

UN PROCESO DE MILONITIZACION
CON EXTENSION CORTICAL
EN EL MACIZO METAMORFICO
DE EL ESCORIAL
(CORDILLERA CENTRAL)

POR

C. MARTÍN ESCORZA *

RESUMEN

En los gneises se han diferenciado casi 40 bandas cataclásticas con facies miloníticas y ultramiloníticas. Las estructuras a que ha dado lugar este proceso cataclástico señalan un movimiento por medio de fallas normales con planos en dirección NW-SE y buzantes al NE.

Este proceso cabe suponerlo tentativamente en relación con las intrusiones plutónicas hercínicas.

ABSTRACT

40 cataclastic bands of mylonitic and ultramylonitic rocks have been differentiated in a gneissic sector of El Escorial (Central Range, Spain). The structures originated by these cataclastic processes indicate displacements by normal faults whose planes dip NE. This process could be related to hercinian plutonic intrusions.

INTRODUCCION

Dentro de el macizo metamórfico de El Escorial-Villa del Prado se han citado (GARCIA DE MIGUEL, 1975; CAPOTE y FERNANDEZ CASALS, 1975) la existencia de diferentes rocas miloníticas. Ya en un primer estudio (MARTIN ESCORZA, 1977) se descubrieron en detalle

* Instituto de Geología. CSIC. José Gutiérrez Abascal, 2. Madrid-6.

para un punto diferentes facies cataclásticas, y también se diferenciaron etapas que formaron parte del proceso de milonitización. Por las condiciones del afloramiento no se pudo entonces llegar a determinar con precisión el sentido del movimiento de la cizalla.

En la carretera de Robledo de Chavela a Cebreros, entre los puntos kilométricos (p. K) que van del p. K. 8 al p. K. 11 (este último ya a escasos metros con el granito occidental del macizo metamórfico), se dispone de cortes recientes que permiten observar las estructuras de los genieses y de determinar otras, tales como las originadas por los procesos cataclásticos que les han afectado (Fig. 1).

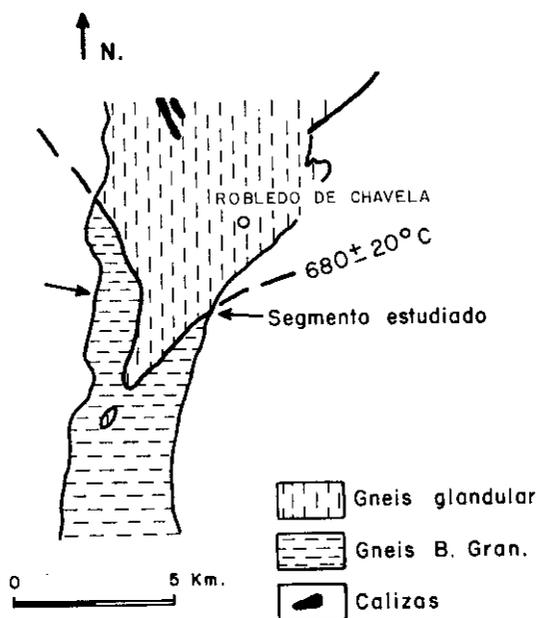


FIG. 1.—Situación del segmento estudiado sobre la base cartográfica de PEINADO (1970) y relación con las isotermas hercínicas señaladas para estas áreas por LOPEZ RUIZ et al. (1975).

Este segmento rocoso tan favorable es el que ahora se ha estudiado, y por el número y calidad de observaciones se ha podido llegar a resultados más precisos en la estructura y cinemática de un proceso cataclástico que dio origen a capas miloníticas de espesor centimétrico a decimétrico y en el que cabe incluir la roca estudiada ya anteriormente (MARTIN ESCORZA, 1977), aunque no las otras citadas.

MILONITAS

En el segmento estudiado pueden diferenciarse del conjunto rocoso tanto por su estructura propia en capas o bandas, con particularidades distintas a las de la foliación gneísica general a la que afecta, como por su misma estructura interna. Se han podido determinar un total de 39 capas miloníticas.

DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA Y ORIENTACIONES

El espesor de las capas miloníticas es variable; su valor para 33 de ellos se ha representado en la Figura 2 en función de su respectivo buzamiento. Como se deduce de tal representación el buzamiento es máximo para el intervalo de espesores comprendido entre los 30 y 50 cm.; el espesor con una mayor dispersión que aquél presenta dos intervalos de mayor concentración: entre los 1 a 2 cm. y entre los 10 y 50 cm.; entre los 30 y 60° es donde se dan la máxima variación de espesor.

