

II/2-4-1

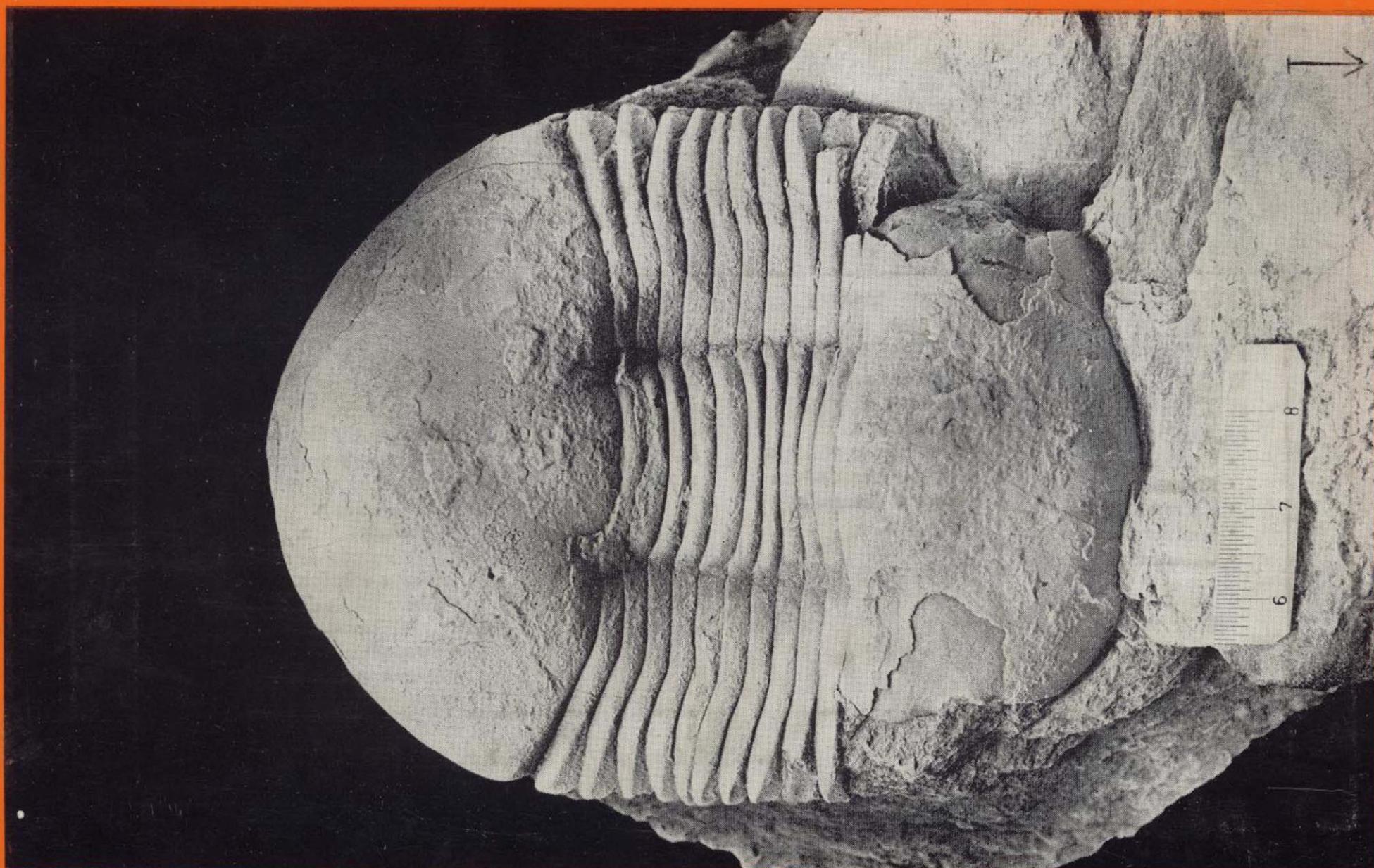
En este número:

- Introducción al estudio de la familia Illaenidae (Trilobita, Illaenina) en el Ordovícico español.
- Las series terminales neógenas en el sector centromeridional de la Depresión del Ebro y su relación con la morfogénesis.
- Hallazgo de Paradoxides (Eccaparadoxides) brachyrhachis Linnarsson 1883, en el Cámbrico Medio de Zafra (Badajoz).
- Las mineralizaciones estratiformes F_2 -Ca-Pb en las dolomías triásicas de Sierra de Lújar, Granada (Cordilleras Béticas, España).
- Uso de un modelo mixto estocástico-determinista para el estudio de recarga de acuíferos.
- Petrología y geoquímica de los gneises de Queralbs-Nuria (provincia de Gerona).
- Sobre la determinación de la edad absoluta de rocas ígneas por el método de la dispersión de la birrefringencia.

REVISTA BIMESTRAL DEL IGME FUNDADA EN 1874 T. XCIII, Sexto Fascículo. Noviembre-Diciembre 1982

boletín geológico y minero

geología • minería • aguas subterráneas • estudios de minerales • mineralurgia





enadimsa

Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras, S. A.

EXPLORACION, INVESTIGACION E INGENIERIA DE DESARROLLO DE RECURSOS DEL SUBSUELO

- Geológicos.
- Minerales.
- Hidrogeológicos.
- Geotérmicos.
- Geotécnicos.

PROTECCION DEL MEDIO

- Tratamiento de residuos sólidos urbanos e industriales.
- Ordenación geológica de la infraestructura para el desarrollo regional.

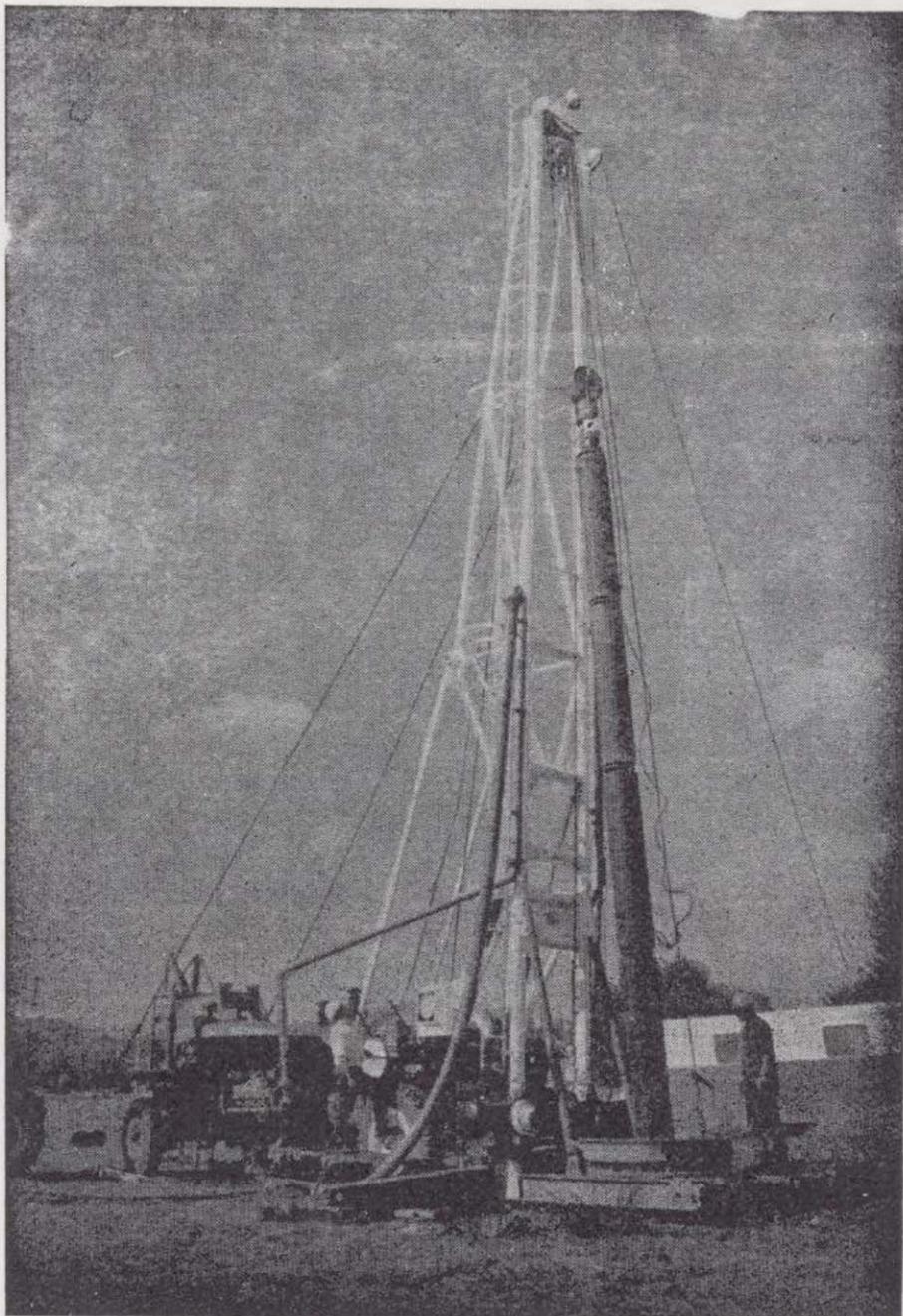
FINANCIACION DE INVERSIONES

- Planificación.
- Investigación. (interior y exterior).
- Revalorización de los recursos naturales.

SERVICIOS ESPECIALIZADOS EN:

- Geología.
- Geofísica.
- Geoquímica.
- Geotécnica y Geomecánica.
- Mineralogía y Metaloquímica.
- Mineralurgia.
- Hidrogeología.
- Geomatématica.
- Planta piloto de residuos sólidos urbanos.
- Planta piloto de concentración de minerales.
- Documentación.
- Economía mineral.
- Sondeos.

DOMICILIO SOCIAL: Serrano, 116 - Telf. 262 41 10 - MADRID-6
CENTRO DE INVESTIGACION "JUAN GAVALA": Ctra. de Andalucía, Km. 12 - Telf. 797 34 00
Télex 42083 - geo-e - GETAFE (MADRID).



ALUMBRAMIENTO DE AGUAS SUBTERRANEAS

Sondeos hasta 1.500 mm. de diámetro y profundidades de 500 m.

Sondas de circulación directa e inversa.

Filtros especiales que garantizan el agua limpia de arena.

Instalación de piezómetros.

Instalaciones completas de pozos y bombas sumergibles.

Equipos propios de aforo y limpieza.

Reacondicionamiento de pozos arenados.

Testificación eléctrica (PS y Resistividad) y radiactiva (Rayos gamma).

Acidificaciones.

AGUA Y SUELO, S. A.

