

**LA FRACTURACION TARDIA AL SW DE SIERRA NEVADA
(TERMINACION OCCIDENTAL DEL CORREDOR DE LAS ALPUJARRAS,
ZONA BETICA)**

C. Sanz de Galdeano (*), A. Estévez (**), A. C. López-Garrido (***)
y J. Rodríguez Fernández (***)

RESUMEN

La fracturación es en este área del SW de Sierra Nevada el hecho más notable producido después de la estructuración alpina de las Cordilleras Béticas. Esta fracturación se ha estudiado tanto sobre imágenes de satélite como con foto aérea normal y sobre el terreno, además de hacer la microtectónica de algunos sectores propicios. Son tres los juegos principales de fracturas: N 70-100 E, N 120-150 E y N 10-30 E. Fueron verosímilmente desgarres en origen, pero presentan numerosos movimientos tanto horizontales como verticales, los cuales se prolongan posiblemente a la actualidad. Los saltos verticales dan valores de 500-1.000 y más metros y controlaron el depósito del Neógeno y del Cuaternario y buena parte de la formación del relieve actual. Las direcciones de compresión obtenidas mediante estudios de microtectónica son fundamentalmente N 120 E y aproximadamente N-S.

PALABRAS CLAVE: Fracturación, microtectónica, neotectónica, Cordilleras Béticas.

ABSTRACT

Fracturing is the most conspicuous type of tectonics developed in the SW of Sierra Nevada, after the alpine building of the Betic Cordilleras. Fractures have been inspected on satellite images as well as on ordinary photograms and surveyed through field studies, including microtectonic measurements in several favorable sectors. There are three main sets of fractures. N 70-100 E, N 120-150 E and N 10-30 E. Although they were likely strike-slip faults in origin, they show numerous movements, both horizontal and vertical, ranging possibly up to the present time more, effectively controlling the sedimentation during the Neogene and Quaternary and being largely responsible for the present relief. The horizontal movements took place under a compressional stress trending essentially N 120 E and approximately N-S, according to the results of microtectonic studies.

KEY WORDS: Fractures, microtectonic, neotectonic, Betic Cordillera.

Introducción

En este artículo se pretende ofrecer una visión de la fracturación moderna (posterior a la estructuración alpina) de las Cordilleras Béticas en un sector especialmente complejo, ya que en el mismo convergen tres lineaciones principales de fracturas. En él se localiza, además, el contacto entre el complejo Nevado-Filábride y el complejo Alpujárride.

Situación geográfica

Este sector presenta grandes diferencias de relieve. Las mayores alturas se alcanzan en el noreste, correspondientes a la mole de Sierra Nevada. Al sureste se sitúa la Sierra de Lújar (1.865 m.). Al oeste la Sierra de los Guájares (1.431 m.). Entre estas montañas se sitúan los valles de Lecrín, Orgiva, de los Guájares y el del río Guadalfeo en el sector de Vélez de Benaudalla.

(*) Departamento de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada.

(**) Departamento de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante.

(***) Departamento de Investigaciones Geológicas, C.S.I.C., Centro Coordinador con la Facultad de Ciencias. Universidad de Granada.

