

## RELACIONES ENTRE LA FRACTURACION Y EL KARST EN EL MACIZO DE LA PIEDRA DE SAN MARTIN (PIRINEO OCCIDENTAL)

J. López Martínez (\*)

### RESUMEN

A partir del mapa de fracturación del macizo kárstico de la Piedra de San Martín, confeccionado mediante fotointerpretación, se ha efectuado el análisis de la orientación y longitud de 2.149 fracturas. Los resultados han sido comparados con los relativos al análisis de 1.244 conductos subterráneos. De este modo, se pone de manifiesto la importancia de las orientaciones Este-Oeste y ESE tanto para las fracturas en superficie como para las cavidades, siendo las orientaciones NNE y NE mucho más destacadas en el caso de las fracturas que en el de los conductos subterráneos. Ello apoya la mayor influencia en el desarrollo del endokarst de las fracturas más largas que, en la mayoría de los casos, corresponden a fallas, las cuales condicionan además los rasgos mayores del relieve del macizo. Se comenta también la influencia de la fracturación en las formas exokársticas desde los lapiaz hasta las grandes depresiones.

**Palabras clave:** *Fracturas, Cuevas, Karst, Pirineos.*

### ABSTRACT

Orientation and length analysis of 2.149 fractures of the karstic massif of La Piedra de San Martín (Western Pyrenees) has been completed from photogeologic data. A comparison of these results to the structural analysis of 1.244 caves of this region clearly shows E-W and ESE dominant trends for surficial fractures as well as for caves, where NNE and NE structural trends are much more obvious for the fractures than for the caves. This implies a greater influence of longer fractures in the endokarst development, which in most cases correspond to faults which also control the most significant relief features of the massif. The influence of the fractures network in exokarstic landforms, from lapiaz to large depressions, is also shown.

**Key words:** *Fractures, Caves, Karst, Pyrenees.*

### Introducción

El macizo de la Piedra de San Martín se encuentra situado en la cabecera de los ríos españoles Esca y Veral y de los franceses Saison y Les-cun. En él se ha desarrollado un sistema kárstico de gran importancia, del que se conocen unos 150 km., de longitud de cavidades y un desnivel de más de 1.300 m.

La karstogénesis se ha visto favorecida por factores litológicos: presencia de la formación de calizas muy puras del Cretácico superior que tiene más de 300 m. de espesor y es conocida como

“calizas de los cañones” y por aspectos climáticos: la precipitación anual supera los 3.000 mm. en la zona alta. Pero otro condicionante fundamental ha sido la estructura geológica y en particular la fracturación.

En cualquier mapa geológico de la zona, como la hoja 1:50.000 de la cartografía francesa (BRGM 1970), resulta evidente la densa fracturación del macizo. Las apreciaciones a esa escala, al igual que con las utilizadas en otros trabajos basados en imágenes de satélite (Cadillac, 1979) o en observaciones microtectónicas (De Luca *et al.*, 1985), no muestran con suficiente detalle la

(\*) Cátedra de Geodinámica. Universidad Autónoma 28049 Madrid.

relación con las formas kársticas. Más útiles resultan para este fin, las observaciones realizadas por Llopis (1954 y 1955) sobre un sector del macizo, cuando aún era poco conocida la red endokárstica.

En diversos trabajos sobre macizos kársticos se recalca la importancia de la fracturación en la organización del drenaje subterráneo (Díaz Hernández y Fernández Rubio, 1978; Grillot, y Guerin, 1975; Grillot, y Drogue, 1977, etc.), habiéndose realizado sobre este tema algunos tratamientos estadísticos (Benavente, 1980). De esta manera y mediante el análisis estructural pueden resultar predecibles las direcciones principales de las cavidades a través de las cuales se realiza el drenaje kárstico. En esa línea se orienta el método puesto a punto por Eraso (1986) y que ha sido comprobado con algunos datos del macizo de la Piedra de San Martín (Herrero *et al.*, 1983; Eraso, 1986).

Por otra parte y gracias a la labor de los espeleólogos, tras más de treinta años de exploraciones, se posee una importante documentación (Santesteban, 1964; ARSIP, 1981; Douat, 1981; Pernette, 1982; Ruiz *et al.*, 1982; Maire, 1983; Douat *et al.*, 1985) sobre el desarrollo y características de la red subterránea en el macizo de la Piedra de San Martín. Las topografías de las cavidades, realizadas por los numerosos equipos que han trabajado en el macizo, nos han permitido disponer de los datos básicos para el análisis de las orientaciones de cavidades.

Más datos relativos a los temas abordados, así como las tablas completas de los valores de las mediciones, se encuentran contenidos en la Tesis Doctoral del autor (López Martínez, 1986).

### Rasgos estructurales del macizo

Los rasgos estructurales del macizo de la Piedra de San Martín, se enmarcan en su localización dentro de la cordillera pirenaica, formando parte de la cobertera mesozoica de la zona Axial.

En líneas generales, los aspectos fundamentales de la estructura vienen marcados por:

- Disposición discordante del Cretácico superior sobre el substrato paleozoico.
- Inmersión de las estructuras hacia el Oeste.
- Buzamiento general hacia el Norte de la serie cretácica en la vertiente septentrional del macizo.
- En el sector meridional existencia de numerosos pliegues, pliegues-falla y cabalgamientos vergentes al Sur.

- Deslizamiento hacia el Sur de materiales alóctonos (klippe de Lakora).
- Importante red de fracturas.