El valor medio del buzamiento es de 48° con una s.d. = 20 en toda la población de las 39 capas miloníticas observadas; y para los 33 en que se determinaron espesores, éste es de 21,5 cm. de media con una s.d. = 30,8 que, como ya se ve en la figura 2, es muy fuerte.

Con respecto a las orientaciones de las capas miloníticas, y atendiendo al posible significado de sus distintos espesores, se han tenido en cuenta tres grandes intervalos de éstos, con límites arbitrarios, para su representación. Como queda reflejado en la Figura 3 las líneas de buzamiento de las milonitas con mayor espesor se agrupan en la dirección NE-NNE, que se define como dominante y de mayor importancia, y con un valor angular de buzamiento medio próximos a los 45°. Otro grupo integrado por capas miloníticas de menor espesor y mayor buzamiento medio muestra una orientación preferente hacia el ESE.

Los bordes de las capas miloníticas son coincidentes con la foliación interna que siempre se observa en tales rocas, por lo que los resultados de la figura 3 representan indistintamente también a tales elementos planares. Sobre dicha foliación milonítica se encuentran lineaciones, Lm, cuya orientación dominante es la NNW-SSE, con una inclinación media casi horizontal (Fig. 3).

La estructura interna de las capas miloníticas está, en general, sólo integrada por la foliación, en algún caso puede determinarse la lineación y en otros, los menos, pueden verse además pliegues intrafoliales. En una misma capa pueden encontrarse diferentes facies miloníticas y ultramiloníticas, y otras veces también el bandeado característico en microcapas claras y oscuras. De lo observado en este seg-

