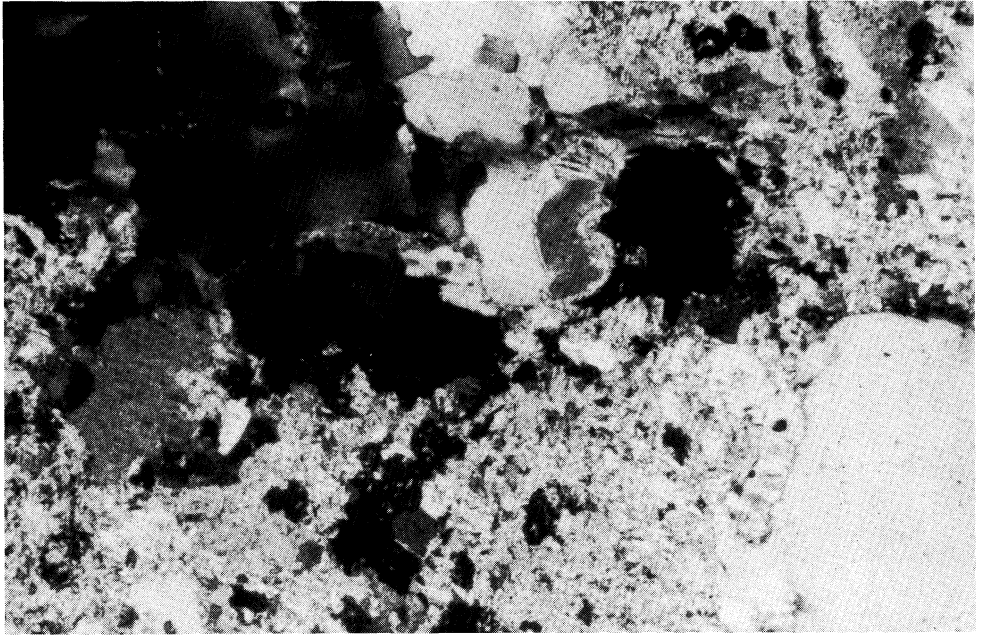


Foto 1. Aspecto textural general de la muestra G-1 (nicoles cruzados).

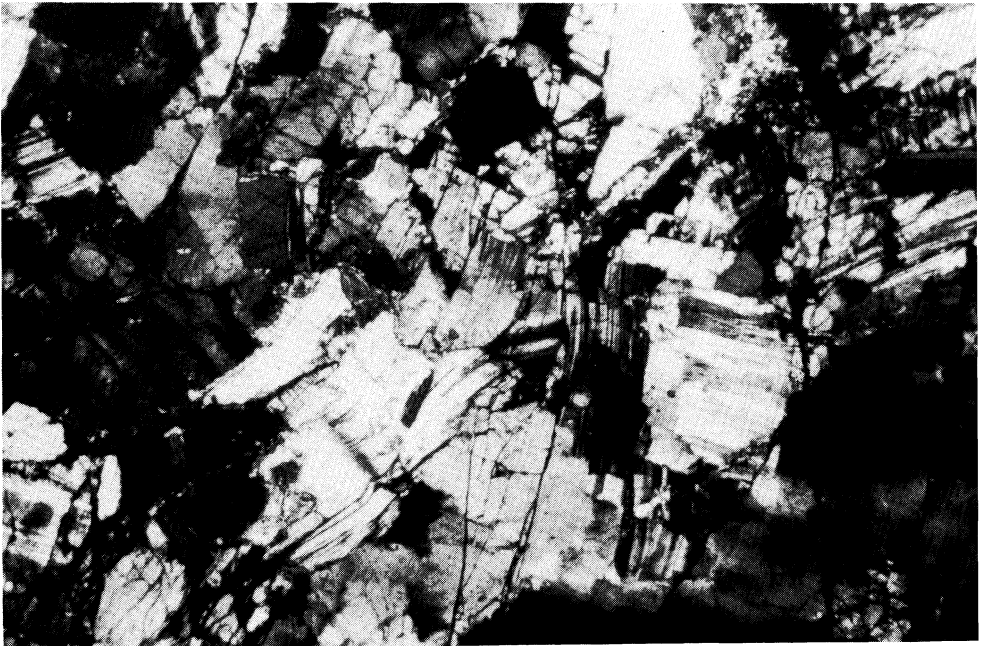


Foto 2. Aspecto textural general con nicoles cruzados de la muestra G-3.