Los citados rasgos estructurales tienen una incidencia fundamental en la morfogénesis. En particular, condicionan la disposición de las formas endokársticas y exokársticas, así como el funcionamiento hidrológico del acuífero kárstico.

### Análisis de la fracturación

A partir de fotografías aéreas (vuelo americano de 1957 y del I.G.N. francés de 1983) a escala aproximada 1:25.000, se han dibujado las fracturas que afectan a la cobertera cretácica (Fig. 1).

Al observar el citado mapa de fracturación, se aprecia directamente que existen orientaciones predominantes. Para determinar con mayor precisión las características de dicha red, hemos procedido a medir las direcciones y longitudes de los 2.149 segmentos diferenciados. Los resultados se han representado mediante diagramas en rosa, utilizando para ello, al igual que para su tratamiento, la ayuda del ordenador. En dichos diagramas los radios son proporcionales al porcentaje de fracturas que poseen cada orientación. En función de su orientación, el total de las fracturas se ha distribuido en nueve conjuntos que agrupan los valores según intervalos angulares de 20°. El resultado de las orientaciones de las 2.149 fracturas así agrupadas se encuentra representado en la Fig. 2.

Por otra parte, además de las orientaciones de las fracturas, se ha considerado también la longitud de las mismas. En base a ello, las fracturas han sido clasificadas en tres grupos: menores de 200 m., con longitud entre 200 m. y 400 m. y mayores de 400 m. Estos valores representan separadores que fueron seleccionados después de pruebas previas que determinaron cierta discriminación.

Del total de fracturas consideradas 1.019 son del primer grupo, 737 del segundo y 393 del tercero. Los diagramas en rosa de los tres grupos diferenciados son expuestos en la Fig. 3.

### Resultados relativos a las fracturas

Al considerar el conjunto de las 2.149 fracturas distribuidas con intervalos de 20° (Fig. 2), se aprecia que las direcciones predominantes son: entre 20° y 39° (el 21,71% de las fracturas presenta esta orientación) y entre 80° y 119° (34,09%),

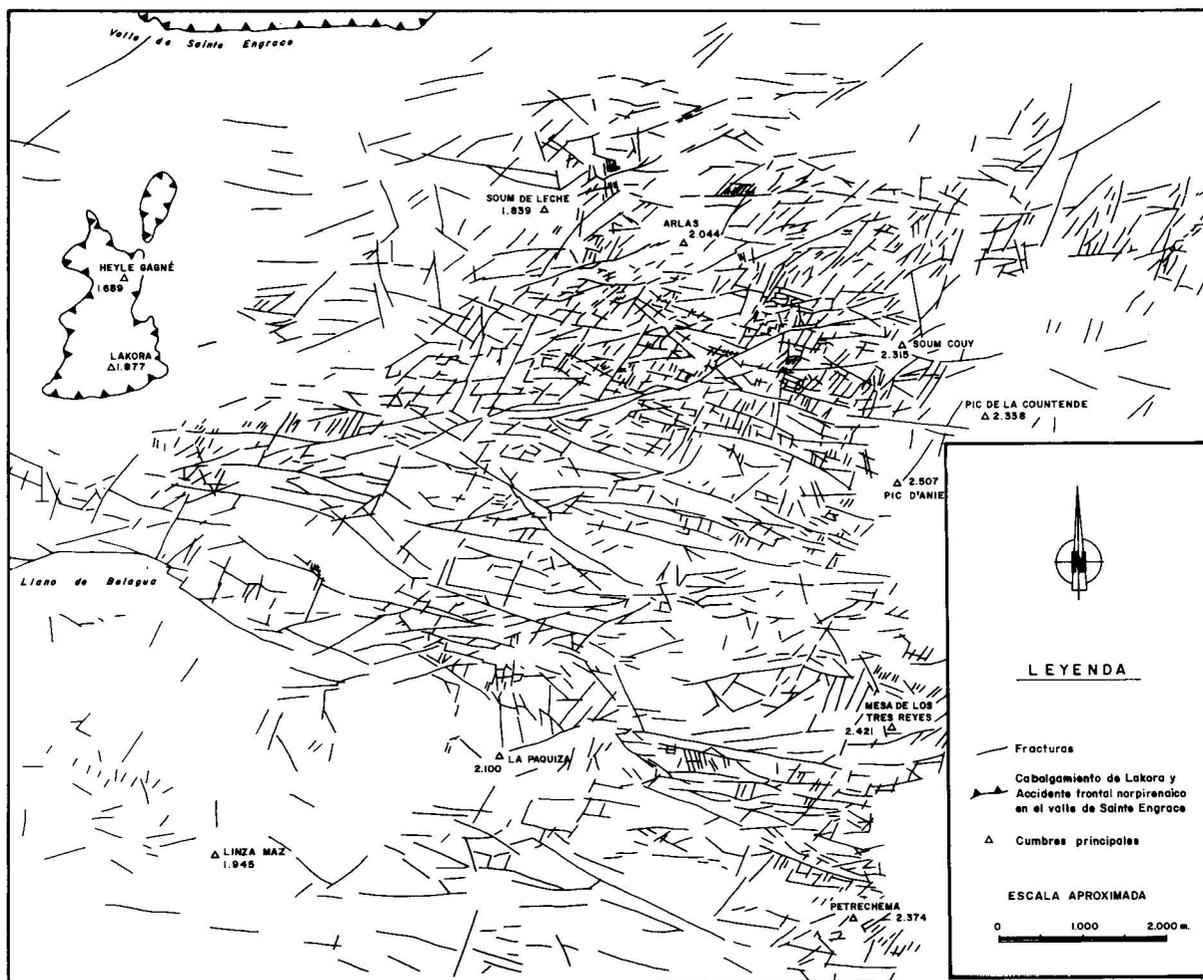


Fig. 1.—Mapa de fracturación del macizo de la Piedra de San Martín.

existiendo también una agrupación notable (14,94%) entre  $40^\circ$  y  $59^\circ$ .