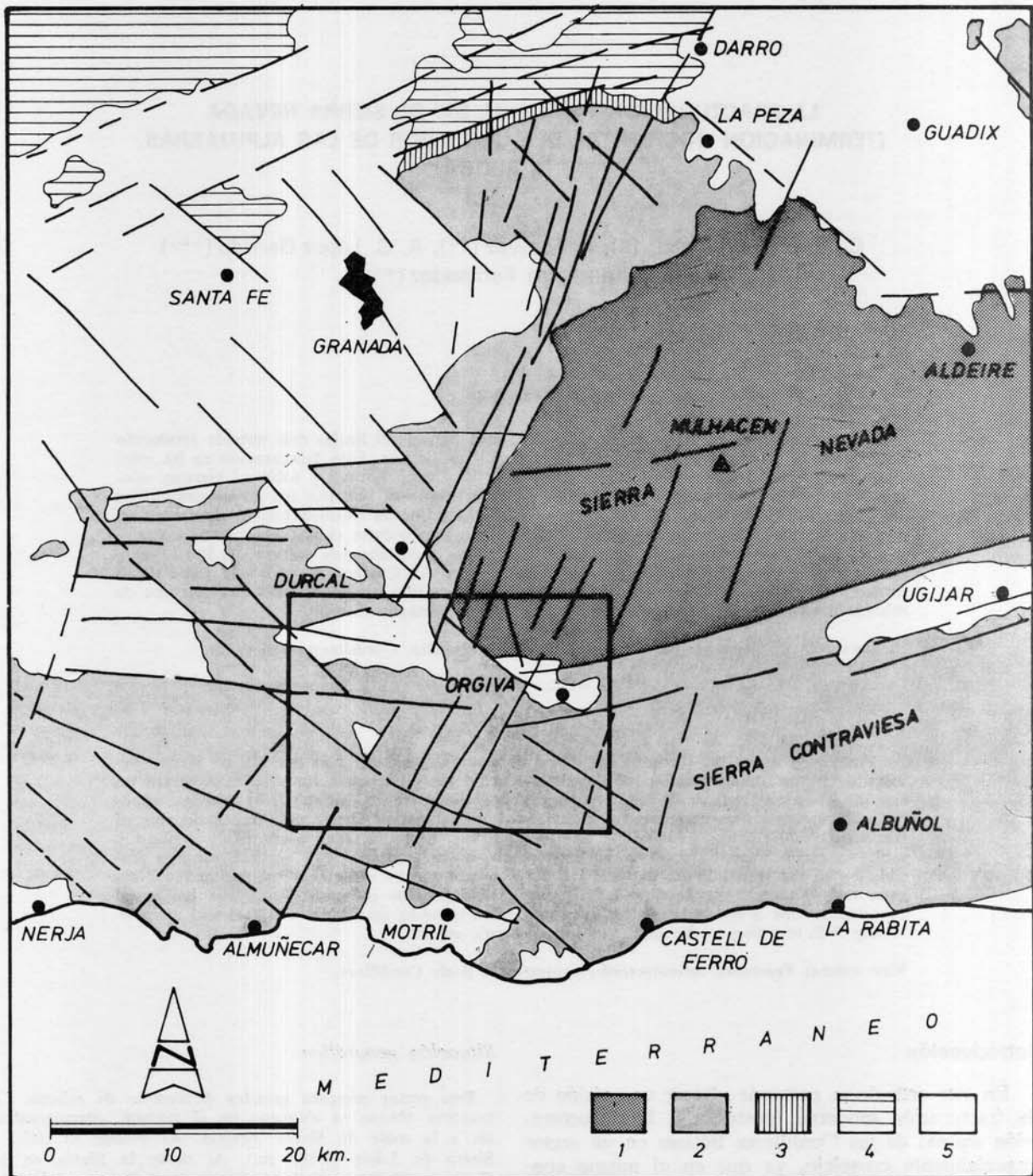


Fig. 1.—Situación geográfica y geológica del área estudiada (señalada en el recuadro) y mapa de lineamientos, obtenido a partir de imágenes de satélite, del área que la rodea. 1, 2 y 3: Zonas Internas. 1: Nevado-Filábride, 2: Alpujárride, 3: Maláguide, 4: Zonas Externas (Subbético y Dorsal); 5: Neógeno y Cuaternario.

Encuadre geológico

La región ya ha sido previamente estudiada por diversos autores. Citamos algunos de ellos: en el Nevado-Filábride a Puga (1971), en el Alpujarride a Copponex (1959), Avidad *et al.* (1981), Gallegos (1975) y Aldaya *et al.* (1979). Para los materiales neógenos hay que citar a González-Donoso (1970), Rodríguez-Fernández (1982) y González-Donoso *et al.* (1983). Desde el punto de vista de tectónica reciente y neotectónica se puede citar a Sanz de Galdeano *et al.* (1982), Vidal *et al.* (1982) y Pernía *et al.* (1983).

Esta región está situada dentro de las zonas internas de las Cordilleras Béticas. En la misma aparecen materiales de los complejos Nevado-Filábride y Alpujarride, de modo que este último se sitúa sobre el complejo Nevado-Filábride.

Los fenómenos que dieron lugar a los procesos metamórficos y al empilamiento en mantos de los citados complejos acabaron fundamentalmente en el Mioceno inferior. Es a partir de este momento cuando se produce una muy intensa fracturación, cuya actividad se prolonga en parte hasta la actualidad. Debido a esta fracturación se constituyeron áreas subsidentes en relación a otras que se levantaron, y fue precisamente en estas áreas más deprimidas donde se produjo una sedimentación marina durante gran parte del Mioceno medio: margas calcáreas de color gris y calcarenitas bioclásticas y parches de arrecifes coralinos. Sobre estos materiales aparece una formación de arcillas, arenas y conglomerados de colores rojos y amarillentos. Estos materiales afloran en el valle de Lecrín y en el área de los Guájares.

Los materiales de edad Mioceno superior están representados por facies de plataforma carbonatada con areniscas calcáreas bioclásticas (maciños) sobre los que se depositan limos y arenas, coronados discordantemente por una potente formación detrítica (formación de Pinos Genil o Block-Formation) con la que termina el Tortonense.

Una gran superficie erosiva presumiblemente de edad Messinense disecta los materiales tortonenses y hace que se coloque discordante sobre éstos o bien sobre el sustrato un conjunto detrítico rojo de edad Plioceno-Pleistoceno con facies bastante parecidas a la formación Alhambra. Encima aparecen materiales calcáreo-travertínicos con niveles oncolíticos y de cantos negros ricos en materia orgánica claramente lacustre. Por último, existe una formación de travertinos que se adaptan al relieve actual en forma de cascada sobre las laderas y que, por lo tanto, es el último material depositado en este área; dichos travertinos pueden ser fechados de edad Riss-Wurm (entre ochenta y cien mil años).

La fracturación

Ya se ha apuntado que son las fracturas producidas después de la estructuración alpina las aquí estudiadas y también las que, aun siendo antiguas, se han reactivado posteriormente. Son tres las direcciones esenciales de las mismas, tanto a nivel de fallas como de diaclasas. Las fracturas de dirección aproximada N 70-100 E (dirección del Corredor de las Alpujarras) (Sanz de Galdeano, 1983) son las que más continuidad presentan a escala de la Cordillera, y atraviesan, según diversas líneas, el valle de Lecrín y Orgiva. Las fracturas de dirección N 120-150 E y las N 10-30 E son también abundantes, si bien en conjunto forman lineamientos de menor longitud, al menos aparentemente.

La red de fracturas a partir de imágenes de satélite

En la figura 1 se pueden ver los lineamientos deducidos a partir de imágenes de satélite. En esta figura se observan claramente las tres direcciones que se acaban de señalar. Sin embargo, algunas de las líneas marcadas no se observan sobre el terreno como fracturas importantes.