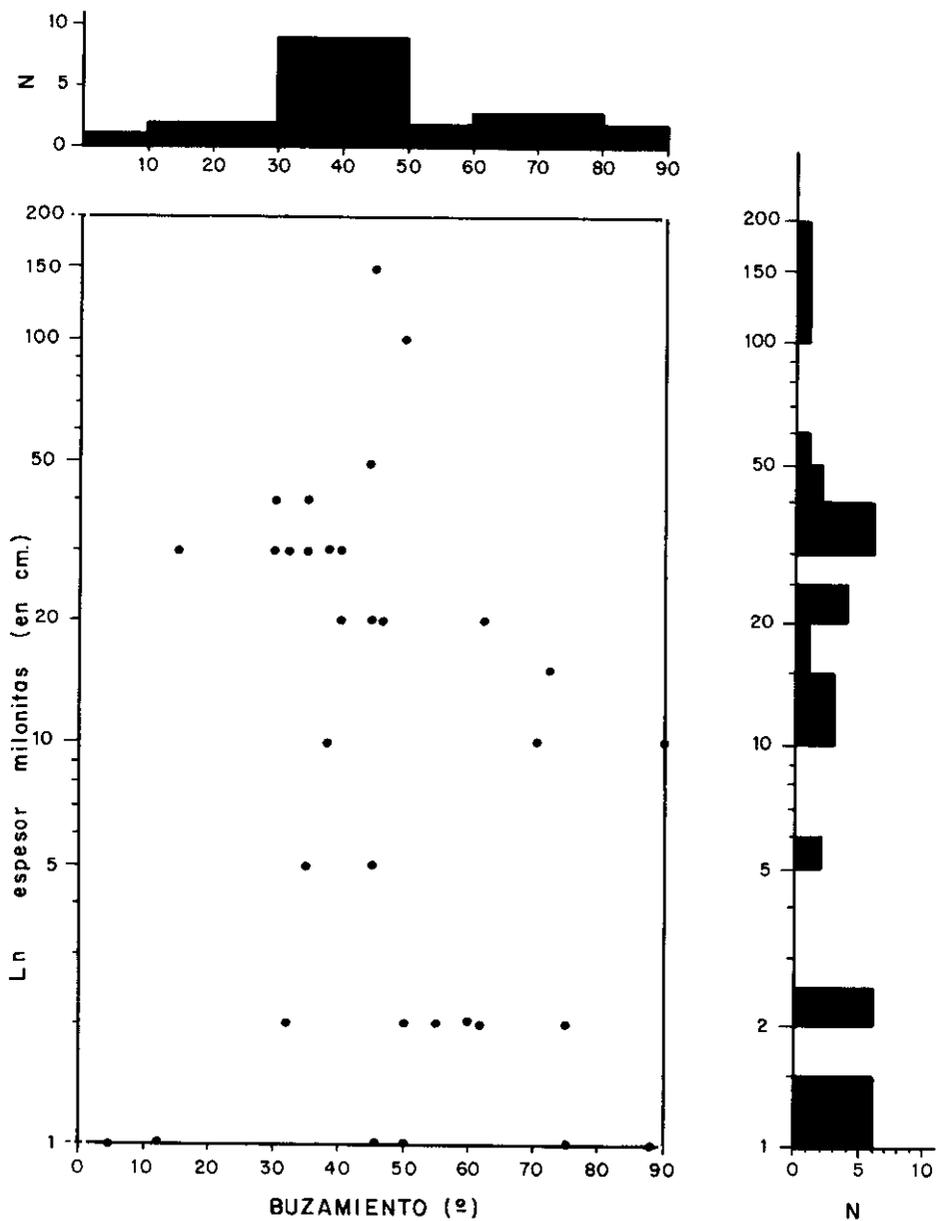
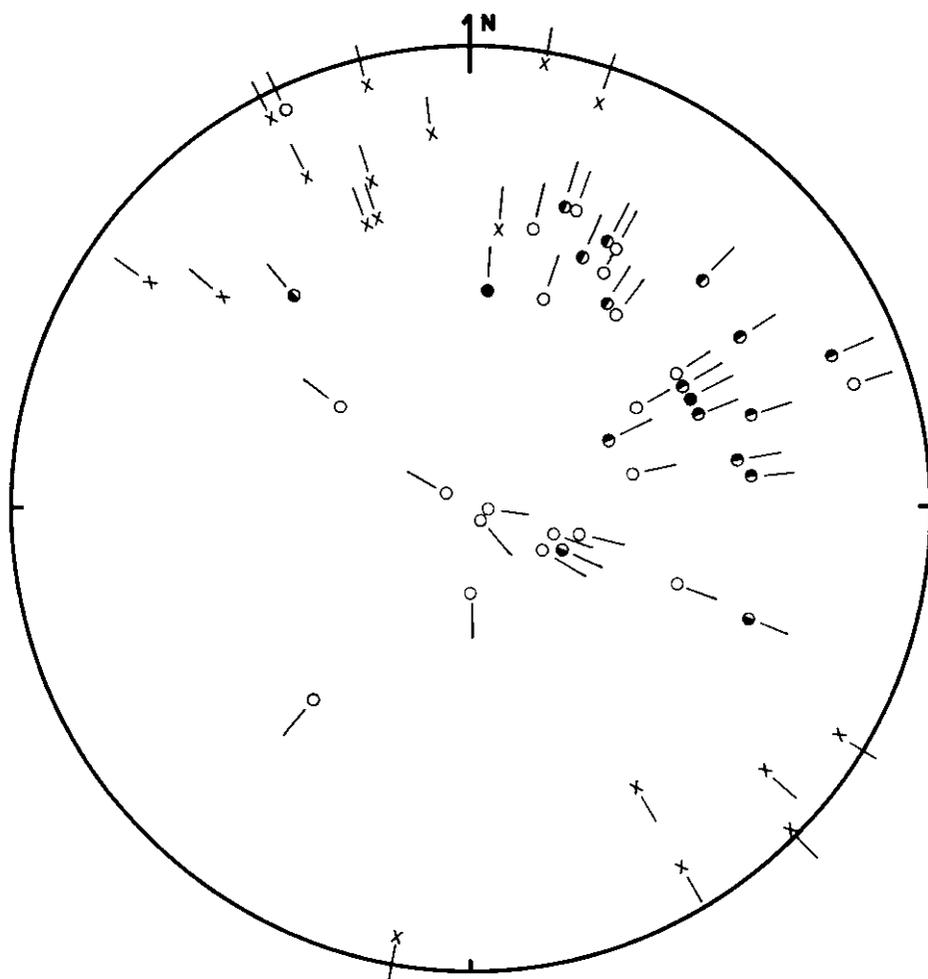


FIG. 2.—Relación entre el buzamiento y el logaritmo natural de los espesores para cada una de 33 milonitas estudiadas. También se indica sobre cada eje el número de milonitas (N) con un valor de espesor o buzamiento dentro de los intervalos arbitrarios que se señalan.



BUZAMIENTO DE MILONITAS: ○ de 1-10 cm. de espesor
 ● de 11-50 cm. de espesor
 ● > 50 cm. de espesor

LINEACION SOBRE FOLIACION MILONITICA: x—

FIG. 3.—Ploteado de las líneas de buzamiento de las capas miloníticas (coincidente de la foliación milonítica) para el área estudiada. Sobre tales foliaciones miloníticas se encuentran lineaciones de recrystalización por estiramiento como ejes —B, las cuales también se señalan. Estereográfica Schmidt, hemisf. inferior.

mento se puede considerar que es en las capas de mayor espesor donde encontramos más variedad de facies y donde hallar más pliegues intrafoliales; por el contrario, las de menos espesor son más monótonas y no suele contener tantas estructuras internas. La lineación no parece atender a esta pretendida generalización y se halla tanto en unas como en otras.