Al representar las fracturas según longitudes y orientaciones, se aprecia que las fracturas menores de 200 m. (Fig. 3-a) manifiestan una notable concentración según la dirección NNE, destacando el intervalo comprendido entre  $20^\circ$  y  $39^\circ$ , al que corresponde el 28,65% de las 1.019 fracturas. Son también de relevancia apreciable las orientaciones de  $40^\circ$  a  $59^\circ$  (16,39%), de  $80^\circ$  a  $99^\circ$  (13,74%), de  $100^\circ$  a  $119^\circ$  (10,89%) y de  $60^\circ$  a  $79^\circ$  (9,62%).

Las fracturas entre los 200 y 400 m. (Fig. 3-b) se orientan predominantemente en las direcciones ESE y NE. Parecen ser estas fracturas, cuyo número es de 737, las que tienen orientaciones más parecidas a los dos sistemas principales detectados para el total de las 2.149 fracturas (Fig. 2). Destaca la orientación entre  $80^\circ$  y  $119^\circ$ , a la

que corresponde el 40,16% de las fracturas, junto con la de  $20^\circ$  a  $39^\circ$  (17,23%), siendo también apreciables de  $40^\circ$  a  $59^\circ$  (14,79%) y de  $60^\circ$  a  $79^\circ$  (12,62%).

Para las fracturas de longitud superior a los 400 m., se pone de manifiesto (Fig. 3-c) una orientación dominante entre  $80^\circ$  y  $119^\circ$ , la cual poseen el 52,67% de las 393 fracturas de este grupo.

#### Análisis de los conductos subterráneos

Las características geológicas, topográficas y climáticas del macizo de la Piedra de San Martín, han conducido a un enorme desarrollo del endokarst, permitiendo que el desnivel potencial karsificable supere los dos mil metros.

Hasta enero de 1985 se habían explorado unas 150 simas que sobrepasan los 100 m., de desnivel.

Muchas de ellas se prolongan en profundidad a través de galerías y pozos, de modo que permiten acceder a extensas redes subterráneas. Existen siete de dichos sistemas en los que se ha conseguido alcanzar un desnivel superior a los 600 m. En dos casos —el sistema de la Piedra de San Martín y el de las Puertas de Illamina— el desnivel explorado supera los 1.300 m., lo que las sitúa entre las cavidades más profundas del mundo. En

total, la longitud de las cavidades recorridas y topografiadas por los espeleólogos en el macizo es del orden de 150 Km.

El modelo general que siguen las cavidades es que desde las bocas de entrada se tiene acceso a simas en las que se suceden una serie de pozos verticales. En muchos casos estas simas tienen entre 300 y 400 m. de profundidad y alcanzan la base de la “caliza de los cañones”, donde se sitúan lechos esquistosos a favor de los que circulan las corrientes subterráneas principales.

Con el fin de conocer las orientaciones predominantes de las cavidades, se ha realizado un análisis similar al que se efectuó en el caso de la fracturación. Para ello, se ha utilizado como base la cartografía de síntesis de los conductos subterráneos, a escala 1:10.000, elaborada por Douat (1981). De dicho mapa hemos tratado los datos correspondientes a los siguientes sistemas subterráneos: Pozo Estella, Piedra de San Martín, Arphidia, Lonne Peyret, Mulekeke, Chipi Joseteko, M 326, SC 60 y AN 6. En el caso de dichas cavidades, las topografías están puestas al día para octubre de 1980 y su disposición en planta se ha representado en la Fig. 4.

Se ha medido la longitud y dirección de todos los conductos representados en el mapa, que han supuesto un total de 1.244 segmentos. En el diagrama de la Fig. 5 se ha representado las orientaciones de todas las cavidades consideradas, agrupándose en familias con intervalos angulares de 20°. Al igual que hicieramos con las fracturas, se han diferenciado las cavidades según longitudes, utilizando los mismos intervalos y otros más detallados para obtener mayor precisión. Los datos se han representado en la Fig. 6.

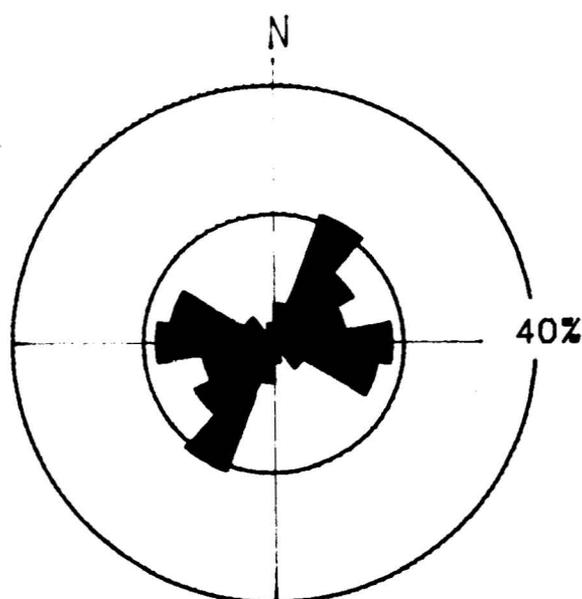


Fig. 2.—Diagrama en rosa con la orientación de las 2.149 fracturas representadas en el mapa de fracturación, agrupadas en familias con intervalos angulares de 20°.