La red de fracturas obtenidas a partir del estudio de fotos aéreas

A partir del estudio estereoscópico de fotos aéreas se han señalado aquellas alineaciones claramente rectilíneas que supusieran una rotura en la pendiente, un cauce de río o cualquier rasgo que destacara por ser una línea de discontinuidad no atribuible con seguridad a causas ajenas a las fracturas. En algunos casos son fallas evidentes, en otros son posibles fracturas, y hay casos en que la fractura, bien falla o rotura a modo de megadiaclasas, no se puede demostrar. Podría ser hasta inexistente. De todas formas, es de destacar lo siguiente: las direcciones obtenidas son exactamente coincidentes con la interpretación de las imágenes de satélite. Como es lógico, las líneas más o menos netas que en aquella aparecían aquí lo hacen muy subdivididas en numerosas fracturas sensiblemente paralelas según los diferentes juegos.

Es muy notable la densidad de fracturas y posibles fracturas en los valles de Lecrín y Orgiva-Guadalfeo.

Las fracturas observadas sobre el terreno

Tras la obtención de la red de líneas de posibles fracturas, se ha recorrido el área detenidamente a fin de discernir las que son claramente fallas de las que, aún siendo claras alineaciones, no pueden, sin riesgo, interpretarse como tales. En la figura 2 se marcan en línea gruesa las fracturas observadas sobre el terreno, y en línea fina se marcan aquellos rasgos fotogeológicos que hacen sospechar la existencia de una fractura, si bien no se han podido observar sobre el terreno.

Microtectónica

Además de las fracturas de escala hectométrica o mayores, existen, como es lógico esperar, multitud de microfallas y diaclasas, localmente muy agrupadas, constituyendo zonas de fracturación. En realidad, aparecen distribuidas por todo el área, si bien hay algunos materiales que las muestran mejor. En particular son aptas para el desarrollo de estas zonas de fracturación las areniscas calcáreas bioclásticas ("maciños") del Mioceno superior, y, en mucha

menor medida, los limos superiores a estos "maciños" y otros materiales. Medidas de diaclasas son también fácilmente obtenidas en materiales metamórficos.

Dentro del área, es en el sector comprendido entre

Fallas normales y hechos ligados a las mismas

Su magnitud oscila enormemente, desde fracturas de varios kilómetros a otras milimétricas, tanto en longitud como en salto. Las mejor representadas en

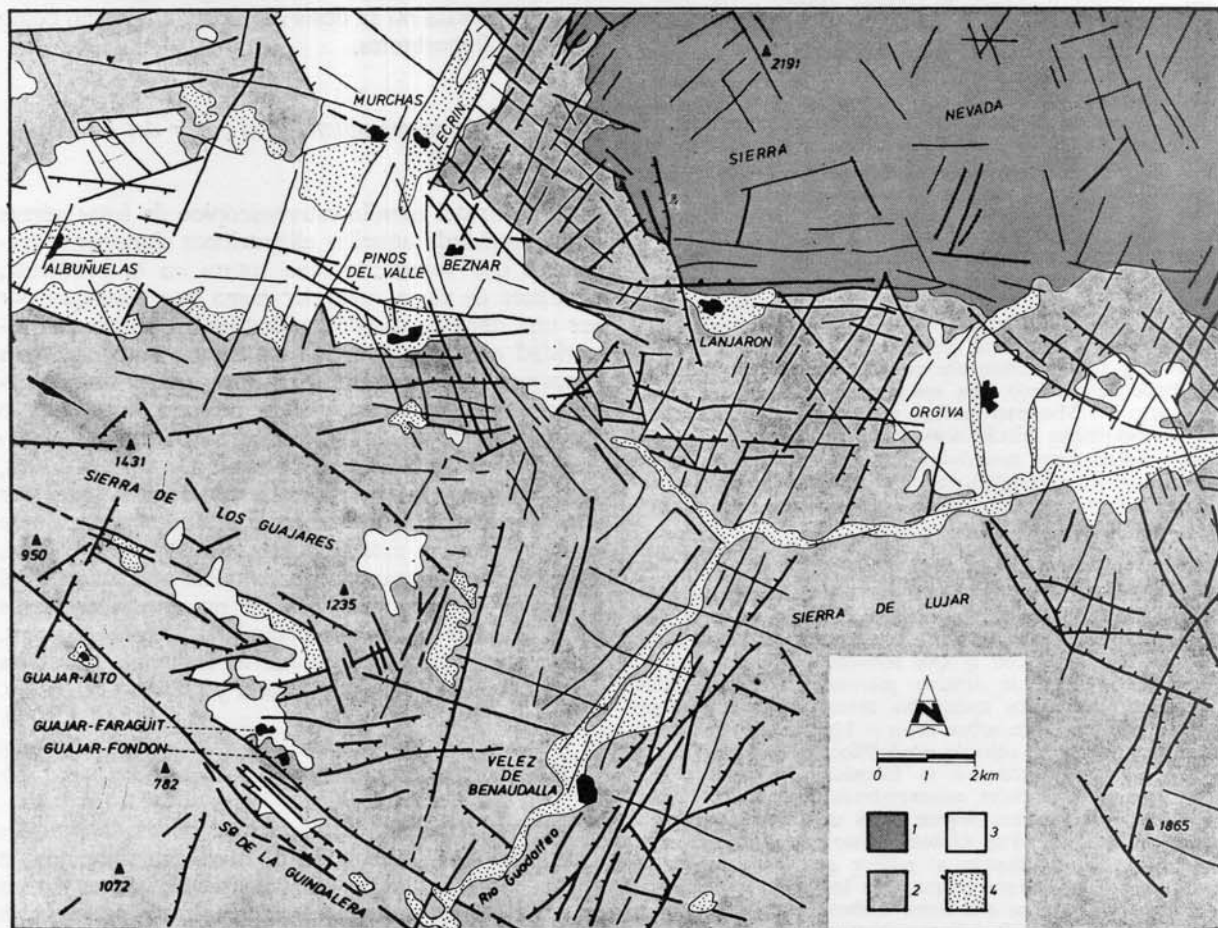


Fig. 2.—Esquema de la red de fracturas modernas del sector de Orgiva-valle de Lecrín. En línea gruesa se marcan las fallas cuya existencia se ha comprobado. En línea fina aparecen aquellos rasgos fotogeológicos que podrían corresponder a fracturas, aunque no es segura su existencia. En algunas se marcan movimientos como fallas normales o inversas, lo que no se ha hecho con los desgarres, ya que casi todas los presentan, aunque suele ser difícil establecer el sentido. 1: Nevado-Filábride, 2: Alpujárride, 3: Neógeno y Cuaternario.