CINEMÁTICA. CRITERIOS PARA SU DETERMINACIÓN

El movimiento que dio lugar a la milonitización en las estrechas bandas ya descritas tuvo también influencia en la roca situada en las inmediaciones de los bordes externos de las bandas de desplazamiento y cataclasis. Esta acción del cizallamiento sobre la roca externa a la capa de shear no siempre, ni en todos los casos, puede observarse con claridad debido a varios factores entre los que como más destacados mencionaría: las condiciones de afloramiento, la distinta intensidad en que se desarrollaran para cada banda cataclástica, y, además, las variaciones que también parecen observarse, cuando ello es posible, a lo largo de una misma capa milonítica.

En muchas de las 39 milonitas diferenciadas se han observado claras influencias de su movimiento sobre la roca a la que afectan. Está indicada por la aparición de estructuras locales directamente relacionadas con las milonitas y que desaparecen progresivamente a distancias decimétricas o, en algún caso, métricas de las bandas cataclásticas. La más frecuente es la presencia de flexiones en la foliación con curvaturas diferente a uno y otro lado de la milonita, aunque en ambos bordes la foliación tienda a ser tangente al borde de la banda. En algún caso las bandas cataclásticas se encuentran separadas sólo algunos decímetros y entonces se puede constatar que en la zona que se halla entre ellas: se refuerza la foliación y toma la forma «sigmoideal». Un caso ilustrativo es la figura 4, con acentuación y un desarrollo de foliación (foliación secundaria, HILLS, 1972) en una estructura «sigmoideal», adaptación de los fenocristales a ella y aparición en la zona media del «sigmoide» de pequeños niveles intrafoliales. Otros elementos afectados son, por ejemplo, los diques, que se ven transpuestos o flexionados, con evidentes estiramientos en los bordes de algunas milonitas.

La cinemática de los planos de milonitización puede deducirse con el apoyo de estas estructuras de la que, en definitiva, son su consecuencia. Algunas observaciones, hasta cierto punto semejantes, aunque a diferentes escalas, se señalan y se interpretan su cinemática en RAMSAY y GRAHAM, 1970 (Fig. 17 A), MATTAUER, 1973 (Figs. 10.4 y 10.32) y HILLS, 1972. Según todo ello se puede considerar que la tendente disposición de la foliación gneílica externa a situarse pro-

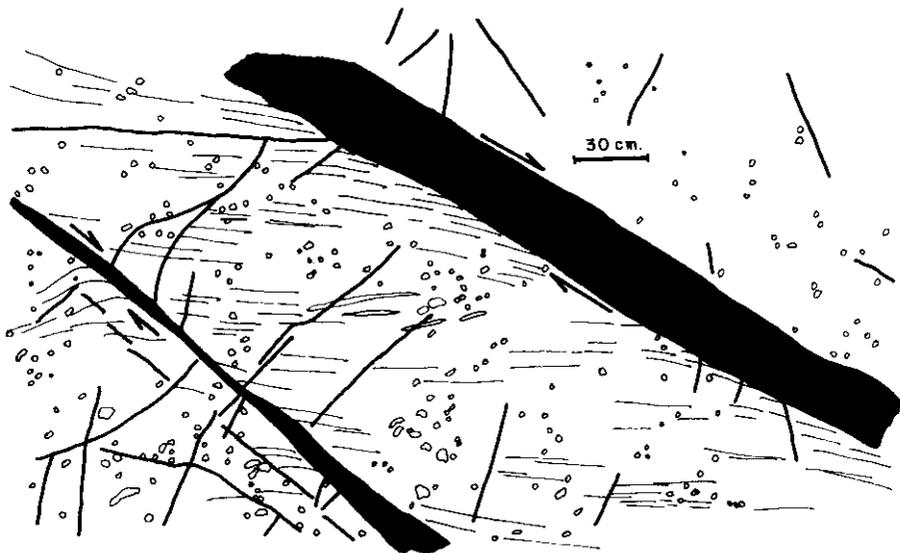


FIG. 4.—Ejemplo de estructuras indicadoras del movimiento en el proceso de milonitización estudiado. Las bandas en negro son capas miloníticas cuya foliación no se señala, pero es paralela a los bordes de las bandas; las líneas gruesas son fracturas; las líneas finas son trazos de foliación gneílica y también se han representado los ocelos feldespáticos. Entre las dos bandas miloníticas próximas se ha desarrollado una foliación en «sigmoides» (foliación secundaria) en la que también es evidente la orientación, según ella, de los ocelos feldespáticos y lenticulas predominantemente feldespáticas. Estas estructuras nos señalan precisamente el sentido de rotación indicado para ambas milonitas.

gresivamente paralela a los bordes, hasta ser tangente, responde a una resistencia (HILLS, 1972) o a un «arrastre» por proximidad en el que la fricción y los factores, tales como temperatura, viscosidad, etcétera, entran en juego para transmitir y llegar a imprimir en el cuerpo rocoso más cercano los efectos del cizallamiento. De tal forma que la flexión de esta foliación gneílica adyacente señala, hacia el sentido de su tangencia, el movimiento de la milonita en su borde interno más cercano a dicha flexión. Esta cinemática se puede esquematizar para el caso general, tal como señala la Figura 5.