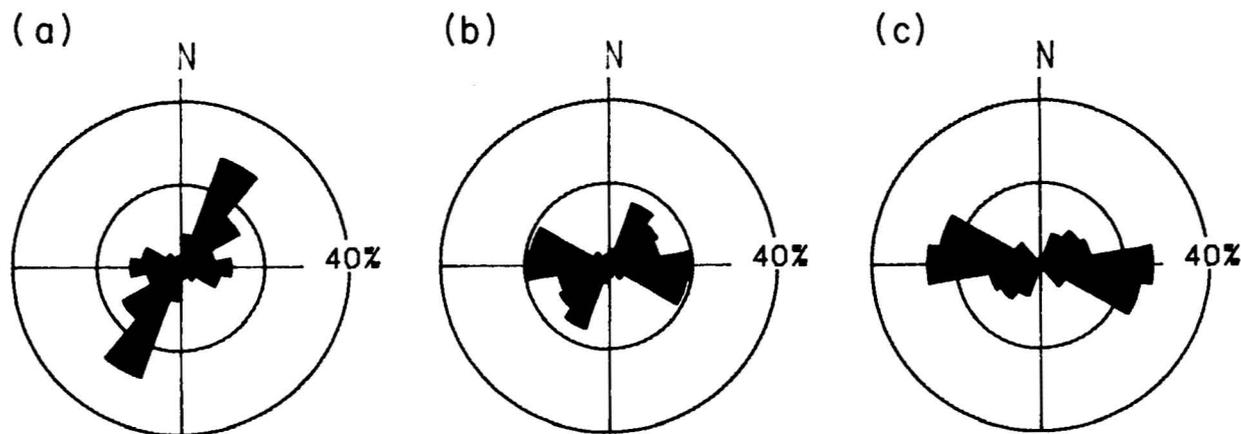


Fig. 3.—Diagramas en rosa con la orientación, según longitudes, de las fracturas representadas en el mapa de fracturación.  
a) 1.019 fracturas con longitud entre 0 m. y 199 m. b) 737 fracturas con longitud entre 200 m. y 399 m.  
c) 393 fracturas con longitud superior a 400 m.