Béznar, el cruce de la carretera a Lanjarón (Puente de Tablate) y Pinos del Valle, donde mejor se observan estas fracturas. Allí se cortan, sobre todo en carretera y pistas nuevas, materiales del Neógeno y del Cuaternario con numerosas microfracturas visibles. En ningún otro sector de este área aparecen tantas posibilidades de medida, por lo que allí se ha concentrado esencialmente el estudio de microtectónica. Además, el hecho de presentarse en materiales del Neógeno o más modernos garantiza que se obtienen medidas de fracturas recientes.

el sector son las de dirección aproximada este-oeste, con gran ventaja sobre las de otros sistemas. Aun así, la dirección varía ligeramente según los puntos y, por ello, se ha preferido hacer diversos diagramas de micro y mesofallas normales.

En el entorno del puente de Tablate se han tomado un total de 91 medidas de fallas normales, algunas con las estrías, la mayoría de ellas conjugadas entre sí y con saltos visibles. Se representan en el diagrama 1 de la figura 3 y muestran dos máximos de concentración de polos que dan una dirección

media N 102 E para las fallas. Hay que destacar que el buzamiento medio es de 53 N, para uno de los sistemas y de 65 S para el sistema conjugado, lo que expresa claramente un basculamiento local posterior de los materiales de uno seis grados hacia el sur. Estas fallas actuaron, algunas repetidamente, fundamentalmente durante el Tortonense, pues se encuentran fosilizadas por materiales de la "Block-Formation" del Tortonense terminal.

anterior sector de medidas. La dirección de las fallas es prácticamente coincidente con la del diagrama 1, si bien hay una dispersión algo mayor, con algunas escasas fallas que corresponden a los otros dos sistemas ya citados.

En el diagrama 4 se muestran las fallas normales en las márgenes del río Izbor, al oeste de Pinos del Valle. Aunque pequeño, es patente el cambio de dirección de las fracturas. También es notoria la

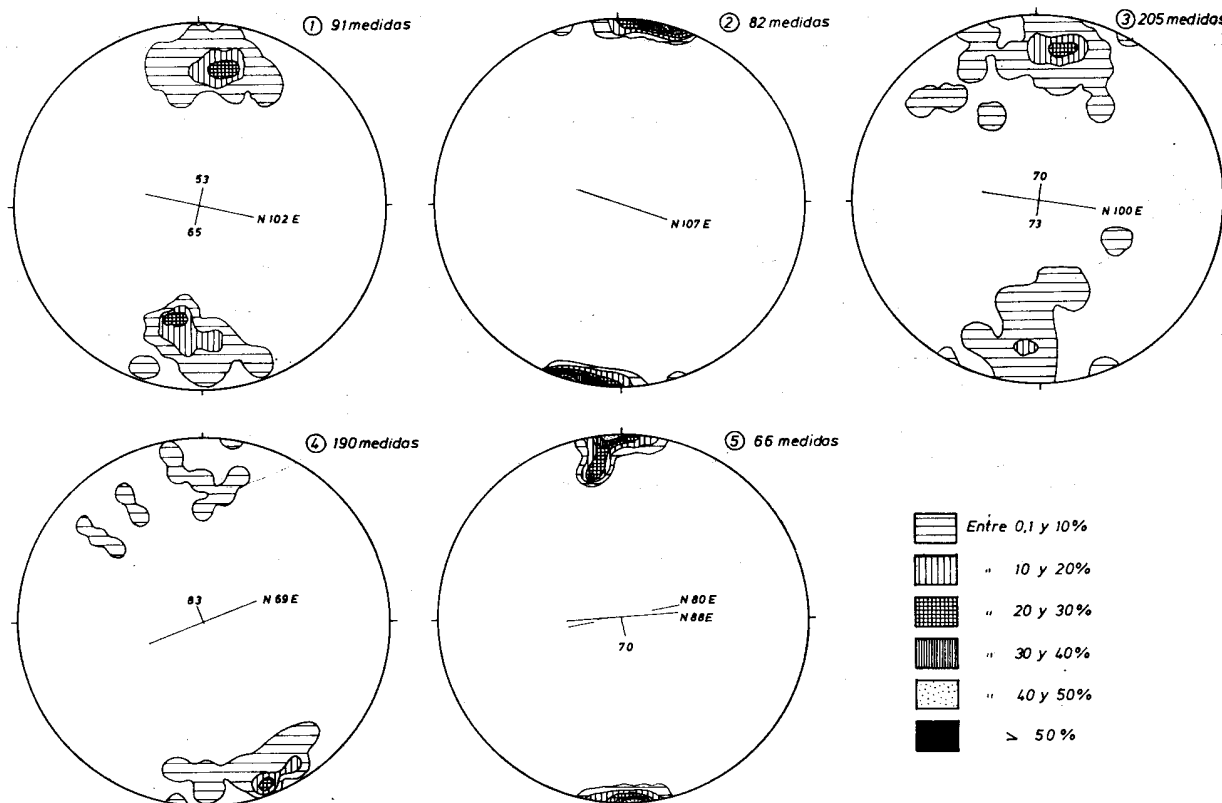


Fig. 3.—Diagrama 1: Fallas normales en el Puente de Tablate. Diagrama 2: *Id.* lugar. Diaclasas en cantos de conglomerados. Diagrama 3: Fallas normales tomadas a lo largo de 1,5 kilómetros de la carretera a Pinos del Valle desde el cruce de la carretera Granada-Motril, al este de Béznar, Diagrama 4: Fallas normales tomadas sobre el río Izbor, al este de Pinos del Valle. Diagrama 5: Diaclasas en cantos de conglomerados tomadas sobre el río Izbor, al este de Pinos del Valle.