Dr. Fleming, 3 - 5.^o piso

Teléfonos: 457 42 58-62-66, 457 02 30 y 250 27 72

M A D R I D - 1 6

SONDEOS DE RECONOCIMIENTO

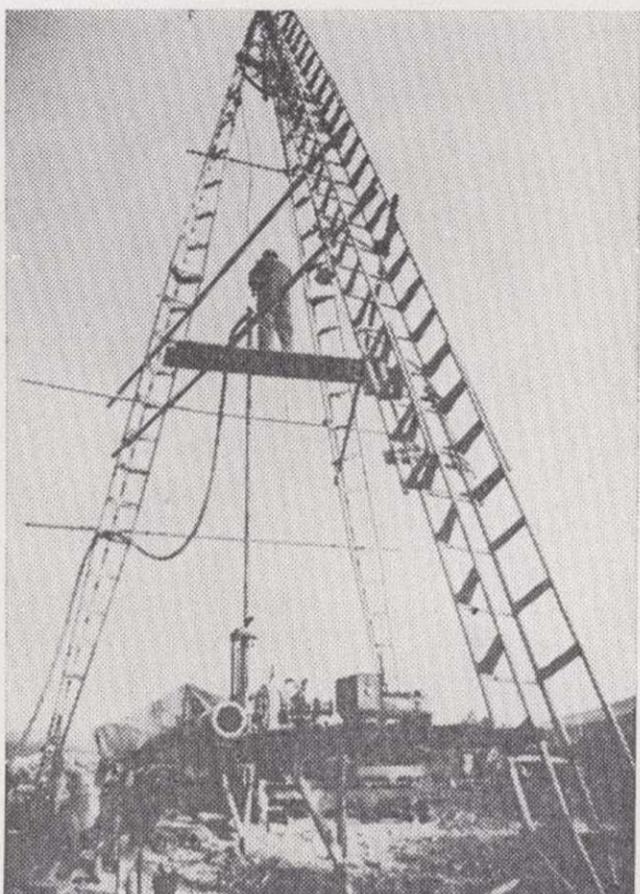
Sondas LONGYEAR y CRAELIUS con equipos de perforación «Wire-Line System».

Testiguo continuo en diámetros de 36 mm. a 143 mm.
Sacamuestras especiales a percusión.

Medidores de inclinación y acimut, tipos Single Shot y Multi Shot.

IBÉRICA DE SONDEOS, S. A.

Al servicio de la Perforación desde 1954



Le resuelve cualquier problema de perforación.

MINERIA.

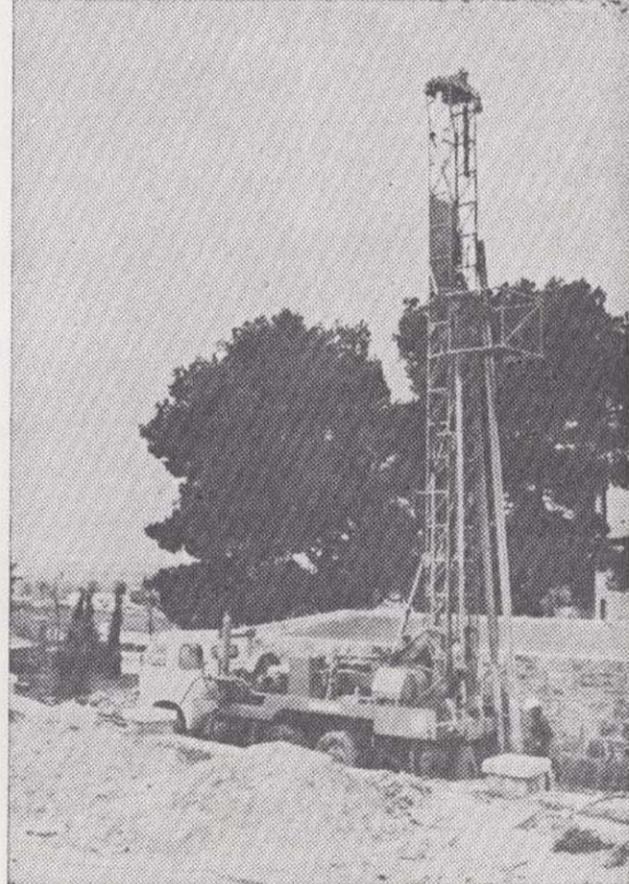
ALUMBRAMIENTO DE AGUA.

ESTRATIGRAFICOS.

EVACUACION DE AGUAS RESIDUALES.

ESPECIALES, ETC.

- Personal altamente experimentado.
- Profundidades hasta 2.500 m.
- Sondeos de gran diámetro.
- Wireline y sistemas especiales para recuperación de testigo.
- Medición de inclinación orientada.
- RotoperCUSIÓN a alta presión.
- Lodos especiales.
- Acidificaciones.
- Cementaciones.
- Desarrollo de acuíferos.
- Filtros adecuados a cada sondeo.
- Sondeos de investigación de 0° a 360°.
- Perforación con aire comprimido.
- Técnicas especiales, etc., etc.

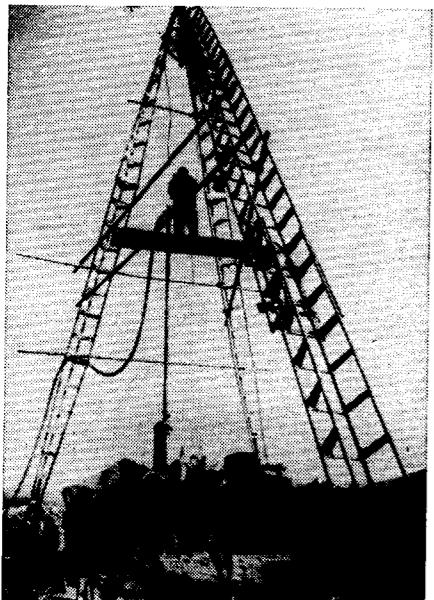


LOPEZ DE HOYOS, 13, 1.^o

TELF. 261 08 07-MADRID-6

IBÉRICA DE SONDEOS, S. A.

Al servicio de la Perforación desde 1954



Le resuelve cualquier problema de perforación

MINERIA.

ALUMBRAMIENTO DE AGUA.

ESTRATIGRAFICOS.

EVACUACION DE AGUAS RESIDUALES.

ESPECIALES, ETC.

- Personal altamente experimentado.
- Profundidades hasta 2.500 m.
- Sondeos de gran diámetro.
- Wireline y sistemas especiales para recuperación de testigo.
- Medición de inclinación orientada.
- Rotopercusión a alta presión.
- Lodos especiales.
- Acidificaciones.
- Cementaciones.
- Desarrollo de acuíferos.
- Filtros adecuados a cada sondeo.
- Sondeos de investigación de 0° a 360°.
- Perforación con aire comprimido.
- Técnicas especiales, etc., etc.



LOPEZ DE HOYOS, 13, 1º

TELF. 261 08 07 - MADRID-6

GEOTEHIC, S. A.

INGENIEROS CONSULTORES

ESTUDIOS DE:

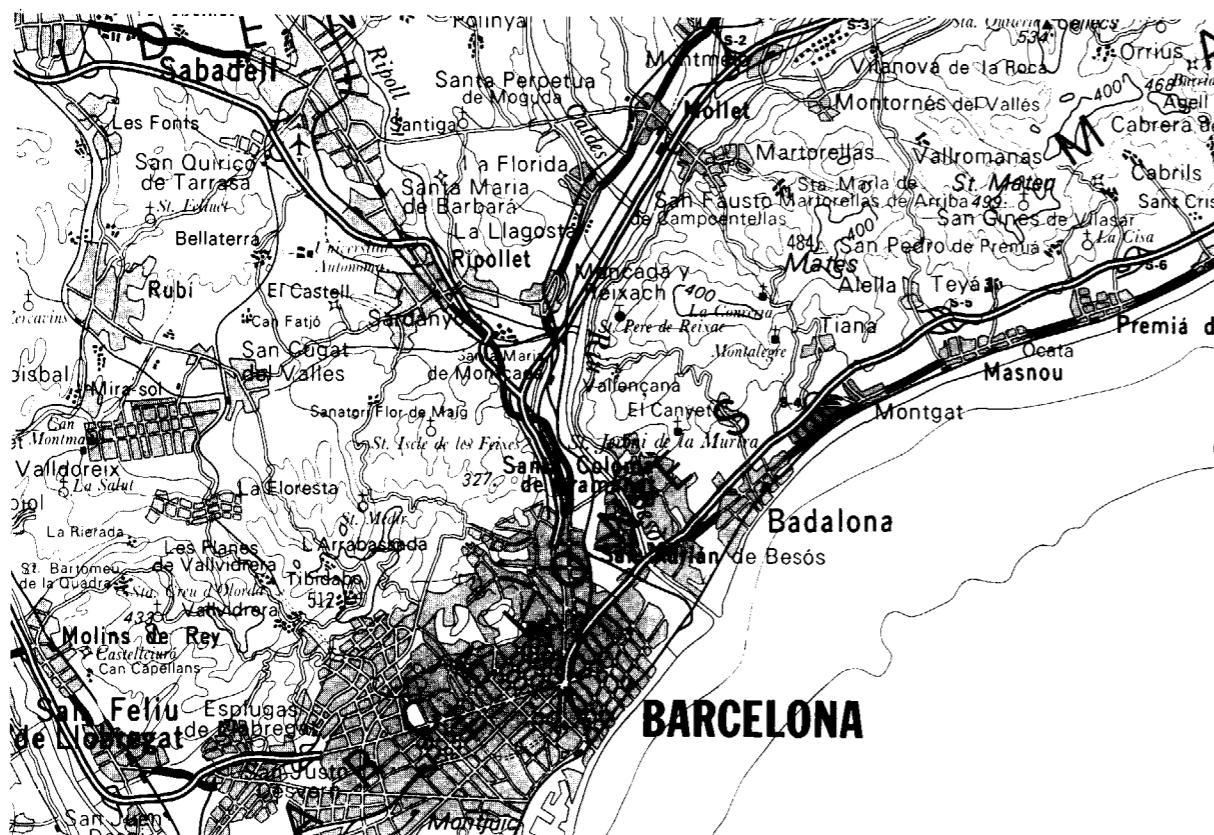
- GEOLOGIA.
- GEOFISICA.
- GEOTECNIA.
- HIDROLOGIA.
- INGENIERIA CIVIL.
- CALCULO ELECTRONICO.
- PETROGRAFIA-METALOGENIA.
- PROYECTOS MINEROS.
- CONTROL DE COSTOS.

General Mola, 210, 1º D — Teléfonos 250 18 03 - 45 — MADRID-2



CARTOGRAFICA IBERICA, S.A.

- ESGRAFIADO
- FOTOCOMPOSICION
- FOTOMECANICA
- IMPRESION OFFSET
- ENCUADERNACION



Fragmento del Mapa de CATALUÑA. Escala 1:200.000

ESPECIALIDAD

- MAPAS CONVENCIONALES
- MAPAS TEMATICOS

Conde de la Cimera, 4 - L. 6 MADRID - 3
TELFs. 234 81 86 - 234 79 72

RODES SONDEOS S.A.