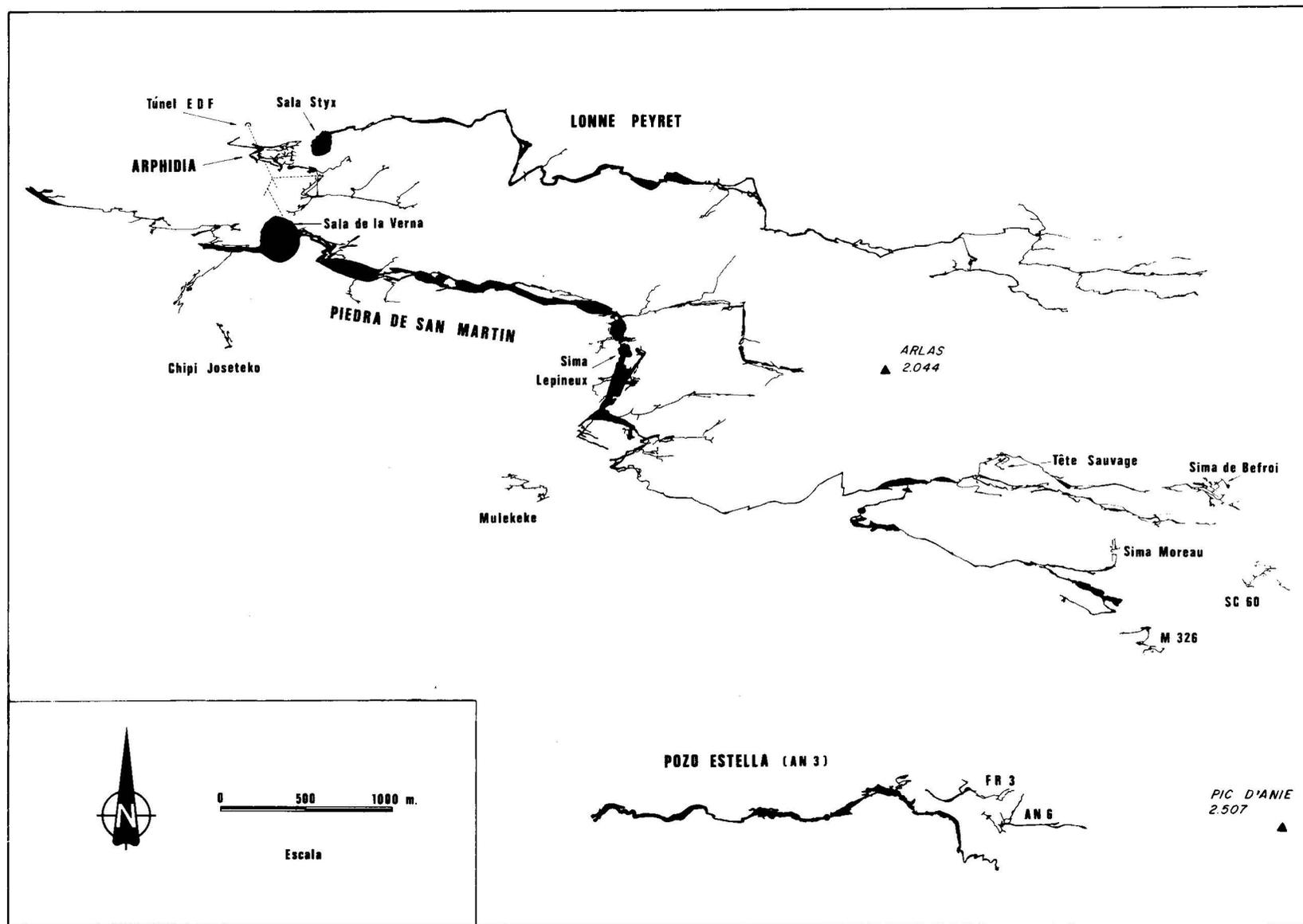


Fig. 4.—Mapa de los conductos subterráneos considerados. (Tomado de Douat, 1981).

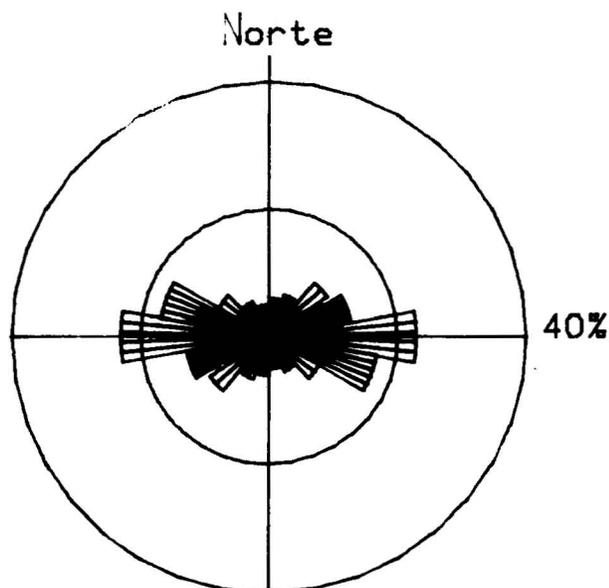


Fig. 5.—Diagrama en rosa con la orientación de los 1.244 conductos subterráneos representados en la Fig. 4, agrupados en familias con intervalos angulares de 20°.

### Resultados relativos a las cavidades

Respecto a las orientaciones del total de las cavidades consideradas (Fig. 5), se aprecia un máximo notable (23,07%) en las direcciones comprendidas entre 80° y 99°. Es también destacable la importancia de las orientaciones entre los 100° y 119°, según las que se incluye el 17,28%. Notable, pero menos destacado, es el grupo de conductos entre 60° y 79° (13,02%).

Los resultados del tratamiento de las orientaciones y longitudes de las cavidades, ponen de manifiesto que con una longitud menor de 200 m. existen en total 1.213 conductos. Las orientaciones predominantes de estos muestran un máximo, con el 22,92%, entre 80° y 99°, siendo también destacables las orientaciones entre 100° y 119° (16,65%) y entre 60° y 79° (13,11%) (Fig. 6-a).

Con longitud entre 200 y 400 m. existen 30 cavidades, que presentan un destacado máximo principal según la dirección 100°-119° (42,33%) y otro secundario según 80°-99° (30%) (Fig. 6-b). De más de 400 m. solo se ha medido una cavidad que presenta orientación NE.