Dicha rotación externa puede ir acompañada de deslizamientos internos, unos en un sentido y otros en el opuesto, para adaptarse a las tensiones y cinemática que se le impone del exterior. Un ejemplo de esta cinemática y de las diferencias entre la rotación externa y las que se pueden dar en el interior de la capa milonítica se encuentra en el p. K. 10.020 de la carretera Robledo a Cebreros y se esquematiza en la figura 6; las disposiciones lenticulares con movimientos

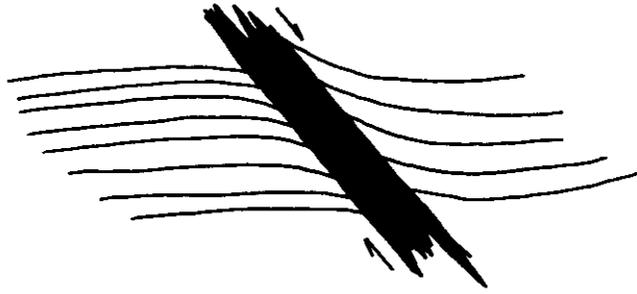


FIG. 5.—Relación estructural más frecuente, que se encuentra en el segmento estudiado entre la foliación gnéisica y la milonítica. De esta disposición se deduce la cinemática del cizallamiento que da origen a las rocas cataclásticas y a la flexión local de aquella foliación.

de rotación externo e interno opuestos como los aquí observados son interpretados como soluciones cinemáticas a las terminaciones de las bandas de cizalla (RAMSAY, 1980). En esta misma Figura 6 puede observarse también la disposición y relación entre la foliación secundaria

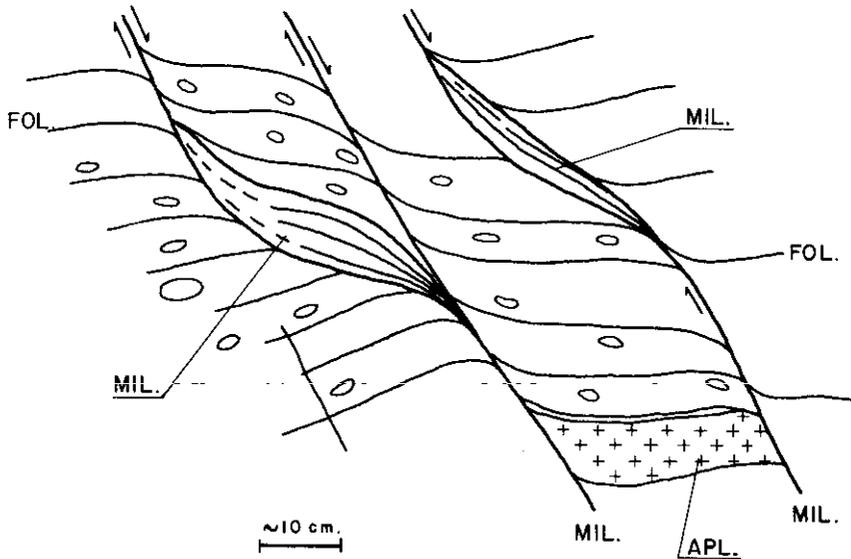


FIG. 6.—Banda milonítica compuesta visible en el p. K. 10,020 de la carretera Robledo-Cebreros. Son de destacar las lenticulas terminales de las cizallas, así como la estructura sigmoidal no sólo de la foliación secundaria, sino también en el resto de dique apítica afectado por la cataclasis.

ria «sigmoidal» con ocelos feldespáticos subparalelos y las superficies de cizalla que las provocan; un caso a destacar también en esta figura es la estructuración en forma sigmoidal (concordante con la foliación secundaria) de un fragmento de dique aplítico. Todo ello nos evidencia unos sentidos en los movimientos como los señalados en la mencionada figura.