ESPECIALISTAS EN AGUAS SUBTERRANEAS

VILLENA (Alicante)

Avda. de la Constitución 21 entlo. Tel. 800983



Dondequiera que esté en la geografía española, cualquiera que sea su problema de agua, recurra al asesoramiento de Vegarada. Posse-mos la técnica y experiencia necesarias para proporcionarle toda el agua que necesite. Desde los trabajos de proyección y alumbramiento, hasta la realización de obras de conducción, puesta en riego o depósito, abastecimiento y distribución de caudales. Solicite información sin compromiso.



 **Vegarada**

Guzmán el Bueno, 133
Tels. 233 71 00-253 42 00 MADRID-3



Tomo 93

Fascículo VI

Noviembre - Diciembre 1982

revista bimestral de geología económica, industrias extractivas y de su beneficio - fundada en 1874 - 4.ª serie

SUMARIO

Geología

- M.^a D. GIL CID, I. RÁBANO: Introducción al estudio de la familia Illaenidae (Trilobita, Illaenina) en el Ordovícico español.

M. GUTIÉRREZ ELORZA, A. MELÉNDEZ HEVIA y A. SORIANO: Las series terminales neógenas en el sector centromeridional de la Depresión del Ebro y su relación con la morfogénesis ...

M.^a D. GIL CID: Hallazgo de Paradoxides (Eccaparadoxides) brachyrhachis Linnarsson 1883, en el Cámbrico Medio de Zafra (Badajoz)

G. OVEJERO, F. TONA, J. M. MARÍN, A. GUTIÉRREZ, J. P. JACQUIN, G. SERVAJEAN y J. F. ZUBIAUR: Las mineralizaciones estratiformes F_2Ca-Pb en las dolomías triásicas de Sierra de Lújar, Granada (Cordilleras Béticas, España)

J. LLAMAS, G. DHATT y B. TYANO: Uso de un modelo mixto estocástico-determinista para el estudio de recarga de acuíferos

A. SEBASTIÁN, F. J. MARTÍNEZ y J. I. IBARGUCHI: Petrología y geoquímica de los gneises de Queralbs-Nuria (Provincia de Gerona) ...

P. P. GIL, A. PESQUERA y F. VELASCO: Sobre la determinación de la edad absoluta de rocas ígneas por el método de la dispersión de la birrefringencia ...

Noticias. Notas bibliográficas ...

Índice de Materias ...

Índice de Autores ...

Minería

- Minería** G. OVEJERO, F. TONA, J. M. MARÍN, A. GUTIÉRREZ, J. P. JACQUIN, G. SERVAJEAN y J. F. ZUBIAUR: Las mineralizaciones estratiformes F_2Ca-Pb en las dolomías triásicas de Sierra de Lújar, Granada (Cordilleras Béticas, España) 1

Aguas subterráneas

Estudio de minerales y rocas

Información

DIRECCION Y REDACCION

Ríos Rosas, n.º 23 - Madrid-3

Teléfono 441 70 67

ADMINISTRACION

Doctor Fleming, 7 - Madrid-16

Teléfono 250 02 03

IGME

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA



SERVICIO DE PUBLICACIONES — MINISTERIO DE INDUSTRIA
Y ENERGIA

**El Instituto Geológico y Minero de España
hace presente que las opiniones y hechos
consignados en sus publicaciones son de la
exclusiva responsabilidad de los autores
de los trabajos.**

**Los derechos de propiedad de los trabajos
publicados en esta obra fueron cedidos por
los autores al Instituto Geológico y Minero de
España.
Queda hecho el depósito que marca la Ley.**

EXPLICACION DE LA PORTADA

Ectillaenus sp. [? = *E. giganteus* (BURMEISTER 1843)].
Ejemplar procedente del yacimiento de "Los Rasos" (RAII, Llandello
Inferior) (Ciudad Real). Zona de Tesis Doctoral de Dña. Isabel Rábano.
Fotografía realizada por Ricardo Sánchez en el Depto. de Paleontolo-
gía (Madrid).

ISSN 0366 - 0176

Depósito legal: M. 3.279 - 1958

Imprenta IDEAL - Chile, 27 - Teléf. 259 57 55 - Madrid-16

Introducción al estudio de la familia Illaenidae (Trilobita, Illaenina) en el Ordovícico español.

Por Dolores GIL CID (*) e Isabel RABANO (*)

RESUMEN

Se describen por primera vez en castellano los elementos morfológicos de la familia Illaenidae (HAWLE & CORDA) y se adoptan los términos *raquis del cefalón*, *líneas en terraza*, *apodema* y *duplicación*. Asimismo, se relacionan las formas de esta familia encontradas hasta el momento en el Ordovícico español.

ABSTRACT

For the first time, the morphological elements of the family Illaenidae (HAWLE & CORDA) are described in Spanish language, comprising the terms *raquis del cefalón*, *líneas en terraza*, *apodema* and *duplicación*. The forms belonging to this family which have been found until the moment in the spanish Ordovician are listed as well.

1. INTRODUCCION

En las secuencias ordovícicas españolas se encuentran representados un gran número de formas de trilobites. Durante el estudio de una de las familias, Illaenidae (HAWLE & CORDA) (*sensu* BERGSTROM, 1973), nos hemos tropezado sistemáticamente con la dificultad de no tener castellanizada una terminología aplicable a las diferentes partes que componen el exoesqueleto de estos trilobites. Esta problemática nos ha llevado a considerar la utilidad de plantear en lengua castellana la puesta a punto de una terminología que describa al máximo todos los elementos morfológicos presentes en el exoesqueleto, tanto dorsal como ventral, de los representantes de esta familia. Para ello nos hemos basado fundamentalmente en los trabajos de JAANUSSON (1954) y SNAJDR (1957), autores que tratan ampliamente el tema que aquí nos ocupa.

2. DESCRIPCION PORMENORIZADA DE LOS ELEMENTOS FUNDAMENTALES DEL EXOESQUELETO

En la figura 1 se representa un esquema de *Ectillaenus sarkaensis* (NOVAK), el cual hemos adop-

tado como arquetipo para proceder a la enumeración de los diferentes elementos morfológicos de la familia Illaenidae.

2.1. Cefalón

Si observamos los diversos géneros incluidos dentro de la familia, no se aprecia una gran variabilidad en lo que respecta al contorno del cefalón. Sin embargo, los elementos típicos que integran el cefalón de la mayoría de los grupos de trilobites se ven alterados típicamente en este grupo. Tal es el caso de la porción glabellar; JAANUSSON señala en 1954 (pág. 552) que no se puede considerar a esta región como una verdadera glabela, por lo que la denomina «raquis del cefalón»; nosotros estamos de acuerdo con el autor en este punto y proponemos la adopción del término *raquis del cefalón*, haciéndolo equivalente en este caso al de glabela. Este raquis no se encuentra siempre muy bien delimitado, siendo con frecuencia difícil poder diferenciar su posición y límites.

Sobre la porción central del cefalón se observa generalmente una serie de impresiones que corresponden a las inserciones musculares en ciertas áreas de la superficie ventral. Estas zonas las denominaremos *áreas musculares* (ver. fig. 2); su

(*) Departamento de Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense. Madrid-3.

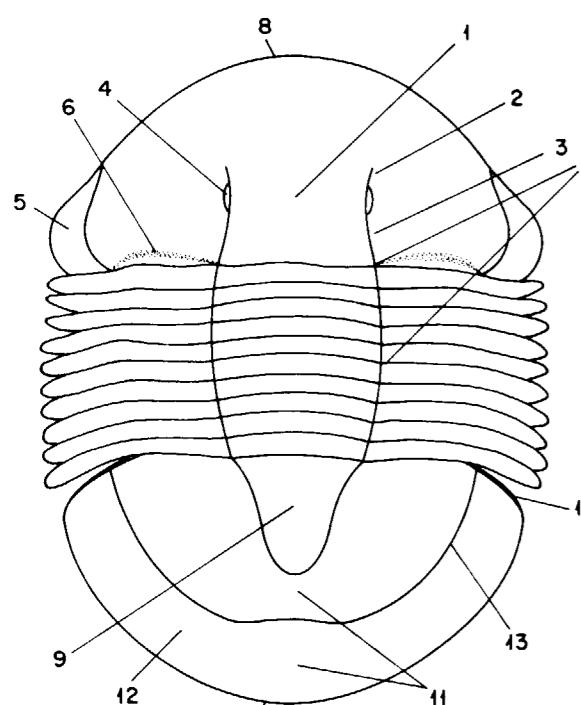


Figura 1.—Vista dorsal de *Ectillaenius sarkaensis* (NOVAK).—1. Porción central del céfalon (raquis).—2. Rama anterior de los surcos dorsales.—3. Porción posterior de los surcos dorsales.—4. Áreas musculares laterales.—5. Librigena (mejilla libre).—6. Surco genal posterior.—7. Apodemas.—8. Margen anterior del céfalon.—9. Raquis pigidial.—10. Faceta articular.—11. Porción post-raquídal del pigidio.—12. Duplicación pigidial.—13. Margen interno de la duplicación pigidial.—14. Margen posterior del pigidio (según SNAJDR, 1957, fig. 1).

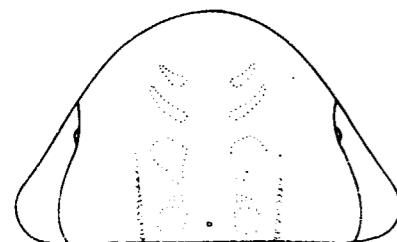


Figura 2.—Distribución de las áreas musculares en *Ectillaenius katzeri* (BARRANDE). (Según NOVAK, 1918, lám. III, figura 19, en JAANUSSON, 1954, fig. 3 B).

número, posición y forma varía inter e intragenéricamente.

El céfalon se continúa en la porción ventral como un reborde, que a su vez está integrado por

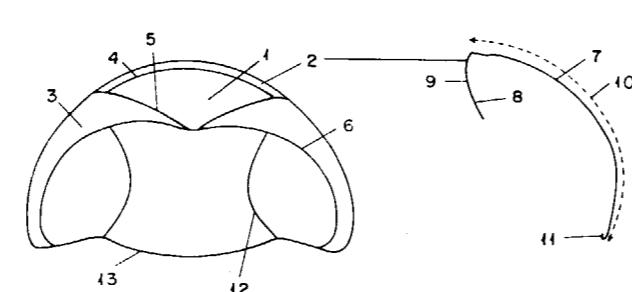


Figura 3.—Vista ventral del céfalon de *Bumastus bouchardi* (BARRANDE).—1. Rostro.—2. Porción inferior del céfalon.—3. Duplicación de las mejillas libres.—4. Sutura rostral.—5. Sutura facial.—6. Margen interno de la duplicación de las mejillas libres.—7. Porción superior del céfalon.—8. Porción inferior del rostro.—9. Abombamiento del céfalon.—10. Duplicación del margen posterior de la porción central del céfalon.—11. Duplicación del margen posterior de la porción central del céfalon.—12. Surcos dorsales.—13. Margen posterior de la porción central del céfalon (según SNAJDR, 1957, fig. 2).

dos elementos: el *rostro* y la *duplicación de las mejillas libres* (ver fig. 3). En esta región ventral se encuentra un elemento importante para la discriminación taxonómica dentro de los Illaenidae; se trata del hipostoma, en contacto con el rostro a través de la *sutura hipostomal*. La figura 4, que está basada en JAANUSSON (1954), representa los hipostomas de algunas formas incluidas en esta familia.