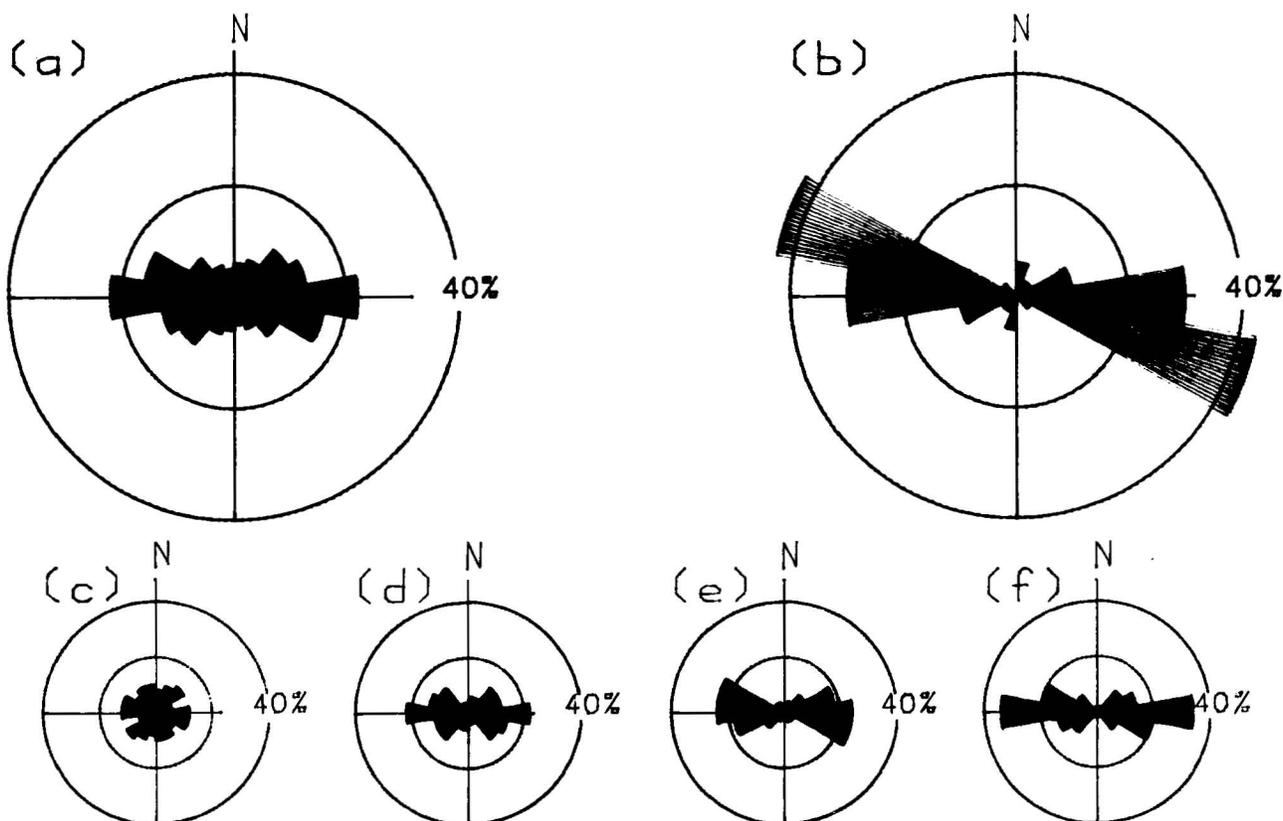


Fig. 6.—Diagramas en rosa con la orientación, según longitudes, de los conductos subterráneos representados en la Fig. 4.

- a) 1.213 conductos con longitud entre 0 m. y 199 m. b) 30 conductos con longitud entre 200 m. y 399 m.
- c) 357 conductos con longitud entre 0 m. y 19 m. d) 407 conductos con longitud entre 20 m. y 39 m.
- e) 195 conductos con longitud entre 40 m. y 59 m. f) 285 conductos con longitud superior a 60 m.

Al subdividir el grupo de las cuevas de longitudes menores, se pone de manifiesto que entre 0 y 20 m. existen 357 cavidades, que no poseen orientaciones predominantes (Fig. 6-c). Los conductos con longitud entre 20 y 40 m. son 407. En ellos se aprecia (Fig. 6-d) que destaca la orientación Este-Oeste (22,60% entre 80° y 99°), siguiéndole en importancia las direcciones ENE y ESE. Los tramos de cavidad con longitud de 40 a 60 m. son 195 y también se agrupan predominantemente en direcciones Este-Oeste, ESE y ENE. Existen 137 segmentos, el 70,26%, comprendidos en el intervalo que va de 80° a 119° (Fig. 6-e). Por último, el resto de cavidades, con tramos que superan los 60 m. de longitud (285 conductos), presentan un destacado máximo en dirección Este-Oeste (34,74% entre 80° y 99°), seguido en importancia por la orientación ESE (21,05%) (Fig. 6-f).

Se aprecia que ninguna de las longitudes diferenciadas se agrupa de forma importante en direcciones diferentes de las que son generales para todo el conjunto de conductos. Siendo, en todo caso, las de menor tamaño, sobre todo las inferiores a 20 m., las que manifiestan un agrupamiento menos notable en torno a las direcciones predominantes.

### Relaciones entre la fracturación y las formas kársticas

La estructura geológica, y en particular la fracturación, es un condicionante fundamental para la disposición de las formas kársticas tanto superficiales como subterráneas. Aprovechando los planos menos resistentes que constituyen dichas discontinuidades, la erosión actúa preferencialmente y llega a originar desde formas de detalle a otras de mayor amplitud.

Entre las formas exokársticas, la fracturación afecta al desarrollo de los lapiazes. Así, de modo muy directo, se ve condicionado el más frecuente tipo de lapiaz del macizo: el lapiaz estructural (Kluftkarren), al igual que los surcos mayores tipo bogaz. De forma algo más indirecta, las fallas y diaclasas afectan también al lapiaz en regueros (Rillkarren), al proporcionar las paredes en que son labrados los surcos. Asimismo, las formas mixtas glacio-kársticas del tipo del karst en escalones estructurales (Schichttreppenkarst) existentes en el macizo, se ven influenciadas por la red de fracturas.

Dicha red afecta también a la disposición de los valles kársticos y a muchas depresiones cerradas que, en numerosas ocasiones, se encuentran

a su vez relacionadas con los citados valles. Por otra parte, es muy frecuente en el macizo que las dolinas se alineen a lo largo de las fracturas.

Las fallas han condicionado también un emplazamiento favorable para la uvala y dolinas de la Contienda (Fig. 7) al generar la fosa tectónica en la que se sitúan esas depresiones, que podríamos calificar de tectono-glacio-kársticas ya que el hielo también ha influido en su desarrollo.

Los valles kársticos, otro elemento importante de la morfología del macizo, poseen una orientación predominante ESE, existiendo también bastantes con dirección aproximada NE. Ambas son, como ya hemos comentado, destacadas direcciones de fracturación. Se aprecia una importante correspondencia de los valles con las fracturas medianas y mayores.

Las bocas de entrada a algunas simas se localizan también sobre fracturas, o sobre cruce de varias como ocurre con la histórica sima Lepineux.