En el diagrama 2 se representan diaclasas, en muchos casos abiertas en cantos de conglomerados. Están medidas en el mismo sector de las fallas del diagrama 1. Estas diaclasas son de tensión y contienen a σ_1 y σ_2 . Su dirección casi coincide, como cabía esperar, con la media de las de las fallas normales.

En el diagrama 3 se representan las medidas de fallas normales tomadas entre el cruce de la carretera general Granada-Motril (N-323) con la carretera a la presa de Béznar, y el cruce de esta carretera con la que va a Pinos del Valle, o sea, al suroeste del

mayor abundancia de fracturas que buzán al norte. En conjunto, desde Tablate se delinea una fosa tectónica, y este sector comprende el borde sur de la misma. Destaca, además, la fuerte inclinación media de muchas fracturas. Así, el máximo de medidas alcanza un buzamiento de 83 N. Parecido sucede en el diagrama 3; podría explicarse por el hecho de que muchas de estas fracturas han sido reutilizadas como fallas de salto en dirección.

En el diagrama 5, correspondiente al mismo sector que el 4, se representan los polos de diaclasas en

cantos que dan una pequeña diferencia en dirección con las fallas normales ligadas, de manera que los resultados son suficientemente congruentes.

Las fracturas ligadas a compresiones horizontales

a) *Las fallas de salto en dirección y diaclasas ligadas.*—En el diagrama *a* de la figura 4, que cubre igual área que la del diagrama 3 de la figura 3, se han proyectado los polos de diagramas de fallas de desgarre y diaclasas, ligadas aparentemente a éstas. En algunas de las fallas se observaron bien las es-

se ha intentado deducir la posición de σ_1 que la originó teóricamente, aún a sabiendas del margen de error existente (Angelier y Mechler, 1977). Sin embargo, las direcciones medias obtenidas coinciden bien con las del diagrama *a*. Así se obtiene una dirección de σ_1 N 117 E y otra N 7 E, muy parecidas a las logradas considerando tan sólo la orientación de las superficies de fallas y diaclasas. Cabe preguntarse sobre la posibilidad real de σ_1 a N 67 E.

En el diagrama *c* se proyectan los polos de superficies de diaclasas esencialmente verticales, tomados en las dolomías alpujárrides del río Izbor, al este

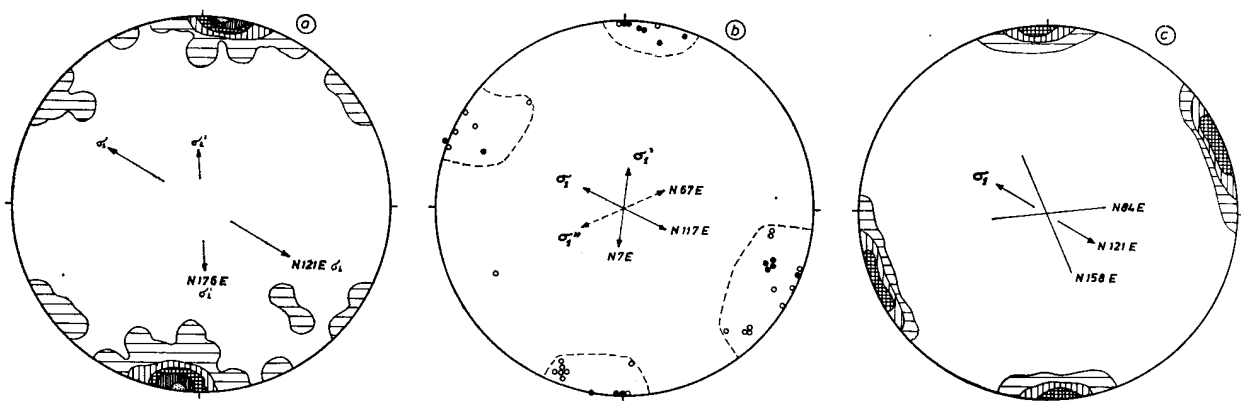


Fig. 4.—Diagrama *a*: Fallas de desgarre y diaclasas asociadas tomadas en el mismo lugar que en el diagrama 3 de la figura 3. Diagrama *b*: Direcciones de σ_1 deducidas en fallas de desgarre o normales que han actuado después como desgarres, cuyas estrías eran visibles. *Id.*, lugar que diagramas 3 y *a*. En negro posición de σ_1 para fallas cuyo sentido se conocía. En blanco posición de σ_1 elegida entre dos posibles al no conocer el sentido. Sobre 33 medidas, por lo que no se ha hecho el conteo. Diagrama *c*: Fracturas en dolomías alpujárrides al este de Pinos del Valle. Esta figura se ha elaborado de igual forma que la 3. Se marcan también las direcciones de los máximos esfuerzos compresivos y se indica σ_1 , σ_1' y σ_1'' , según su importancia.

trías y con las medidas tomadas en ellas se ha elaborado el diagrama *b*. En el diagrama *a* se obtiene un primer máximo muy neto con fracturas de dirección N 96 E, que en su mayor parte corresponde a diaclasas; aunque debe quedar claro que no en su totalidad. Compárese con el diagrama 3 del mismo área y se verá la casi total coincidencia con la dirección de fallas normales. Un segundo máximo corresponde a fallas de dirección N 141 E y un tercer máximo, muy poco neto en este caso, corresponde a fallas de dirección N 36 E. Dado que se han encontrado fallas conjugadas pertenecientes al primer y segundo sistemas y al segundo y tercer sistemas respectivamente las direcciones de σ_1 (dirección de mayor compresión) se situarán aproximadamente en las bisectrices de sus direcciones medias: N 121 E y N 176 E.