2.2. Tórax

El número de segmentos torácicos oscila entre 8 y 10, según el género. La figura 5 muestra un segmento torácico, en sus vistas dorsal y ventral, con su terminología correspondiente.

En el género *Ectillaenius* SALTER, muy abundante en el Llanvirn-Llandeilo español, se ha observado la presencia en los moldes internos de los surcos dorsales de unos forámenes que proponemos pasen a denominarse *apodemas*. En el exoesqueleto de estos trilobites existen un par de ellos en cada segmento torácico y otro par en la base de los surcos dorsales del céfalon.

2.3. Pigidio

Es uno de los elementos más importantes para la discriminación específica de los integrantes de la familia Illaenidae. Este carácter radica en la

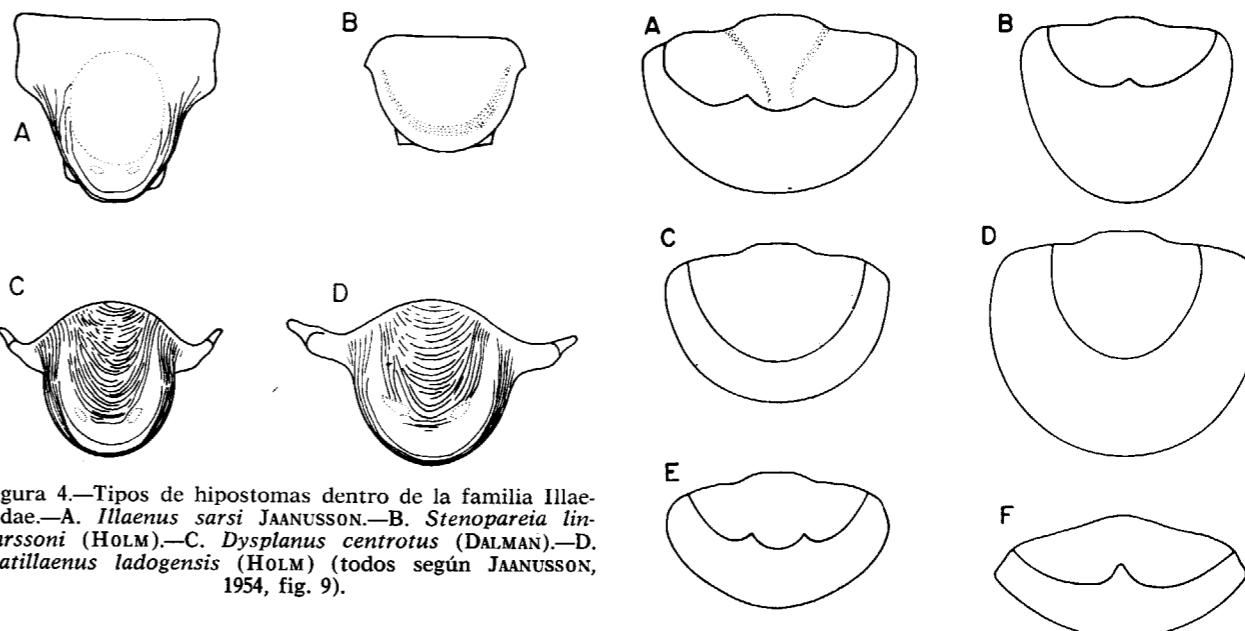


Figura 4.—Tipos de hipostomas dentro de la familia Illaenidae.—A. *Illaenus sarsi* JAANUSSON.—B. *Stenopareia linnarsoni* (HOLM).—C. *Dysplanus centrotus* (DALMAN).—D. *Platillaenus ladogensis* (HOLM) (todos según JAANUSSON, 1954, fig. 9).

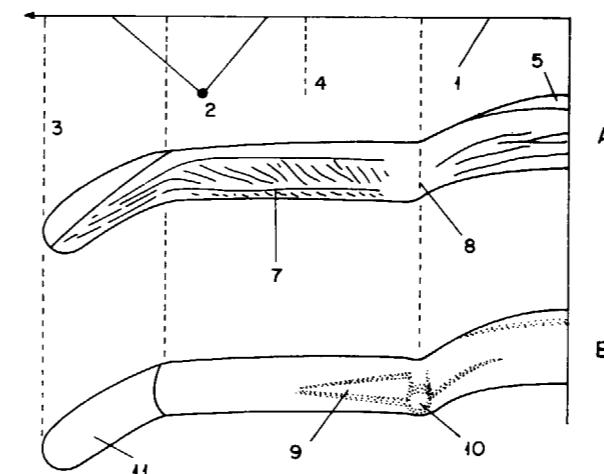


Figura 5.—Vista dorsal (A) y ventral (B) de un segmento torácico de *Ectillaenius sarkaensis* (NOVAK).—1. Anillo raquídal.—2. Lóbulo pleural lateral.—3-4. Porción externa e interna del lóbulo lateral.—5. Medio anillo articular.—6. Faceta.—7. «Ornamentación» (líneas en terraza).—8. Surco dorsal.—9. Surco pleural residual.—10. Apodema.—11. Duplicación (según SNAJDR, 1957, fig. 7).

presencia de la llamada *duplicación pigidal* o prolongación ventral del margen pigidial que se incurva sobre sí mismo para unirse ventralmente al caparazón, dando lugar a la *línea paraduplicacional*. El recorrido de esta última y la extensión de la duplicación pigidial es importante para la clasificación de estos trilobites, sobre todo a nivel específico, como ya apuntamos antes. La figura número 6 muestra, con ejemplos de pigídos tomados de diversos géneros de la familia, la diferente morfología de algunas duplicaciones pigidiales, tal como viene indicada por el recorrido de la línea paraduplicacional. Este aspecto del pigidio es accesible solamente si se elimina por procedimientos mecánicos su porción dorsom marginal, con lo cual se obtiene una impresión externa negativa de la duplicación pigidial (fig. 7, B), que se une en la línea paraduplicacional (fig. 7, L) al molde externo o interno negativo (fig. 7, A) del resto pigidial de partida.

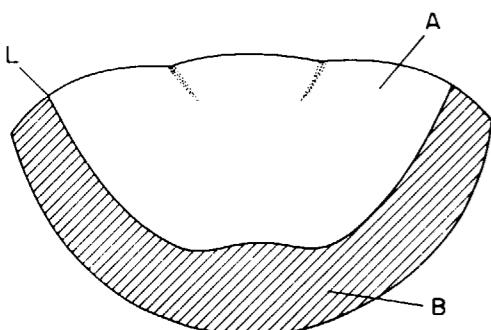


Figura 7.—Esquema de la duplicación pigidial. Para explicación, ver texto.

5. REPRESENTANTES DE LA FAMILIA ILLAENIDAE EN EL ORDOVICICO ESPANOL

Ectillaenus sp. es con seguridad el representante más abundante de esta familia, y aparece en los sedimentos pelíticos de las «Pizarras con *Calymene*» (Llanvirn Inferior-Llandeilo Inferior) o sus equivalentes en diversos puntos de España (VERNEUIL y BARRANDE, 1856; GÓMEZ DE LLARENA, 1914; DEL PAN, 1923; RAMÍREZ Y RAMÍREZ, 1955; RANSWEILER, 1968; GIL CID, 1970). Aunque es una forma muy bien caracterizada, no se puede precisar hasta ahora su identidad específica, ya que los antiguos nombres *Ectillaenus giganteus* (BURMEISTER), *Ectillaenus lusitanicus* (SHARPE) y *Ectillaenus hispanicus* (VERNEUIL y BARRANDE) pueden, en realidad, ser sinónimos. Con estas denominaciones se encuentran también citados en la bibliografía, donde generalmente son referidos al género *Illae-nus* DALMAN, que hasta el momento no ha sido detectado en España. Algo semejante ocurre con *Panderia beaumonti* (ROUAULT) [= *Illae-nus sanchezi* VERNEUIL y BARRANDE], típico del Llandeilo de Sierra Morena (VERNEUIL y BARRANDE, 1856; BORN, 1918).

Durante el Caradoc, los Illaenidae más abundantes son *Dysplanus* (*Zetillaenus*) *ibericus* HAMMANN, encontrado principalmente en Sierra Morena y el Sistema Ibérico (HAMMANN, 1976; HAMMANN in KOLB, 1978; HAMMANN in GUTIÉRREZ MARCO, 1980), y *Cekovia munieri* (KERFORNE), asociado al primero en la región de Almadén (HAMMANN, 1976).

En el Ashgill estos trilobites son comunes sobre todo en las facies calcáreas. Así, en diferentes yacimientos de la Caliza Urbana (Sierra Morena),

Caliza con Cistídeos (Sistema Ibérico) y sus equivalentes en el N de Sevilla, aparecen citados *Zbirovia* aff. *longifrons* (OLIN) y *Cekovia* sp. (ROBARDET, 1976; HAMMANN in KOLB, 1978; HAMMANN in GUTIÉRREZ MARCO, 1980).

BIBLIOGRAFIA

- BORN, A.: *Die Calymene Tristani-Stufe (mittleres Unter-silur) bei Almaden, ihre Fauna, Gliederung und Verbreitung*. Abh. Senckenberg. naturforsch. Ges. 36, pp. 309-358. Trad. esp.: *El tramo de Calymene tristani en Almadén (Ordovícico medio), su fauna, división y exten-sión*. Publ. extr. sobre Geol. de España, Inst. Lucas Ma-llada, 8, pp. 175-263 (1918).
- DEL PAN, I.: *Impresiones geológicas de una excursión al Puerto del Milagro (Montes de Toledo)*. Bol. R. Soc. Española Hist. Nat., 23, pp. 260-265 (1923).
- GIL CID, M. D.: *Contribución al estudio de la fauna del Ordovícico de Montes de Toledo*, Estudios geol., 26, pági-nas 285-295 (1970).
- GÓMEZ DE LLARENA, J.: *Excursión geológica a Navas de Es-tena*. Bol. R. Soc. Española Hist. Nat., 14, pp. 385-388 (1914).
- GUTIÉRREZ MARCO, J. C.: *Graptolitos del Ordovícico del Sistema Ibérico*. Mem. de Licenciatura, Universidad Com-plutense de Madrid (inédita) (1980).
- HAMMANN, W.: *Trilobiten aus dem oberen Caradoc der östlichen Sierra Morena (Spanien)*. Senck. leth. 57 (1), pp. 35-85 (1976).
- JAANUSSON, V.: *Zur Morphologie und Taxonomie der Illae-niden*. Arkiv. Min. Geol. 1 (20), pp. 545-583 (1954).
- KOLB, S.: *Erläuterungen zur geologischen Kartierung des Gebietes S. Cerveruela in den östlichen Iberischen Ketten (NE-Spanien)*. Dipl.-Arb. Gewiss. Fachber. Univ. Würzburg, 122 pp. Würzburg (inédito) (1978).
- RAMÍREZ Y RAMÍREZ, E.: *El Sinclinal de Guadarranque (Cá-ceres)*. Estudios geol. 11, pp. 409-439 (1955).
- RANSWEILER, M.: *Stratigraphie und Tektonik der Extrema-dura im Bereich der Orte Herrera del Duque, Helechosa und Villarta de los Montes (Mittelspanien)*. Diss. 100 pp. Münster (inédito) (1968).
- ROBARDET, M.: *L'originalité du segment hercynien sud-iberique au Paleozoïque inférieur: Ordovicien, Silurien et Dévonien dans le nord de la province de Seville (Es-pagne)*. C. R. Acad. Sc. Paris 283, ser. D, pp. 999-1002 (1976).
- SNAJDŘ, M.: *Klasifikace celede Illaenidae (Hawle & Corda) v českém starším paleozoiku*. Sborn. Ust. ust. Geol., 23, pp. 125-284 (1957).
- VERNEUIL, E. DE y BARRANDE, J.: *Description des fossiles trouvés dans les terrains silurien et devonien d'Almaden, d'une partie de la Sierra Morena et des Montagnes de Toledo*. Bull. Soc. géol. France 12, pp. 964-1025 (1856).