PLANOS DE DESLIZAMIENTO SIN CATACLASIS. S_2

En el segmento rocoso estudiado existen frecuentes superficies de deslizamiento, en las que no son visibles, en el terreno, ni productos cataclásticos o de trituración asociados. Son también superficies de cizallamiento, pero sin cataclasis, y trasponen o deforman los elementos estructurales a los que afecta tales como la foliación gneísica y a los diques. En el caso de la foliación en los gneises da lugar también a veces a una foliación secundaria que está materializada fundamentalmente por flexiones locales de la foliación; y, en el caso de los diques, como puede verse en los ejemplos de la Figura 7, se dan desplazamientos con deformación continua en unas condiciones de plasticidad y en otros casos dan lugar a roturas y discontinuidades finitas.

Estos planos, S_2 presentan buzamientos variables desde casi la horizontal hasta la vertical. Se han observado que los más próximos a la vertical tienden, en su mayoría, a producir desplazamientos con estructuras del tipo de «strain slip cleavage», mientras que los más horizontales dan lugar a transposiciones finitas discontinuas, prácticamente siempre centimétricas.

Como se observa en la Figura 8 los planos S_2 tienen un máximo de concentración, en su buzamiento hacia el NE, con una concentración menor en la dirección de su buzamiento hacia el ESE, en este caso, con valores siempre mayores a los 40°. Por comparación con la Figura 3 puede destacarse la estrecha semejanza en la distribución de las orientaciones de estos planos con los de las milonitas, si bien en S_2 es mayor la dispersión en el valor de los buzamientos en la máxima NE.

La existencia de sentidos en el desplazamiento, tanto de tipo normal como inverso, podemos interpretarlo como debido a pequeños reajustes cinemáticos, de los bloques para lograr su acomodación al campo principal marcado por el proceso cataclástico.

INTERPRETACION

El proceso cataclástico aquí descrito, con planos de movimientos orientados principalmente en la dirección NW-SE y buzantes al NE,

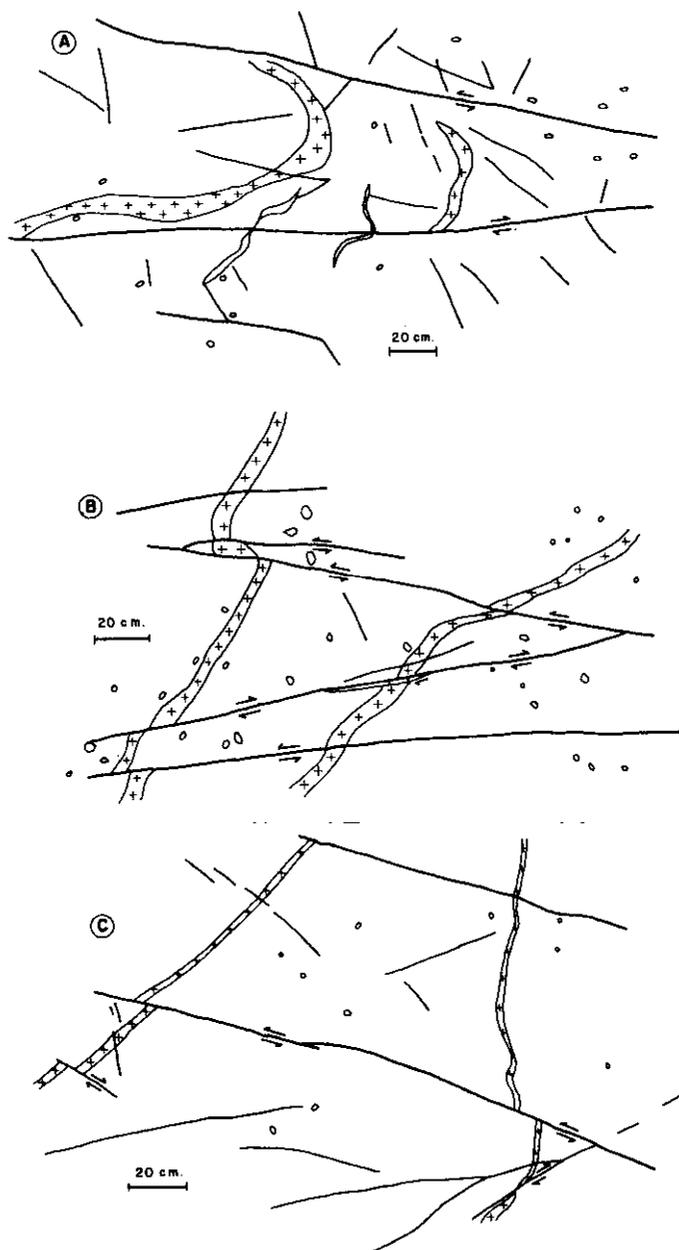


FIG. 7.—Diferentes formas de transposición de las superficies S_1 , todas ellas observables en las proximidades del p. K. 10,500 de la carretera Robledo-Cebreros (aunque otros muchos ejemplos se encuentran en otros tantos puntos del segmento estudiado). Se han ordenado de A a C, en orden creciente a la pérdida de continuidad en la deformación.

refleja desplazamientos de bloques del tipo de falla «normal», es decir, producido por un campo tensional en el que la dirección principal menor o distensión sería la orientación SW-NE y la tensión principal mayor próxima a la vertical. Situación que tuvo que dar lugar a una extensión cortical de valor no determinado en la dirección NE-SW.