En cuanto a la relación de la red de fracturas con el desarrollo de las cavidades, al representar conjuntamente los datos de las 2.149 medidas de fracturas y de los 1.244 conductos considerados (Fig. 8), se pone de manifiesto que las direcciones Este-Oeste y ESE son de gran importancia en ambos casos, así como que las orientaciones NNE y NE son mucho más destacadas en el caso de las fracturas que en el de las cavidades. Un hecho que hacemos resaltar es que teniendo en cuenta las longitudes de los segmentos, son precisamente los de mayor tamaño los que manifiestan orientaciones más comunes entre fracturas y cavidades.

Por otra parte, y considerando únicamente la longitud de las fracturas y cavidades de esta misma área, se ha podido apreciar que ambas poblaciones, representadas en histogramas de frecuencia según intervalos de longitud, se ajustan a una distribución log-normal y podrían llegar a relacionarse según una ecuación del tipo:

$$L_f = 5 L_c + 50$$

en la cual  $L_f$  = longitud de fractura;  $L_c$  = longitud más probable del conducto subterráneo que se desarrollaría a favor de aquella; estando todas las medidas expresadas en metros (López Martínez y Martín Escorza, 1987).

En este trabajo hemos considerado las fracturas en su conjunto, sin diferenciar de entre ellas las fallas; cabe señalar, sin embargo, que estas tienen una relativamente mayor influencia en el desarrollo a su favor de los conductos subterráneos (Eraso, 1986). De hecho, las direcciones entre ENE y ESE, predominantes para las cavi-



Fig. 7.—Superposición de formas kársticas y glacio-kársticas sobre una estructura fallada en la fosa tectónica de la Contienda, situada al SO del Pico de Arlas. Las calizas con nódulos de sílex campanienses (c) ocupan el fondo de la depresión, hundidas más de 100 m. con respecto a las "calizas de los cañones" santonienses (s). En la imagen, tomada desde la cumbre de Arlas (2.044 m.) se distingue en primer plano el flysch (f) y los calcoesquitos (e) del Senoniense superior. En el fondo de la depresión se sitúa una uvala (u) y se aprecian signos de erosión glaciaria a lo largo del valle. Los cuatro caballos señalados proporcionan la escala.

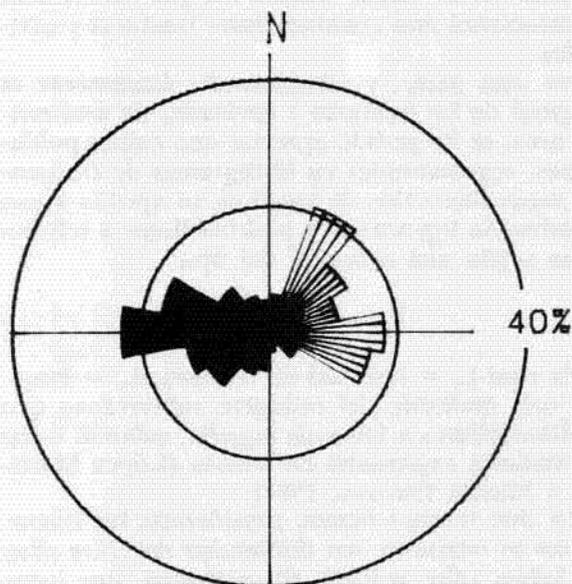


Fig. 8.—Diagrama en rosa comparativo de las orientaciones de fracturas (2.149 medidas) y cavidades (1.244 medidas). A la izquierda, en negro, datos relativos a los conductos subterráneos y a la derecha, rayado, datos relativos a las fracturas.

des, coinciden con las fallas principales de la región, las cuales, por otra parte, son las fracturas más largas y las que tienen una incidencia mayor en la configuración de los rasgos del relieve del macizo.

### Conclusiones

Enumeramos a continuación las que nos parecen conclusiones más relevantes obtenidas del análisis de las fracturas y cavidades estudiadas en el karst del macizo de la Piedra de San Martín.

– Las direcciones principales de las fracturas son, por orden de importancia: NNE, E-O, ESE, NE y ENE.

– Las fracturas de longitud superior a los 400 m. poseen una notable influencia en los principales rasgos del relieve y tienen orientaciones predominantes ENE y ESE.

– Las fracturas con longitud menor a los 200 m., se agrupan, fundamentalmente, según la dirección NNE.

- Las fracturas de longitud entre los 200 y 400 m. poseen orientaciones similares a las correspondientes al conjunto de las fracturas.

- Las galerías subterráneas muestran una orientación predominante de ENE a ESE. Ello es general para los conductos de todas las longitudes, aunque los menores muestran un agrupamiento menos notable en torno a las direcciones dominantes.

- Los conductos subterráneos presentan muchas más inflexiones que las fracturas en superficie, por lo que son menos abundantes en profundidad los segmentos largos. Sin embargo, ello puede ser debido, en parte, al mayor detalle de la cartografía de las cavidades usada como base.

- Al comparar las orientaciones de fracturas en superficie y conductos subterráneos, se aprecia que las direcciones Este-Oeste y ESE son de gran importancia en ambos casos, pero las orientaciones NNE y NE son mucho más destacadas en el caso de las fracturas que en el de las cavidades. Los segmentos de mayor tamaño son los que muestran orientaciones con más coincidencia.