Recibido: Enero 1982



Las series terminales neógenas en el sector centromeridional de la Depresión del Ebro y su relación con la morfogénesis

Por M. GUTIERREZ ELORZA (*), A. MELENDEZ HEVIA (**) y A. SORIANO (*)

RESUMEN

El estudio de las series terminales neógenas del sector centro-meridional de la Depresión del Ebro, refleja una sedimentación carbonatada de margen lacustre con episodios de aporte fluvial, que revelan para estas épocas una inestabilidad del área madre. En base a estos datos y a otras consideraciones de las zonas próximas se puede establecer su relación con la morfogénesis y más concretamente con las superficies de erosión existentes.

ABSTRACT

The study on the uppermost Neogene series in central-southern part of the Ebro Depression showed a lacustrine margin carbonate sedimentation, with some episodes of fluvial supply, revealing an instability of source area at that time. The relation between the studied series and morphogenesis and, more precisely, erosional surfaces, can be established on the basis of presented data and some other considerations are drawn.

I. INTRODUCCION

El área estudiada está localizada en el sur de la provincia de Zaragoza y, a su vez, está enclavada entre el centro de la Depresión del Ebro y las sierras del Sistema Ibérico de Cucalón y Herrera. Las observaciones se han realizado en la parte meridional de la Hoja núm. 411 (Longares) y en el ángulo noroccidental de la núm. 439 (Azuara).

Por otra parte, el área de la ciudad de Zaragoza está dominada por cuatro grandes plataformas estructurales, constituidas por calizas de facies «Páramo». Al NO, los montes de Castejón; al NE la Sierra de Alcubierre; al SO, la Muela, y al SE, la Plana de Zaragoza (fig. 1). Las investigaciones se han llevado a cabo en esta última zona, aunque también se han realizado diferentes observaciones en las series terminales de las otras plataformas citadas.

Es sabido que las series terminales neógenas de las cuencas del Duero, Tajo y Calatayud-Teruel

presentan una problemática compleja que viene manifestada por un conjunto de procesos tectónicos, erosivos, kársticos y de sedimentación lacustre carbonatada, fundamentalmente. Dada la generalidad de los mismos en toda la Meseta se estimó oportuno efectuar un análisis de las series terminales neógenas en el sector central de la Depresión del Ebro, con el fin de precisar la presencia o carencia de este conjunto de procesos en esta región.

Los estudios realizados han puesto de manifiesto la existencia de una importante sedimentación detrítico-carbonatada al sur de la Plana de Zaragoza, que no tiene lugar en los montes de Castejón y en la sierra de Alcubierre, observándose restos de dudosa interpretación en la Muela.

II. ESTRATIGRAFIA Y SEDIMENTOLOGIA DE LAS SERIES TERMINALES NEOGENAS

La sedimentación final del Neógeno en la Depresión del Ebro es fundamentalmente carbonatada, al igual que en otras cuencas terciarias continentales de la Meseta. El estudio más significativo de estas series carbonatadas se debe a QUI-

(*) Cátedra Geología General, Universidad de Zaragoza.
(**) Departamento de Estratigrafía, Universidad de Zaragoza.

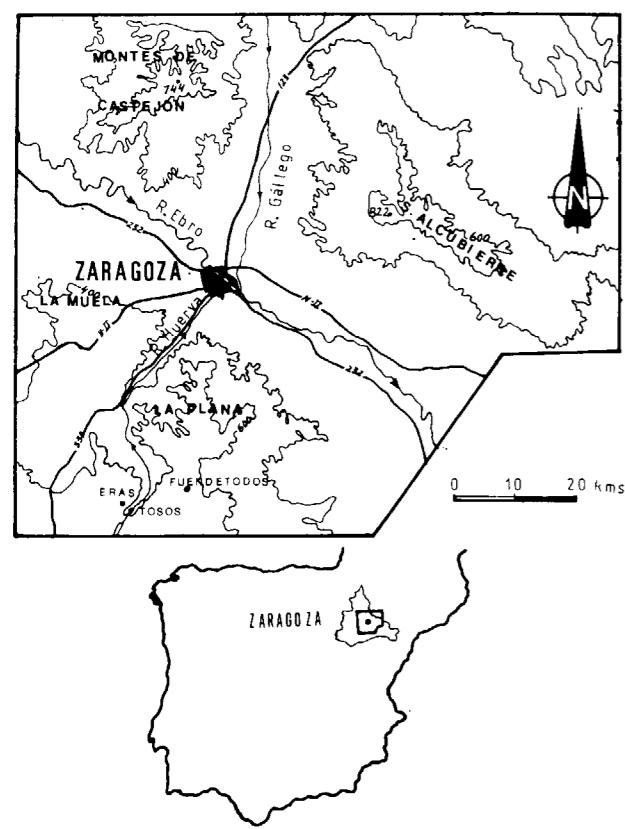


Figura 1.—Situación geográfica.

RANTES (1978). Este autor define estos conjuntos carbonatados como Formación Alcubierre, diferenciando varios miembros dentro de la misma y correspondiendo al Miembro Castejón los afloramientos objeto de estudio. No obstante, este autor no señala la presencia de niveles detríticos intercalados en la secuencia carbonatada.

Se han realizado dos perfiles detallados. Uno en las proximidades de Fuendetodos, en la carretera Cariñena-Belchite, y el otro en la carretera de las Eras de Tosos al pantano de las Torcas.

1. Perfil de Fuendetodos

Descripto de muro a techo. Se encuentra en la base una sucesión margosa semicubierta, a partir de la cual se han diferenciado los siguientes tramos:

Tramo 1: 12 m. de calizas biodetríticas con abundante matriz micrítica y niveles margosos,

presenta estratificación cruzada y ondulada y laminación cruzada a techo del tramo; contiene restos de conchas, Characeas y Ostrácodos.

Tramo 2: 7 m. de calcarenitas bioclásticas, arenas y margas en la base y calcarenitas compactas a techo. En la parte inferior forman secuencias granodecrescentes en las que se observan estratificación cruzada planar y en surco, estructuras flaser y lenticular, así como de escape de gases. En la parte superior se encuentran tramos débilmente canalizados y discontinuos lateralmente, así como niveles de estratificación cruzada planar.

Tramo 3: 4 m. de calcarenitas limosas con cantos redondeados de cuarcita de hasta 2 cm. y abundantes gasterópodos, contiene Characeas y Ostrácodos. No presenta ordenación interna.

Tramo 4: 9 m. de calcarenitas compactas con contenido variable en limos, niveles de margas y niveles canalizados de cantos redondeados de cuarcita de hasta 2 cm. Los niveles calcáreos están bien estratificados y presentan laminación planar y en surco.

Tramo 5: 3,5 m. de conglomerados y calcarenitas. Sobre un delgado nivel calcarenítico se desarrolla 1,5 m. de conglomerados de cantos cuarcíticos de hasta 10 cm. con una clara estratificación cruzada planar, que lateralmente pasa a calcarenitas, encontrándose truncada a techo por otros niveles calcareníticos (fig. 2). Estos últimos se encuentran a su vez recubiertos, no siendo posible establecer con exactitud su potencia total, ni el límite superior de la serie.



Figura 2.—Esquema de los conglomerados con estratificación cruzada planar. Fuendetodos. 1. Suelo rojo. 2. Conglomerados. 3. Calcarenitas.

2. Perfil de las Eras de Tosos (Casa de la Dehesa)

Se ha realizado en dos secciones parciales. La parte basal en las inmediaciones de las Eras de Tosos, en el borde de la carretera hacia el embalse de las Torcas y la parte alta de la Serie en las proximidades de una paridera, 3 km. al SO de Casa de la Dehesa.

Se encuentra en la base una sucesión de limos carbonatados con cantos cuarcíticos y calcarenitas con gasterópodos, parcialmente cubiertos, que impiden una observación detallada. Sobre estos materiales se han distinguido los siguientes tramos:

Tramo 1: 3 m. de sucesión de margas, calcarenitas finas bioclásticas y arenas finas con niveles más cementados. Presentan estratificación irregular.

Tramo 2: 7 m. parcialmente cubiertos, donde se observa un nivel basal de cantos cuarcíticos redondeados de hasta 7 cm., sobre el que se encuentran niveles de calcarenitas bioclásticas con muy poca matriz micrítica, en la que coexisten gasterópodos y cantos dispersos de cuarcitas de 2 cm.

Tramo 3: 3 m. En la parte inferior está formado por calizas arenosas con cantos redondeados de cuarcita de 2 a 5 cm., calcarenitas gruesas con gasterópodos y un nivel de margas calcáreas blanquecinas. La parte superior está constituida por una sucesión de calcarenitas gruesas con gasterópodos y cantos cuarcíticos dispersos.

Tramo 4: 2 m. Consta de una parte inferior de calcarenitas gruesas con gasterópodos y abundantes cantos de cuarcita, que a techo alcanzan hasta 20 cm. La parte superior consta de calcarenita bioclástica con gasterópodos y abundantes cantos de menor tamaño, presentando estratificación cruzada planar.

En los puntos topográficamente más elevados, como el Cerro del Artigazo, aunque no es posible la realización de una serie de detalle, se observa una sucesión litológica compuesta de muro a techo por limos calcáreos, calizas, calcarenitas y calizas arenosas con cantos cuarcíticos de unos 10 cm. a techo. Estos materiales presentan las mismas características que los descritos en el perfil anterior.

El perfil de Fuendetodos está situado 12 km. al O del de las Eras de Tosos y la correlación entre ambos es evidente (fig. 3). Este último perfil se corresponde con los tres tramos superiores del realizado en Fuendetodos e incluso parecen establecerse ciertas similitudes de facies. Así, en los tramos inferiores se observa la coexistencia de calcarenitas con gasterópodos y cantos cuarcíticos dispersos. De igual manera, los niveles de cantos de cuarcita presentan una buena correlación. En los niveles superiores están presentes, en ambos perfiles, el aumento del tamaño de los clastos, así como la existencia de una barra conglomerática de gran desarrollo, aunque en el perfil de las Eras de Tosos esta barra presenta un cemento carbonatado. Esta estrecha similitud parece indicar una simultaneidad en la época de sedimentación.