El proceso no tuvo por qué ser instantáneo, sino que, como ya refleja una roca cataclástica próxima (la cual tiene la misma orientación), pudo haberse producido de forma progresiva (MARTIN ESCORZA, 1977), aunque siempre bajo condiciones de alta plasticidad como se supone es general en la generación de estas rocas (HIGGINS, 1971). Condiciones que deben situarse en áreas lo suficientemente profundas, con una dinámica que tentativamente se puede suponer como de cizalla pura para las bandas miloníticas de mayor espesor y de simple cizalla para las de espesor menor.

Por otra parte, estas condiciones de cierta profundidad, en niveles donde el cizallamiento tiene lugar en un medio dúctil explicaría y justificaría el relativamente bajo valor del buzamiento medio ($\sim 45^\circ$) de las milonitas, por flexión tendente a la horizontal de la superficie de cizalla en una situación de extensión cortical.

El proceso puede ser considerado como una respuesta a una distensión progresiva hacia el NE, realizada escalonadamente durante un cierto tiempo difícil de precisar y durante el cual se produjeron estos desplazamientos y los que tienen su dirección de buzamiento al ESE. Atendiendo a los caracteres estructurales y a las condiciones de deformación resulta posible diferenciar en el proceso progresivo dos etapas: la que da lugar a las bandas miloníticas y ultramiloníticas, siempre bajo condiciones plásticas, y la que se desarrolla produciendo los planos de transposición y deslizamiento S_2 , bajo condiciones variables, algunos todavía plástica o dúctiles, otros con discontinuidades finitas en la deformación. De estas características también se puede deducir una ordenación temporal lógica por cuanto las condiciones de plasticidad serían las anteriores a las de al menor mayor contraste de ductilidades que reflejarían un estado ya final al de las tensiones máximas.

Como se refleja en la cartografía regional (ver, por ejemplo, PEINADO, 1970; LOPEZ RUIZ *et al.*, 1975; APARICIO *et al.*, 1975) la zona metamórfica de El Escorial-Villa del Prado se encuentra circunscrita por plutones graníticos; y el segmento estudiado acaba hacia el oeste en una roca granítica. Esta directa relación con rocas plutónicas se hace evidente también por la abundancia de diques, sobre todo de tipo aplítico, que cortan o se encuentran subparalelos a la foliación gneísica. En las observaciones de campo, sin embargo, han sido muy escasas las posibilidades de estudiar, en este segmento,