- Los conductos subterráneos se adaptan preferentemente a las fallas, que constituyen las fracturas de mayor longitud y son las que condicionan los rasgos mayores del relieve del macizo.

- La fracturación tiene, en definitiva, una importante y directa influencia en el desarrollo de las formas kársticas del macizo de la Piedra de San Martín, tanto endokársticas como exokársticas, en este último caso desde los lapiaces hasta las grandes depresiones.

#### AGRADECIMIENTOS

Al Servicio Geológico de la Diputación de Navarra por el apoyo prestado para la realización del trabajo, más amplio, del que forma parte este estudio. A Mateo Gutiérrez Elorza, Carlos Martín Escorza, Alfredo Arche, José Ignacio Ramírez y José Manuel Sanz por su ayuda. A todos los espeleólogos que han efectuado exploraciones en el macizo, cuyo esfuerzo ha permitido disponer de datos básicos para este estudio.

#### Referencias

- ARSIP (1981) *Bulletins* 12-15, años 1977-1980. Varios autores. Ed. ARSIP. 152 págs.  
Benavente, J. (1980) Un ejemplo de análisis estadístico de la fracturación en un macizo kárstico. *Tecniterrae* 37, pp. 51-65.

- BRGM (1970) Carte Geologique détaillée de la France. Feuille XIV. 47 E 1:50.000. Larrau.  
Cadillac, H. (1979) *Teledetection et Geologie. Essai d'utilisation des images Landsat dans les Pyrenées, le Bassin de L'Ebre et la Catalogne*. These. Univ. Paul Sabatier. Toulouse. 161 págs.  
De Luca, P., Duee, G. y Hervouet, Y. (1985) Evolution et deformation du bassin de flysch du Cretacée superieur de la haute chaine. (Pyrenées Basco-béarnaises-region du Pic d'Orhy). *Bull. Soc. géol. France*. (8), t. 1, pp. 249-262.  
Díaz Hernández, J.L. y Fernández Rubio, R. (1978). Determinación de la fisuración dominante a partir de los fotogramas aéreos y constatación hidroquímica de la circulación acuífera subterránea a favor de la fracturación principal en un acuífero carbonatado. Cuenca alta del río Darro (Granada). *Rev. Tecniterrae* 25, 34-43.  
Douat, M. (1981). Synthèse generale des reseaux. *Bull. ARSIP* 12-15.  
Douat, M., Pernette, J.F. y Puisais, S. (1985). *Spéléo sportive à la Pierre Saint Martin*. Edisud. 136 págs.  
Eraso, A. (1986). Método de predicción de las direcciones principales de drenaje en el karst. *Kobie* (Secc. C. Nat.) Bilbao. Dip. F. Vizcaya. 15, 15-22.  
Grillot, J.C. y Guerin, R. (1975). Tectonique, microtectonique et directions des écoulements souterrains: exemple de relations dans le bassin karstique du Haut-Vidourle (Gard, France). *Rev. Geogr. Phys. Geol. Dynamique*. 27, 45-60.  
Grillot, J.C. y Guerin, R. (1975). Tectonique, microtectonique et directions des écoulements souterrains: exemple de relations dans le bassin karstique du Haut-Vidourle (Gard, France). *Rev. Geogr. Phys. Geol. Dynamique*. 27, 45-60.  
Grillot, J.C. y Drogue, C. (1977). Sur le role de la fracturation dans l'organisation de certains phenomenes karstiques souterrains. *Rev. Norois*. 95 bis, 12-21.  
Herrero, N., Saint-Aubin, J. y Eraso, A. (1983). El análisis estructural como herramienta para predecir direcciones de drenaje kárstico. Primeros resultados en Larra. *Actas Jornadas planif. exp. espeleol. en Larra. Congr. Karts Larra* 1982. Publ. Serv. Geol. Diput. Navarra. 11-29.  
López Martínez, J. (1986). *Geomorfología del macizo kárstico de la Piedra de San Martín* (Pirineo Occidental). Tesis Doctoral. Univ. Zaragoza. 529 págs.  
López Martínez, J. y Martín Escorza, C. (1987). Longitudes de fracturas y cavidades en el karst de Larra (Pirineo). *Geogaceta*, 2, 32-34.  
Llopis, N. (1954). Sobre las características hidrogeológicas de la red hipogea de la sima de la Piedra de San Martín (Navarra). *Speleon*, año V, 1-2, 11-53.  
Llopis, N. (1955). Glaciarismo y karstificación en la región de la Piedra de San Martín (Navarra). *Rev. Geographica*, 5-6, 21-42.  
Maire, R. (1983). Connaissances actuelles sur le karst profond de Larra (Pyrenées Atlantiques, Navarra, Huesca). *Reun. Monograf. Karst Larra*, 1982. Publ. Serv. Geol. Diput. Navarra. 54-79.  
Pernette, J.F. (1982). *A la decouverte des gouffres de la Pierre Saint Martin*. Ed. SNMJ Pau. 89 págs.  
Ruiz, D., Torrecilla, J.R., Chasco, A. y Luquin, A. (1982). *Larra. Cabeceras del río San Jorge*. Ed. Grupo Espel. Inst. Princ. de Viana-Club Mont. Estella. 119 págs.  
Santesteban, I. (1964) *Larra. Sima de la Piedra de San Martín*. Ed. Inst. Princ. de Viana. Pamplona. 232 págs.

Recibido el 8 de Abril de 1987  
Aceptado el 22 de Mayo de 1987