La parte inferior del perfil de Fuendetodos, no correlacionable con el de las Eras de Tosos, corresponde a una sedimentación de carácter lacustre, con una pequeña influencia de corrientes en el margen, todo ello en un medio deposicional de escasa energía. Continúa la sedimentación en estos márgenes lacustres bajo una película de agua con aportes variables de arena y limo, produciéndose a techo una variación brusca en la energía del medio con el desarrollo de una barra calcarenítica.

Los tramos superiores, presentes en ambos perfiles, comienzan con una clara sedimentación lacustre en la que se suceden esporádicos aportes clásticos canalizados, culminando hacia el techo con una barra conglomerática de origen fluvial. La sedimentación continúa con depósitos lacustres de energía moderada.

Las características sedimentológicas descritas permiten señalar que se trata de una sedimentación de margen lacustre de cierta energía, ligada a esporádicos episodios de aporte fluvial, que hacia techo adquieren mayor relevancia.

Por otra parte, sobre las calizas más superiores de la Plana de Mezalocha, situada a 11 km. al NNO de Fuendetodos, se encuentran cantos sueltos de cuarcita de gran tamaño, que estimamos pueden relacionarse con los episodios detríticos antes señalados. En cualquier caso, no se trata de depósitos pliocuaternarios, ya que éstos se encuentran netamente encajados en las series carbonatadas de la Plana de Mezalocha. Circunstancias similares se observan sobre las calizas terminales

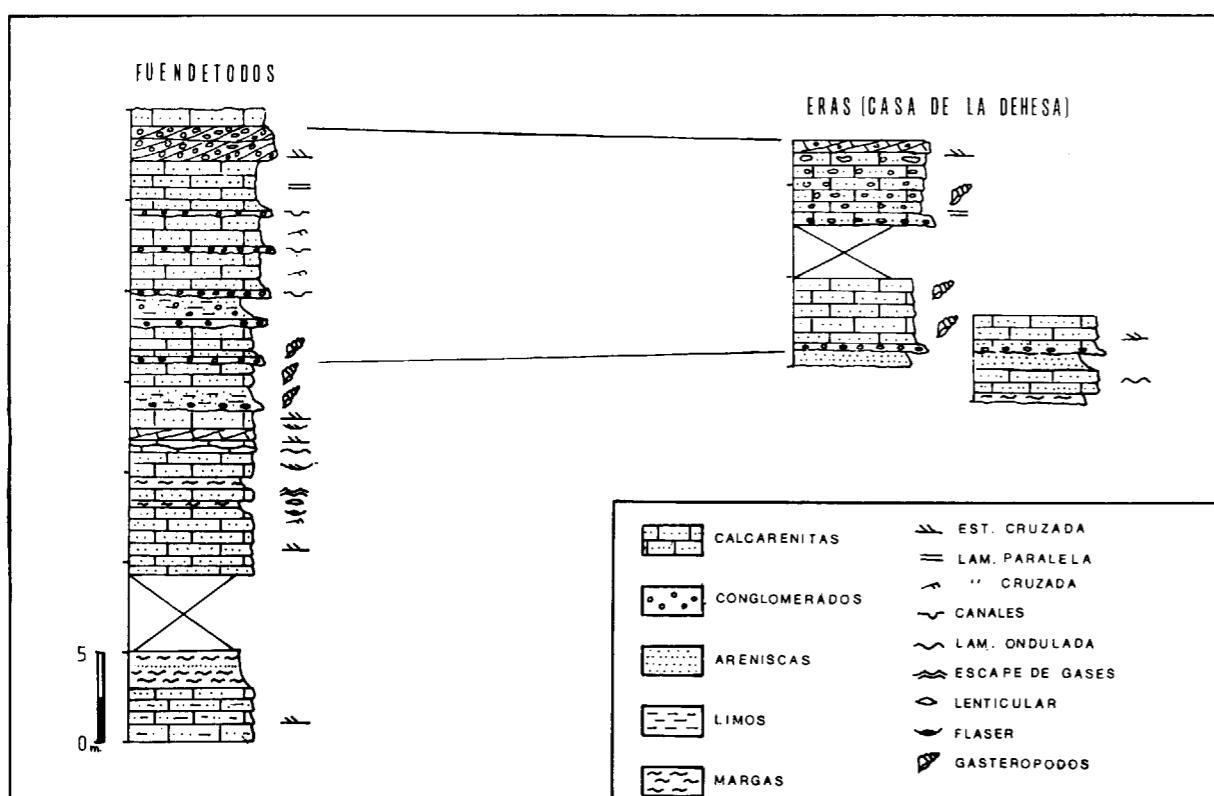


Figura 3.—Perfiles estratigráficos de Fuendetodos y las Eras de Tosos y su correlación.

de la Muela, a 25 km. al NNO de Fuendetodos, donde aparecen cantos de caliza jurásica, fuertemente encostrados por un cemento calizo de color salmón y costras acintadas (ZUIDAM, 1976), formando una película discontinua en la que los cantos se presentan aplanados como consecuencia de una intensa disolución. Es posible que el origen de estos cantos esté en relación con las etapas de aporte detritico anteriormente citadas. Esta interpretación es contraria a la señalada por ZUIDAM, que estima una edad Pliocuaternaria para este episodio. Ya hemos señalado que la sedimentación pliocuaternaria está fuertemente encajada en las calizas terminales de la Plana y la Muela.

III. EVOLUCION Y RELACION CON LA MORFOGENESIS

De los datos anteriormente señalados, así como de las diferentes observaciones que hemos realizado en las áreas circundantes, se deduce que la

sedimentación terminal del Neógeno de la Depresión del Ebro es fundamentalmente carbonatada. Con los conocimientos actuales no se puede realizar ninguna precisión cronológica, dada la carencia de determinaciones paleontológicas en estas series. En numerosos puntos del sur de la Depresión del Ebro se observa un perfecto encajamiento entre el techo de la sedimentación carbonatada (la Plana, región de Belchite, etc.) y una superficie de erosión de gran desarrollo, que se continúa en el sector central y oriental de la Cordillera Ibérica. Incluso en algunos puntos aparece una película de depósitos carbonatados neógenos sobre los depósitos jurásicos, tal como se observa en el Macizo de Mezalocha en el área denominada Loma Gorda (SORIANO, 1982).

Uno de los problemas que se plantean es el relativo a la correlación entre las series de Fuendetodos y las Eras de Tosos y los tramos terminales de la serie carbonatada de la Plana. En esta última, no aparece una sedimentación detritica grosera que permita su correlación con las series

anteriormente señaladas. Estimamos que es muy posible que los episodios detriticos groseros de Fuendetodos y las Eras de Tosos sean de edad más reciente que la sedimentación carbonatada de la Plana. La existencia de cantes dispersos sobre la Plana de Mezalocha parece corroborar esta hipótesis, al igual que los detriticos existentes en la Muela.

Las series objeto de estudio ponen de manifiesto una inestabilidad del área madre, que con anterioridad a esta etapa se encontraba arrasada en casi su totalidad. Creemos que una elevación de los marcos circundantes de la Depresión del Ebro motivó un gradiente de relieve, que trajo como consecuencia un aumento considerable de la energía del medio de sedimentación, con la paulatina modificación del mismo. Esto se refleja en las recurrencias de episodios fluviales intercalados entre los materiales lacustres. Esta inestabilidad no sólo queda registrada en la sedimentación, sino que general una superficie de aplanamiento en las áreas distales.

Con posterioridad a estos sucesos tuvo lugar la etapa principal de actividad tectónica distensiva que produjo el levantamiento de la Cordillera Ibérica y el hundimiento relativo de la Depresión del Ebro. Estos movimientos articularon las superficies de erosión y depósito, generando pequeñas fosas tectónicas (Fuendetodos), fallas, basculamientos, etc.

La diferencia de relieve originada en estas épocas dio lugar al comienzo de una etapa erosiva que se reconoce por los depósitos tipo «raña» presentes en el área y que fosilizan muchos de los materiales existentes, encajándose esta superficie sobre las anteriormente señaladas.

IV. CORRELACIONES

Los depósitos detriticos fluviales intercalados en la sedimentación carbonatada, que anteriormente hemos analizado, parecen limitarse, según los datos que actualmente disponemos, al borde sur del sector central de la Depresión del Ebro. La

formación carbonatada con la que culmina la sedimentación neógena en este sector no registra ningún detritismo en la Sierra de Alcubierre y Montes de Castejón. Ya hemos señalado que en otras cuencas terciarias de la Meseta se manifiestan estas etapas de inestabilidad por la aparición, entre otro tipo de datos, de materiales detriticos. Tales observaciones han sido efectuadas en la Submeseta meridional por AGUIRRE *et al.* (1976) y otros autores; OLMO *et al.* (1979) en la región central de la Cuenca del Duero, y OLIVE *et al.* (1981) en el área de Daroca (Fosa de Calatayud-Teruel). Igualmente las superficies de erosión presentan una marcada correlación con las señaladas por SCHWENZNER (1937) y GLADFELTER (1971).

BIBLIOGRAFIA

AGUIRRE, E.; DÍAZ MOLINA, M., y PÉREZ GONZÁLEZ, A.: *Datos paleomastológicos y fases tectónicas en el Neógeno de la Meseta Sur española*. Trabajos Neógeno-Cuaternario, 5: 7-29, C. S. I. C. (1976).

GLADFELTER, B. G.: «Meseta and campiña landforms in Central Spain». A *Geomorphology of the Alto Henares Basin*. The Univ. of Chicago, Dept. of Geography, número 130, 204 pp. (1971).

OLIVE, A., *et al.*: *Memoria y Hoja geológica de Daroca* (núm. 465), Inst. Geol. y Min. Esp., Madrid (en prensa) (1981).

OLMO, P. del, *et al.*: *Memoria y Hoja geológica de Cigales* (núm. 343), Inst. Geol. y Min. Esp. Madrid (en prensa) (1979).

QUIRANTES, J.: *Estudio sedimentológico y estratigráfico del terciario continental de los Monegros*. Institución Fernando el Católico. C. S. I. C. 200 pp. Zaragoza (1978).

SCHWENZNER, J. B.: *Zur Morphologie des Zentralspanischen Hochlandes*. Geogr. Abh., Stuttgart, v. 10 (1937).

SORIANO, A.: *Investigaciones geomorfológicas en la región Muel-Fuendetodos (prov. Zaragoza)*. Tesis de Licenciatura, 123 pp. Fac. Ciencias. Zaragoza (inédita) (1982).

ZUIDAM, R. A. VAN: *Geomorphological development of the Zaragoza region, Spain. Processes and landforms related to climatic changes in a large Mediterranean river basin*. Int. Inst. for Aerial Survey and Earth Sciences (I. T. C.), 211 pp., Enschede (1976).