El diagrama *b* sirve para comprobar y completar a *a*. De algunas fallas se conocía la dirección y sentido de movimiento gracias a las estrías. De éstas

de Pinos del Valle. Las medidas son muy homogéneas y dan como direcciones medias N 158 E y N 84 E, en juegos muy netos. Son fracturas separadas unas de otras pocos centímetros y se muestran esencialmente paralelas a las grandes fallas que accidentan este sector. En general, son diaclasas, aunque algunas tienen desplazamientos, en algunos casos de varios metros en la vertical. La dirección N 84 E coincide prácticamente con la de las fallas normales medidas en los materiales neógenos, lo que sugiere inmediatamente una evidente relación genética. La dirección N 158 E corresponde al segundo sistema de fracturas anteriormente señalado para la región. La bisectriz de estas direcciones da una posición teórica de σ_1 de N 121 E, en sorprendente, pero no buscada, coincidencia con la obtenida en los diagramas *a* y *b*. En otros sectores, tal como en Pinos del Valle, aparecen asimismo estos juegos de fracturas.

En los travertinos, al noreste de Vélez de Benaudalla y en materiales cuaternarios próximos, se tomaron 19 medidas de fallas de desgarre, algunas con sentido de movimiento conocido. Casi todas las estrías son horizontales o casi horizontales, aunque en algunas fallas se observaban varios movimientos, hasta cuatro diferentes. De estas fallas predominan las de dirección aproximada N 30 E, sobre las N 130-140 E, al igual que sucede con las grandes fallas de este valle de Vélez de Benaudalla. La dirección de compresión deducida es N 175 E, aunque no se presenta el diagrama correspondiente.

b) *Fallas inversas y estructuras ligadas.*—En este sector existen localmente, en las calcarenitas del Tortonense, un gran número de pequeñas fracturas, muy próximas entre sí, que en algunos puntos triturán literalmente la roca. Sus direcciones y buzamientos varían de unos puntos a otros y su origen sobre el terreno es difícil de interpretar. Existe un juego de fracturas cuya dirección media es N 96 E que debe ser interpretado como fallas o microfallas normales, y dan el número principal de medidas. Otras se concentran según direcciones N 25 E y este-oeste aproximadamente, y corresponden a fracturas menos buzantes y, sin total seguridad, se puede pensar en microfallas inversas y diaclasas asociadas. El sistema N 25 E da teóricamente una dirección de compresión (σ_1) N 115 E muy congruente con la obtenida en los diagramas *a*, *b* y *c*.

Aunque no están representadas en diagramas, por su escaso número, existen en la carretera a Pinos del Valle, al norte de este pueblo, algunas fallas inversas que hacen cabalgar las dolomías alpujárrides sobre los limos rojos, posiblemente del Mioceno medio. Su dirección es N 160 E y vergencia al este. También hay algunos cantos estriados en esta misma formación, cuya dirección de compresión principal es aproximadamente N 60-70 E.

Hay que citar otra falla inversa, al menos localmente, unos dos kilómetros al oeste de Lanjarón, en una cantera de una ladrillería. Su dirección aproximada es N 110 E y hace cabalgar a las dolomías alpujárrides sobre materiales neógenos a los que invierte y produce un sinclinal vergente al sur. Más al oeste los conglomerados tortonenses se encuentran triturados junto a la falla por pequeñas superficies de desgarre paralelas. También dos kilómetros al sur del cruce de la carretera a Lanjarón, con la de Granada a Motril, (km. 475), y cerca del contacto con el Alpujárride, se ven, en conglomerados miocénicos, fallas inversas de fuerte buzamiento vergentes al norte. Parecen antiguas fallas normales que han rejugado como inversas. Se encuentran muy cerca de una falla de desgarre que localmente aparece como normal o como inversa, de dirección este-oeste. Se tomaron 11 medidas, las cuales parecen indicar una compresión

aproximadamente norte-sur. También desplazamientos de tipo inverso en cantos de conglomerados rotos indicaban idéntica dirección de compresión.

Datos sobre la cronología y sucesión de los movimientos

Los sistemas de fracturas se produjeron hacia el Mioceno inferior-medio y principios del Mioceno superior, después de las etapas de superposición de mantos, y una vez que ya se había producido la unión entre las zonas Internas y Externas de la Cordillera.