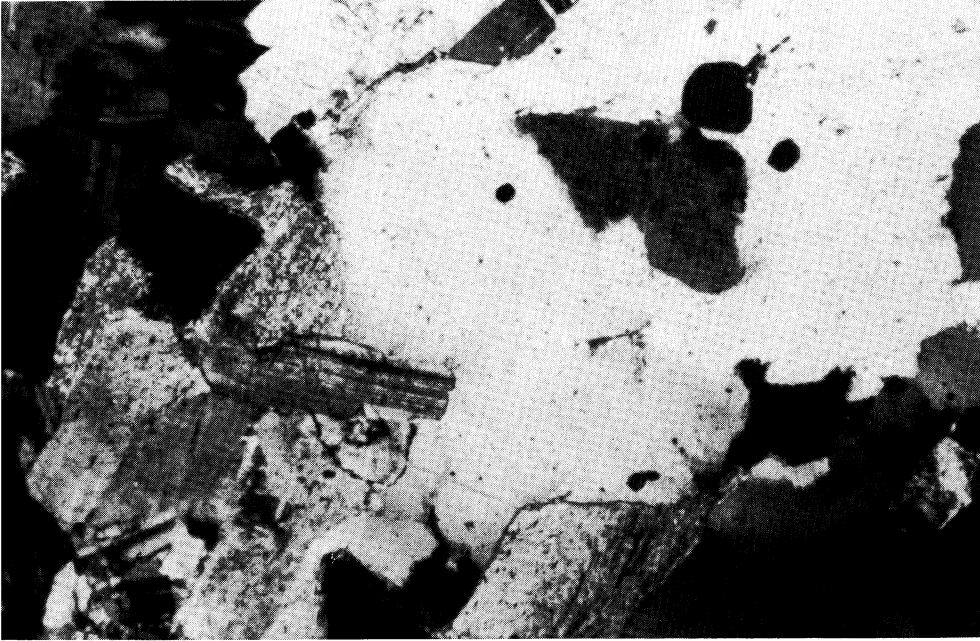


Foto 3. Detalle de la presencia de Granates y Moscovita (nicos cruzados) en la muestra G-2.

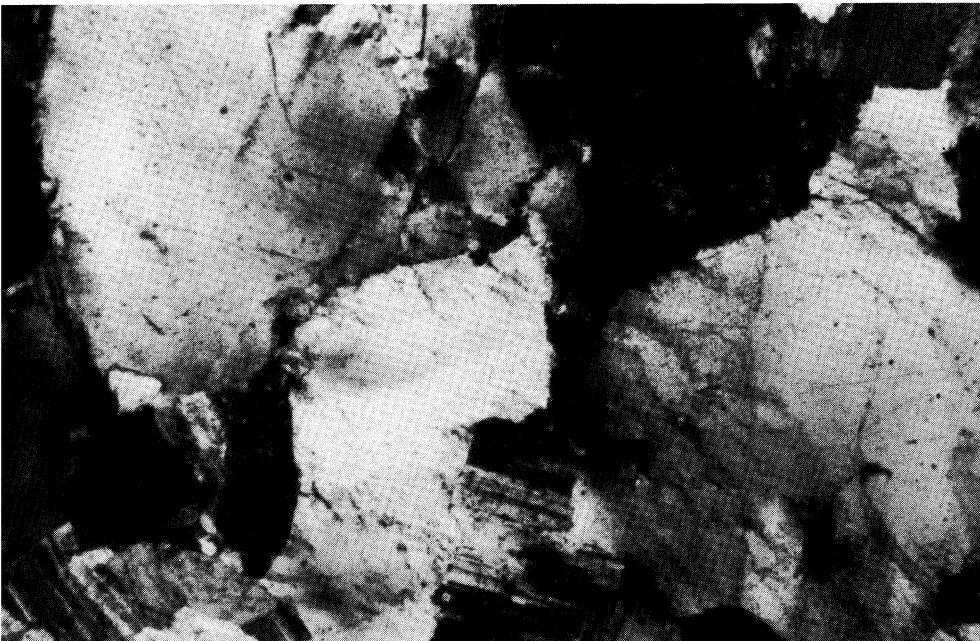


Foto 4. Detalle de la deformación de las micas (nicos cruzados). Muestra G-4.

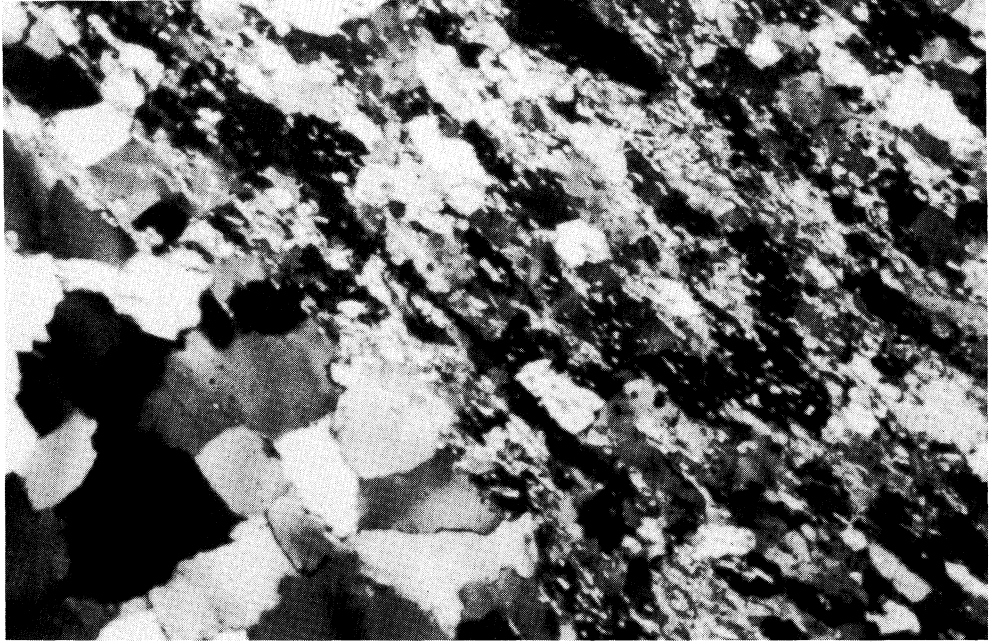


Foto 5. Aspecto textural general de la muestra G-5 en el que se observan los niveles de Cuarzo de grano grueso y grano fino (nicoles cruzados).



Foto 6. Aspecto general textural, observándose las venas de Cuarzo y Turmalina (nicoles cruzados) de la muestra G-6.