Recibido: Abril 1981.

GEOLOGIA

Hallazgo de Paradoxides (Eccaparadoxides) brachyrhachis

Linnarsson 1883, en el Cámbrico Medio de Zafra (Badajoz).

Por María Dolores GIL CID (*)

RESUMEN

Se describen y figuran por primera vez los ejemplares pertenecientes a la especie *Paradoxides (E) brachyrhachis* Linnarsson 1883 encontrados en el Cámbrico Medio de Zafra (Badajoz).

ABSTRACT

For the first time it is describe and figure the species *Paradoxides (E) brachyrhachis* LINNARSSON 1883 founded in the middle Cambrian of Zafra (Badajoz).

INTRODUCCION

Dentro del Cámbrico Medio podemos encontrar géneros tales como el *Paradoxides*, cuyas especies se van sucediendo de tal manera que la aparición de una u otra nos permite una apreciación cronológica muy buena. En la región de Zafra, concretamente en las series que hemos estudiado del Cámbrico Medio, hemos obtenido ejemplares pertenecientes a la especie *Paradoxides (Eccaparadoxides) brachyrhachis*, LINNARSSON, 1883; esta especie, según la biozonación dada por SDZUY en 1961, pertenece a la zona 22 (zona antiquus-hispanica); se trata de una especie de *Paradoxides* situada por encima del *Paradoxides mureroensis* y por debajo del *Paradoxides rouvillei*; en la zona de Murero (Zaragoza) esta especie aparece en las capas B4 y en la Cordillera Cantábrica en las margas de Vegadeo (SDZUY, 1961). Hasta ahora este *Paradoxides* permanecía, para la zona de Zafra, sin describir ni figurar, ya que únicamente habíamos citado su existencia en nuestra publicación de 1973 (pp. 26-31).

SISTEMATICA

El estudio del género *Paradoxides* se puede encontrar en SNAJDR, M. (1958); no entra dentro de

(*) Departamento de Paleontología. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense. Madrid.

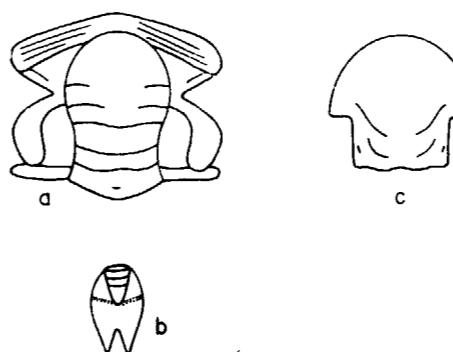


Figura 1a.—*Paradoxides brachyrhachis*. a. Cranidio, b. Pigidio, c. Hipostoma.

piezas morfológicas, características suficientes para efectuar determinaciones precisas.

El material estudiado se encuentra en el Departamento de Paleontología de la Universidad de Madrid, en la colección de la autora.

Familia Paradoxidae HAWLE y CORDA, 1847.
Subfamilia Paradoxidinae HAWLE y CORDA, 1847.
Género *Paradoxides* BRONGNIART, 1822.
Subgénero *Eccaparadoxides* SNAJDR, 1952.
Especie tipo: *Paradoxides pusillus* BARRANDE, 1846.

Paradoxides (Eccaparadoxides) brachyrhachis LINNARSSON, 1883.

- 1961. *Paradoxides brachyrhachis*. LINNARSSON. K. SDZUY. Das Cambrium Spaniens II, pp. 326-330 (Se encontrarán en pp. 326-327 sinonimias anteriores).
- 1967. *Eccaparadoxides brachyrhachis* LINNARSSON. R. COURTESSOLE. Contribución a la connaissance..., pp. 506-507.
- 1973. *Paradoxides (Eccaparadoxides) brachyrhachis*. LINNARSSON. R. COURTESSOLE. Le Cambrien moyen de la M. Noire, pp. 126-129.

Material

Hemos estudiado varios cranidos, dos pigidios y dos hipostomas.

Descripción

El contorno del cranidio presenta una forma típica de los *Paradoxides*; COURTESSOLE la denomina

«paradoxiforme» y consideramos que resulta muy apropiada; la sutura facial alcanza el surco dorsal al nivel de la parte media del lóbulo L_4 , quedando así la fixigena dividida en dos zonas o áreas separadas: un área preocular y un área intraocular. La relación AB/CD es muy próxima a 1 (véase figura 1b); la relación IJ/CD se presenta próxima a $1/2$ el rodet frontal aparece con un marcado relieve y muy abombado, con el borde externo siguiendo un arco de trazado regular, estrecho en su porción media, que se va alargando lateralmente y que se corta por la sutura facial según un arco convexo hacia el exterior. La forma de la glabela es semejante a una bombilla (mazuda): ligeramente ensanchada por la zona anterior, resultando el lóbulo occipital algo más estrecho que la zona glabellar próxima al S_4 ; es decir, que la anchura máxima de la glabela se alcanza en la zona media del lóbulo L_4 ; el surco occipital es prácticamente rectilíneo y transglabellar; la anchura del lóbulo occipital se ve ligeramente incrementada en su parte media; el surco S_1 es transglabellar y convexo hacia atrás; el surco S_2 también es transglabellar, si bien puede aparecer ligeramente interrumpido en su zona media; los surcos S_3 y S_4 no son transglabulares y su trazado aparece muy reducido (aproximadamente $1/3$) (véase fig. 1-b). Los lóbulos oculares son anchos, con escaso relieve.

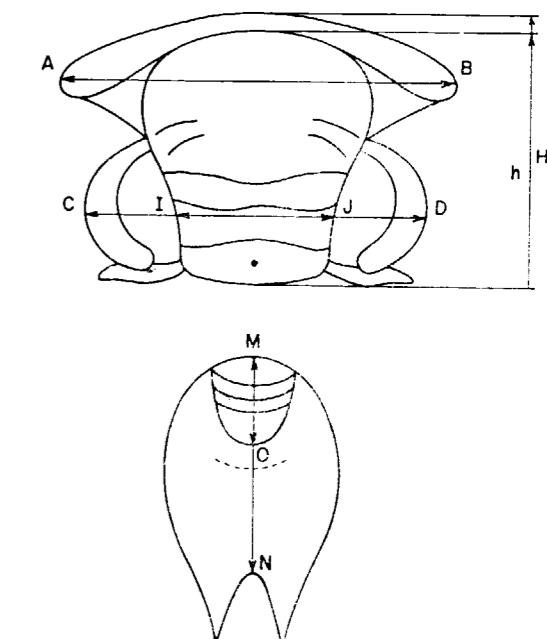


Figura 1b.—Puntos referenciales de medidas en *Paradoxides brachyrhachis*.

Las mejillas libres no presentan diferencias notables con las de otras especies; su rodete constituye una continuación del rodete del cranidio, y se adelgaza lentamente hacia la parte posterior, prolongándose mediante una espina o punta que llega a alcanzar la posición del noveno segmento torácico; la ornamentación del rodete es similar a la del rodete frontal; la anchura del área de la librigena (o mejilla libre) en su porción más estrecha es prácticamente igual a la del rodete a este nivel; la superficie de esta área se presenta recubierta de una malla de finas estrías radiales.

El tórax está compuesto de 18 segmentos, cuya estructura y dimensiones obedecen fielmente a las del género; el surco pleural corta la pleura en sentido diagonal desde delante hacia atrás.

El pigidio es la pieza morfológica más característica de las especies en los géneros de esta familia; el raquis es cónico y su relieve está muy bien marcado; su longitud es prácticamente igual a la mitad de la total del pigidio (ver figs. 1-a y b); en esta medida no está comprendida la presencia de los puntos pigidiales; este raquis presenta dos surcos transversales o transraquidiales; aparte de estos surcos debemos hacer notar la existencia de un anillo o surco articular; el área pleural se ve ensanchada transversalmente; el máximo de anchura lo alcanza el pigidio en el punto situado por debajo de la punta del raquis. La zona interespinal del contorno posterior describe un semicírculo cóncavo hacia atrás. La duplicación del área pleural aparece ornamentada de estrías finas de trazo concéntrico y con la concavidad hacia delante.

El hipostoma aparece con gran frecuencia deformado y mal conservado; a pesar de todo podemos hacer constar las siguientes consideraciones: el lóbulo anterior presenta forma de semicírculo, no bordeado; es típica la presencia de líneas en terraza; el lóbulo posterior es de forma rectangular y ligeramente estrecha, con los rodetes laterales subparalelos y prolongándose hacia atrás por medio de una corta espina que en raras ocasiones puede quedar patente; el surco anterior es muy convexo hacia atrás y presenta una interrupción en la zona central; el rodete posterior se puede observar ligeramente arqueado hacia delante y es algo estrecho.

Variaciones y observaciones

Los ejemplares de *Paradoxides brachyrhachis* que hemos obtenido en la carretera que va de Zafra a La Lapa (yacimientos 5, 6 y 8, en GIL CID, 1973) son de tamaño que oscila entre mediano a grande; los cranidos que hemos medido nos dan una media de H igual a unos 3-4 cm., siendo $h=2$, 5-3,5 cm; esto nos hace concebir que los individuos completos deberían medir aproximadamente los 15-17 cm. de largo (en sentido sagital). Todo el material que hemos estudiado ha consistido en individuos adultos; prácticamente todos los ejemplares están afectados por deformaciones de carácter tectónico; sin embargo, el estado de conservación de estos *Paradoxides* podemos calificarlo de muy bueno; dentro de los cranidos podemos diferenciar y distinguir los dos surcos transglabulares, profundos y muy bien marcados, seguidos de los otros dos discontinuos claramente delimitados en su trazado y posición; podíamos establecer semejanzas entre esta especie y *P. rouvillei*, si bien ésta se diferencia de aquélla por sus proporciones; utilizando las claves determinativas de COURTES-SOLE (1973), podemos resumir así las diferencias entre *P. brachyrhachis* y *P. rouvillei*:

- a) *Paradoxides (E) brachyrhachis*. AB/CD aproximadamente 1; IJ/CD aprox. 1/2; MO/MN aprox. 1/2.
- b) *Paradoxides (E) rouvillei*: AB/CD 1; IJ/CD aprox. 1/3; MO/MN 1/2.

Las diferencias más acusadas podemos situarlas en el pigidio, ya que mientras que en *rouvillei* es espatulado y el contorno es exagonal-redondeado, en *brachyrhachis* se presenta mucho más alargado y con dos puntas pigidiales de longitud media; los surcos del raquis del pigidio son dos en ambas especies.

Otra diferencia que podemos utilizar para distinguir la especie *rouvillei* consiste en que en la zona intraocular de las mejillas aparece una serie de canalículos muy finos, los cuales no están presentes en la especie *brachyrhachis*.