En un primer momento se produjeron las fracturas este-oeste y, casi coetáneamente o ligeramente posteriores, las N 120-150 E; ambos sistemas se crearon como desgarres (Sanz de Galdeano, 1983). Ligado a estos sistemas, y en especial al este-oeste, se crea el corredor de las Alpujarras (área deprimida de dirección aproximada este-oeste situada entre Sierra Nevada y las sierras de Lújar y Gádor). Esto se logró gracias a movimientos de desgarre importantes combinados con otros verticales. Parte de sus movimientos como fallas normales tuvieron lugar aproximadamente a principios del Tortonense. Además se crearon muchas pequeñas fallas normales que afectan a los materiales tortonenses; la dirección de estas fallas es copia de las anteriores. El depósito de la "Block-Formation" fosiliza a muchas de estas pequeñas fallas normales que se acaban de citar (véase el afloramiento del puente de Tablate). Así, es clara la atribución de una etapa "distensiva" en el Tortonense, al menos localmente. Este período de "distensión" puede deberse a reajustes isostáticos dentro de un ámbito compresivo caracterizado, sobre todo, por movimientos de desgarres, así en el sector central de las Cordilleras Béticas se localiza una pulsación compresiva en el Tortonense (Estévez *et al.*, 1982).

A partir de este momento la datación de algunos fenómenos es menos clara por faltarnos referencias cronológicas adecuadas. Se han producido nuevas compresiones y se han formado fallas de desgarre e inversas, y diaclasas asociadas, en los materiales del Mioceno Superior-Plioceno y Cuaternario. Incluso algunas fracturas normales rejuegan como desgarres. Las grandes fallas este-oeste vuelven a tener movimientos de desgarre. Como ejemplo de estos hechos se puede citar que unos seis kilómetros al sur de Pinos del Valle existen fallitas de desgarre muy bien formadas en piedemontes pleistocenos. También en el sector de Vélez de Benaudalla, las diaclasas y microfallas que afectan a travertinos y conglomerados cuaternarios indican movimientos muy recientes bajo una compresión horizontal aproximadamente norte-sur.

También se observa el fenómeno contrario: algunas fracturas presentan movimientos distensivos muy modernos en sectores próximos al área estudiada. Así

la falla de Nigüelas, en uno de sus últimos movimientos de tipo normal, corta a conos de deyección probablemente pleistocenos. También cerca de la cabecera del barranco de Tablate hay escarpes de fallas de apariencia normal muy bien conservados. Al norte del área estudiada, pero fuera de ella, en las fallas de Padul-Nigüelas, las facetas de sus superficies e incluso el perfil actual, se encuentran cortados por pequeñas fallas normales.

Los travertinos, tanto los superiores próximos a Pinos del Valle, como los de cascada, presentan fracturas de direcciones iguales a los tres sistemas reseñados anteriormente. No son fracturas limpias, pero no puede esperarse otra cosa de tal tipo de materiales y de unas condiciones tan superficiales de fracturación. Podrían deberse a compresiones, si bien muy próxima parece una falla normal que produce en estos mismos travertinos un salto de unos 15 metros.

Por último, hay que señalar ciertos momentos en que la región parece haberse levantado con mayor velocidad. Estos se produjeron en el Tortonense y quizás en parte del Plioceno, en el Pleistoceno medio y en la actualidad. Hoy los barrancos están muy encajados, véase el de Tablate y otros muchos más.

Importancia de las fracturas

La evaluación de la importancia de las fracturas no es fácil, debido a la compleja historia de sus movimientos. Las fallas normales que se produjeron durante el Tortonense muestran saltos en la vertical que oscilan desde pocos centímetros a otros que quizás superen, en el área estudiada, 50 metros.

Otros movimientos de falla son difíciles de localizar en el tiempo, pero su desplazamiento se puede evaluar. Así, materiales del Mioceno medio en el río Izbor, al este de Pinos del Valle, se encuentran a una altitud de 375 metros; algo más al oeste a 525 metros. El desplazamiento en la vertical es, por tanto, de unos 150 metros. En el mismo río Izbor se encuentran las calcarenitas a 400 metros, y el muro de estos mismos materiales aparece en el cementerio de Pinos del Valle a 625 metros, y en el pueblo a 675 metros. El salto integrado es, por tanto, del orden de 300 o más metros. Estos saltos también se producen en las fracturas este-oeste. Si se consideran los desnivelamientos a mayor escala los saltos totales son mayores. Materiales del Neógeno se encuentran en las proximidades de los Guájares, en las Llanadas a 1.200 metros. El salto vertical es superior a 800 metros. Al este de Lanjarón, en el contacto entre el Nevado-Filábride y el Alpujarride, el salto es al menos de 800 metros.

También en el valle del río Guadalfeo, después de su unión con el Izbor, valle en el que está Vélez de Benaudalla, las fallas N 10-30 E marcan decisiva-

mente el relieve. Son varios los escalones existentes en esta ladera que hunden desde Sierra de Lújar progresivamente bloques hasta el río Guadalfeo. El propio cauce del río está controlado en su dirección por estas fallas. Muchas de estas fracturas están ligadas a salidas de agua que han dado lugar a los travertinos potentes ya mencionados, dentro de los cuales se marcan discordancias, lo que indica diversos momentos de funcionamiento de las fallas. Valores de 700 o más metros de salto conjunto en la vertical se pueden fácilmente calcular. Hacen desaparecer la unidad de Lújar bajo otros mantos alpujarrides, ocultada por el hundimiento progresivo hacia el oeste producido por las fallas.

En el valle de los Guájares son también importantes los desplazamientos verticales. En el mismo destacan los producidos por las fallas N 120-150 E, que determinan una fosa compleja. En su lado norte el desnivel, a partir de las actuales diferencias de alturas del Mioceno, es del orden de 1.000 metros y algo menor en el sur. Son fallas verticales prácticamente y en sus planos se observan movimientos horizontales y verticales puros y otros oblicuos. Sus últimos movimientos afectan a derrubios de piedemonte, posiblemente pleistocenos y desnivelan superficies de erosión.