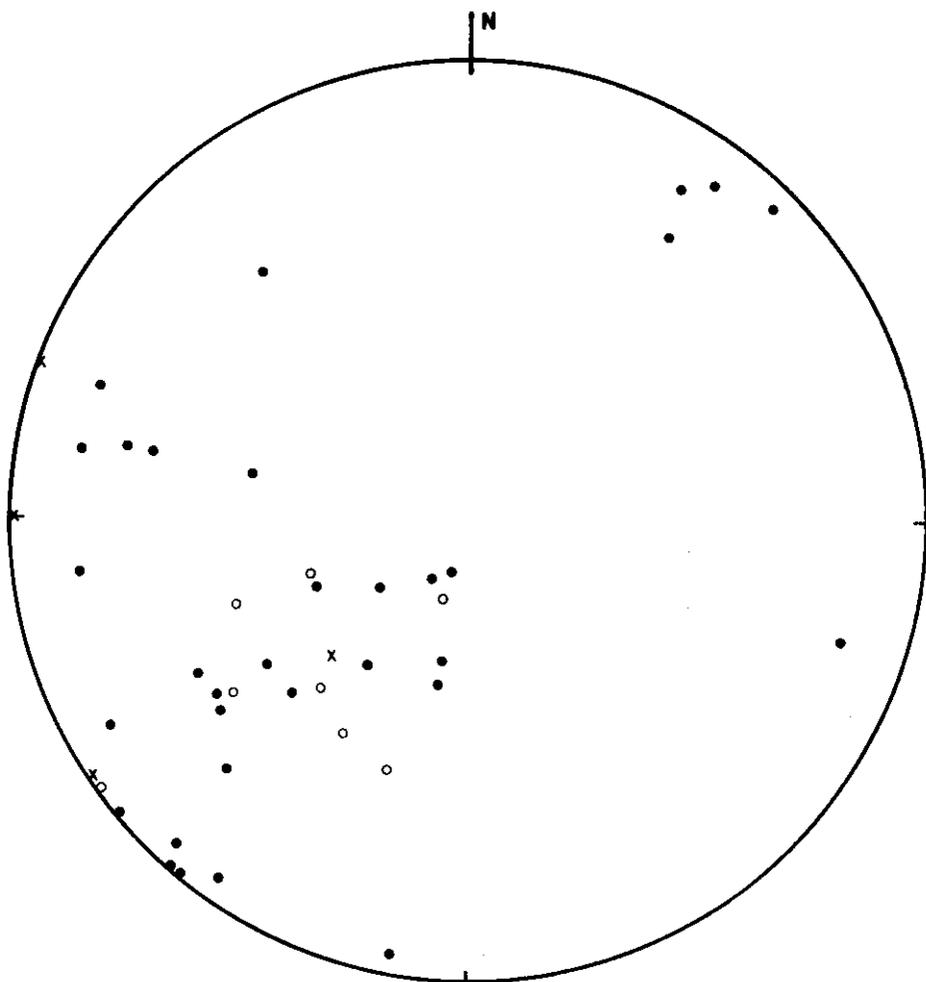


FIG. 8.—Polos de 45 superficies de transposición S_1 , que son frecuentes en el área estudiada. Se han señalado los sentidos de desplazamiento en los que ha sido posible su determinación. Estereográfica Schmidt: Hemisf. inferior. Círculos: Sentido de desplazamiento «normal». Puntos negros: Desplazamiento «inverso». Líneas cruzadas: Sentido no determinado.

las interrelaciones de estos diques y las bandas cataclásticas. No obstante en algún caso, como, por ejemplo, en el p. K. 10,020, una misma banda milonítica de espesor centimétrico corta a dos distintos diques aplíticos: a uno lo rompe y desplaza un valor finito (también centimétrico), y al otro, casi horizontal, lo deforma plásticamente. Lo cual viene a reflejar las diferentes características de los dos di-

ques cuando actuó la falla que dio lugar a la milonita. Y también viene a sugerir la posible cercanía temporal entre la intrusión del dique que se deforma plásticamente y el desarrollo del proceso cataclástico.

De forma tentativa estos hechos aislados y locales pueden ser interpretados como debidos a la relación que pudo haber existido entre alguna intrusión plutónica cercana y el desarrollo de una extensión cortical, por medio de fallas normales, hacia el NE.

BIBLIOGRAFIA

- APARICIO, A.; BARRERA, J. L.; CARABALLO, J. M.; PEINADO, M., y TINAO, J. M. (1975): «Los materiales graníticos hercínicos del Sistema Central español». *Mem. IGME*, 88, 145 págs.
- CAPOTE, R., y FERNÁNDEZ CASALS, M. J. (1975): «Las series anteordovícicas del Sistema Central». *Bol. Geol. Min.*, 86, 581-596.
- GARCÍA DE MIGUEL, J. M. (1975): «Análisis estructural de las rocas metamórficas que afloran al sudeste de Santa María de la Alameda (Sistema Central español)». *II Congreso Iberoamericano de Geología Económica*, Buenos Aires (Argentina), t. IV, 141-160.
- HIGGINS, M. W. (1971): «Cataclastic rocks». *Geol. Surv. Prof. Paper*, 687, 97 págs.
- HILLS, E. S. (1972, 2.^a ed.): *Elements of Structural Geology*, 502 págs. Chapman-Hall, Science paper, London.
- LÓPEZ RUIZ, J. L.; APARICIO, A., y GARCÍA CACHO, L. (1975): «El metamorfismo de la sierra de Guadarrama, Sistema Central español». *Mem. IGME*, 86, 127 págs.
- MARTÍN ESCORZA, C. (1977): «Estudio preliminar de algunos procesos de deformación y cataclasis en la zona de Robledo de Chavela (Sistema Central)». *Bol. Geol. Min.*, 88, 471-493.
- MATTANER, M. (1973): *Les deformations des matériaux de l'écorce terrestre*, 493 págs. Hermann, París.
- PEINADO, M. (1970): «Carácter del metamorfismo en el macizo metamórfico El Escorial-Villa del Prado (Sistema Central español)». *Estudios Geológicos*, 26, 323-326.
- RAMSAY, J. G. (1980): «Shear zone geometry: a review». *Jour. Structural Geol.*, 2, 83-99.
- RAMSAY, J. G., y GRAHAM, R. M. (1970): «Strain variation in shear belts». *Canad. J. Earth. Sci.*, 7, 786-813.