Los valores de los desplazamientos horizontales son muy difíciles de precisar, si bien muchas de estas fracturas presentan rasgos de importantes cizallamientos. Así, la falla casi este-oeste de Lanjarón, que presenta, a modo de grandes virutas alpujarrides (peñón del Yeso), o la noroeste-sureste, cerca del río Trevélez en su unión al Guadalfeo, con más de 20 metros de espesor de cataclasitas (movimiento dextrorso). Igual sucede con la falla del sur de los Guájares.

Un hecho a resaltar es que numerosos contactos de mantos de corrimiento, bien entre el Nevado-Filábride y el Alpujarride o bien en unidades de este último conjunto, están actualmente controlados por algunas de las fallas descritas, hecho que en muchos casos había pasado desapercibido.

La formación de estos juegos de fracturas, extendidas por toda la Cordillera, e incluso rebasándola, hay que situarla en el cuadro geodinámico general de la región. Las zonas Internas han derivado hacia el oeste en relación con las Externas, debido a la acción conjugada del acercamiento Europa-Africa y a la apertura del Atlántico. Esto trajo, en primer lugar, la formación de las fracturas de dirección aproximada N 70-100 E y sus posibles conjugadas N 120-150 E. Posteriormente, una vez suturadas las zonas Internas y Externas, el esfuerzo ha tenido posiblemente una componente más próxima a la dirección norte-sur, momento en el que han rejugado las N 120-150 E, con creación de algunas nuevas y de las de dirección N 10-30 E. Con este mosaico creado, la región forzosamente se ha mostrado muy móvil.

Cuando existieron esfuerzos compresivos en general, siempre han encontrado fracturas capaces de moverse, aún cuando fuese en dirección contraria a su movimiento original. Si ha habido relajación se ha acentuado el reajuste isostático. Así, hay casos en lugares muy próximos en los que se han producido movimientos muy diferentes casi coincidentes en el tiempo.

Agradecimientos

Al profesor R. Torres Roldán por su valiosa corrección crítica del artículo.

Trabajo perteneciente al proyecto del "Borde mediterráneo español: Evolución del Orógeno Bético y Geodinámica de las Depresiones Neógenas" (Dpto. de Investigaciones Geológicas del C. S. I. C., Centro Coordinado con la Universidad de Granada).

Bibliografía

- ALDAYA, F.; MARTÍNEZ, E.; DÍAZ DE FEDERICO, A.; PUGA, E.; GARCÍA DUEÑAS, V. y NAVARRO-VILA, F.
1979. Mapa geológico de España. Serie MAGNA. Escala 1:50.000, núm. 1.042 (Lanjarón).
- ANGELIER, J. y MECHLER, P.
1977. Sur une méthode graphique de recherche de contraintes principales également utilisable en tectonique et en séismologie: la méthode des dièdres droits. *Bull. Soc. géol. Fr.* (7), 19, 1309-1308.
- AVIDAD, J.; GARCÍA DUEÑAS, V.; GALLEGOS, J. A. y GONZÁLEZ-DONOSO, J. M.
1981. Mapa geológico de España. Serie MAGNA, escala 1:50.000, núm. 1.041 (Dúrcal). *I. G. M. E.*
- COPPONEX, J. P.
1959. Observations géologiques sur les Alpujarrides occidentales. *Bol. Inst. Geol. Min.*, 70, 79-208.
- ESTÉVEZ, A.; RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, J.; SANZ DE GALDEANO, C. y VERA, J. A.
1982. Evidencia de una fase compresiva de edad Tortonense en el sector central de las Cordilleras Béticas. *Estudios geol.*, 38, 55-60.
- GALLEGOS, J. A.
1975. *Los Alpujarrides al oeste de Sierra Nevada*. Tesis. Universidad de Granada, 494 págs.
- GONZÁLEZ-DONOSO, J. A.
1970. Estudio geológico de la Depresión de Granada. *Cuad. Geol.*, Universidad de Granada, 1, 5-8.
- GONZÁLEZ-DONOSO, J. M.; RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, J.; ESTÉVEZ, A.; LINARES, D.; LÓPEZ GARRIDO, A. C.; SANZ DE GALDEANO, C. y SERRANO, F.
1983. El Neógeno del borde SE de la depresión de Granada y su conexión con el Corredor de las Alpujarras. *X Cong. Nal. de Sedimentología*, 5, 33-34.
- PERNIA, J. M.; GONZÁLEZ DE VALLEJO, L.; SAINT-AUBIN, J.; GÓMEZ PRIETO, J. A.; ROSALES, F.; ESTÉVEZ, A.; SANZ DE GALDEANO, C.; UDÍAS, A.; CAPOTE, R. y CARBO, A.
1983. Mapa sismotectónico de España. Hoja Piloto. Granada (escala 1:100.000). *I. G. M. E.*
- PUGA, E.
1971. *Investigaciones petrológicas en Sierra Nevada Occidental (Cordilleras Béticas)*. Tesis. Universidad de Granada, 269 págs.
- RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, J.
1982. *El Mioceno del sector central de las Cordilleras Béticas*. Tesis. Universidad de Granada, 224 páginas.
- SANZ DE GALDEANO, C.
1983. Los accidentes y fracturas principales de las Cordilleras Béticas. *Estudios geol.*, 39, 157-165.
- SANZ DE GALDEANO, C.; VIDAL, F. y DE MIGUEL, F.
1982. El sistema de fracturas de dirección N10-30E del borde occidental de Sierra Nevada (Cordilleras Béticas). *Estudios geol.*, 38, 393-398.
- VIDAL, F.; DE MIGUEL, F. y SANZ DE GALDEANO, C.
1982. El mismo granadino del 20 de junio de 1979. *Rev. de Geofísica*, Madrid, 38, 57-63.

Recibida el 11 de noviembre de 1983.
Aceptado el 23 de abril de 1984.