Distribución

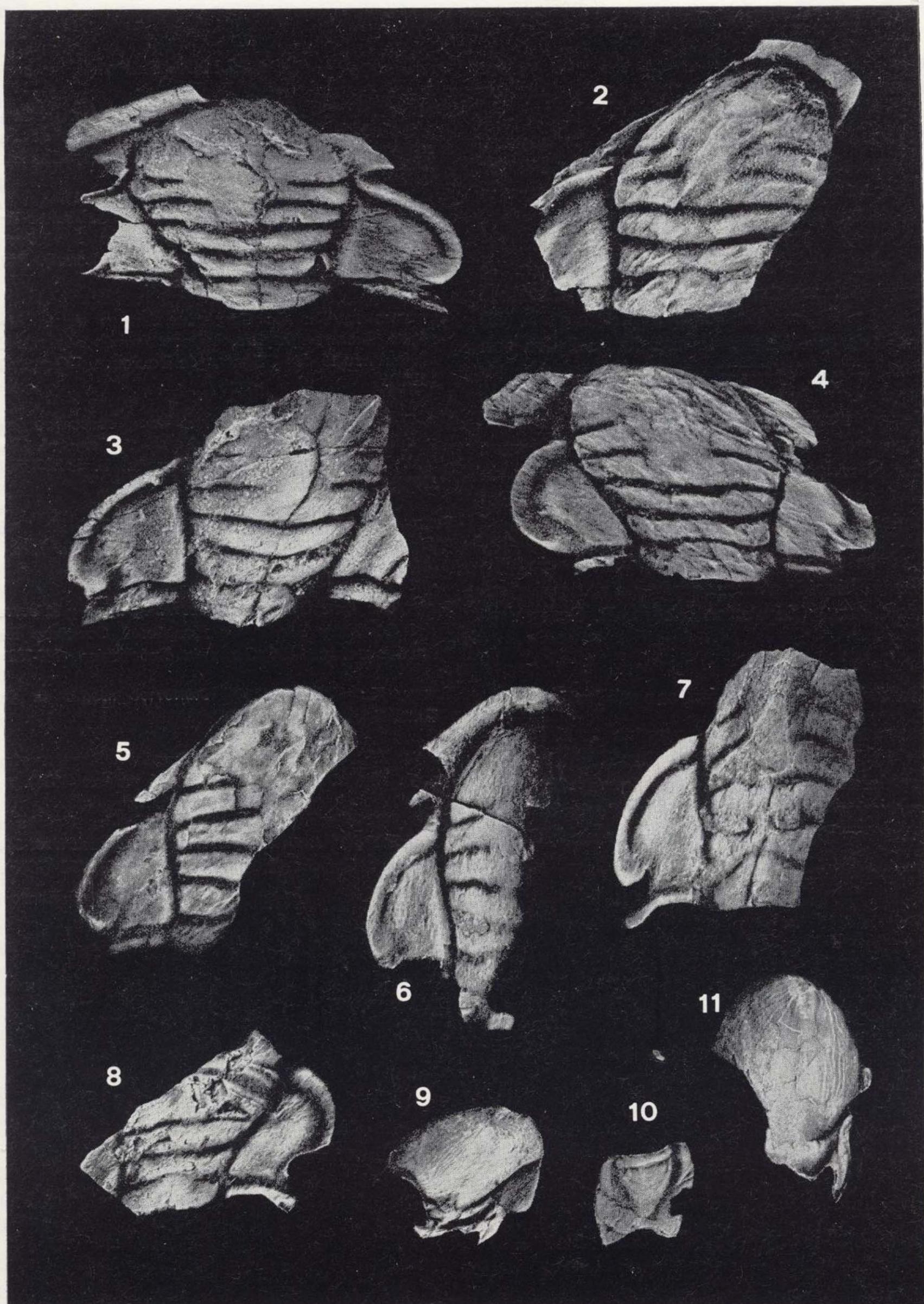
Esta especie aparece descrita por SDZUY, L. en 1961 para el Cámbrico Medio de Murero, Ateca, Los Barrios de Luna, Concha de Artedo, Villafeliche, Genestosa y Vegadeo. En el año 1964, BARD,



Figuras 1 a 8.—*Paradoxides (Eccaparadoxides) brachyrhachis*. LINNARSSON, 1883. Cranidos algo deformados de los yacimientos de Zafra (Badajoz) (x2).

Figuras 9 y 11.—*Paradoxides (Eccaparadoxides) brachyrhachis* LINNARSSON, 1883. Hipostomas en los que podemos apreciar las «líneas en terraza» (x2).

Figura 10.—*Paradoxides (Eccaparadoxides) brachyrhachis* LINNARSSON, 1883. Fragmento de un pigidio. Todos los ejemplares han sido blanqueados con óxido de magnesio.



Figuras 1 a 8.—*Paradoxides (Eccaparadoxides) brachyrhachis*. LINNARSSON, 1883. Cranidos algo deformados de los yacimientos de Zafra (Badajoz) ($\times 2$).
 Figuras 9 y 11.—*Paradoxides (Eccaparadoxides) brachyrhachis* LINNARSSON, 1883. Hipostomas en los que podemos apreciar las «líneas en terraza» ($\times 2$).
 Figura 10.—*Paradoxides (Eccaparadoxides) brachyrhachis* LINNARSSON, 1883. Fragmento de un pigidio.
 Todos los ejemplares han sido blanqueados con óxido de magnesio.

J. P., cita *Paradoxides* en Zafra, si bien los da como *Paradoxides* sp.; en 1969, SUHR, O., también cita en su trabajo sobre el Cámbrico de Extremadura, la presencia de *Paradoxides* sp. y *Acadoparadoxides* sp., coincidiendo en la aportación de datos con los de BARD; así pues, hasta 1973 no hay una mención concreta de *Paradoxides* en Zafra (GIL, 1973, pp. 26-31); no obstante, el principal objeto de aquel trabajo no fue la descripción exhaustiva de las especies encontradas, por lo que únicamente aparecieron relacionadas; los ejemplares de P. (E) *brachyrhachis* que hemos estudiado en Zafra son muy semejantes, en cuanto a conservación y tamaño, a los de Murero, de los cuales tenemos recogidos un buen número, procedentes de campañas de campo anteriores; no obstante, podemos constatar el mayor relieve de los encontrados en Zafra, así como mayor fidelidad en los detalles morfológicos.

Esta especie la hemos encontrado asociada a *Pardailhania hispida* y *Ctenocephalus antiquus* (zona 22 de LOTZE) (Cámbrico Medio, B. SDZUY).

Depósito del material y técnicas utilizadas

El material estudiado se encuentra en el Departamento de Paleontología de la Facultad de Ciencias Geológicas de Madrid. Las fotografías han sido realizadas por R. SÁNCHEZ (Departamento de Paleontología) con el asesoramiento de J. C. GUTIÉRREZ.

BIBLIOGRAFIA

- BARD, J. P.: *Observaciones sobre la estratigrafía del Paleozoico de la región de Zafra (provincia de Badajoz). España*. Not. Com. Inst. Geol. Min. España, 76, 175-180 (1964).
- COURTESSOLE, R.: *Contribution a la connaissance de la paléontologie et de la stratigraphie du Cambrien moyen de la Montagne Noire (versant meridional)*. Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse, 103, 3-4 (1967).
- COURTESSOLE, R.: *Le Cambrien Moyen de la Montagne Noire. Biostratigraphie*. Laboratoire de Géologie CEARN de la Faculté des Sciences de Toulouse, 239 pp., 27 láms. (1973).
- GIL CID, D.: *Nota preliminar sobre el contenido faunístico y edad del Cámbrico de Zafra y Alconera (Badajoz)*. Bol. Inst. Geol. y Min. de España, T. LXXXIV-I, 26-31 (1973).
- SDZUY, K.: *Das Kambrium Spaniens. Teil II: Trilobiten*. Akad. Wiss. Lit. Abh. Math. Naturw. Kl., 7, 8, 217-408 (1961).
- SDZUY, K.: *La subdivisión bioestratigráfica y la correlación del Cámbrico Medio de España*. I Congreso Hispano-Luso-Americanano de Geología Económica, 769-782 (1971).
- SDZUY, K.: *Trilobites del Cámbrico Medio de Asturias*. Trab. Geol. I, 77-133 (1968).
- SNAJDR, M.: *Trilobiti ceskeho kambria*. Rozpr. ustr. Ustav. geol. Phaha. 280 pp., 46 figs., 46 planos (1958).
- SUHR, O.: *Beitrag zue Stratigraphie des Kambriums im Bereich der südlichen Extremadura (Sudwest-Spanien)*. Munster Forsch. Geol. Palaont., 14, 204-232 (1969).

Recibido: Enero 1982.



Las mineralizaciones estratiformes F_2Ca -Pb en las dolomías triásicas de Sierra de Lújar, Granada (Cordilleras Béticas, España).

Por G. OVEJERO (*), F. TONA (**), J. M. MARIN, A. GUTIERREZ (*), J. P. JACQUIN (**), G. SERVAJEAN (*), J. F. ZUBIAUR (*)

RESUMEN

El cuadro geológico corresponde a una serie marina permo-triásica, esencialmente carbonatada (1.000 m. de potencia), detrítica a la base, con emisiones locales de diabasas, cambios de facies notables y fenómenos (brechas, elumpings, discordancias) que atestiguan una inestabilidad de la cuenca. El conjunto constituye una unidad alóctona (base del complejo Alpujárride) intercalada dentro de una serie de unidades tectónicas superpuestas.

Los niveles mineralizados se distribuyen dentro de un tramo calcáreo y dolomítico de 300 m. de potencia, de edad Ladinense. Las facies portadoras son dolomías primarias, lenticulares (0-80 m.) con un fondo geoquímico elevado (40-100 ppm. Pb; 8 por 100 F_2Ca). La repartición de los lentejones de fluorita y galena (3-4 por 100 Pb; 20-65 por 100 F_2Ca) dentro de los horizontes dolomíticos obedece a variaciones morfológicas, sedimentológicas y geoquímicas de los mismos, evidenciando un control paleogeográfico, que ha sido parcialmente reconstituido. El medio de sedimentación corresponde a un ambiente de plataforma, cotidal s.l., de tendencia alcalina, a veces próximo a la emersión. La mineralización simultánea con el sedimento dolomítico ha experimentado su misma historia diagenética (facies cebrada común, etc.) y tectónica (configuración estructural en yacimiento de un gran anticlinal vergente).

RESUME

Le cadre géologique: série marine permo-triasique, essentiellement carbonatée (>1000 m. de puissance) et détritique à la base (permo-verfenien ?); quelques intercalations de roches basiques vers le Ladinien, des changements de facies fréquents dans la série carbonatée et phénomènes sédimentaires témoignant d'une instabilité notable (brèches, «slumpings», discordances, ...). L'ensemble constitue une unité tectonique charriée correspondant à la base du complexe appelé alpujárride dans le domaine bétique.

Les horizons dolométiques lenticulaires minéralisés en F_2Ca et PbS s'intercalent dans de calcaires. Cet ensemble a un âge ladinien et mesure environ 300 m. de puissance. Les dolomies, primaires, atteignent 80 m. de puissance; elles sont caractérisées par un contenu en F_2Ca élevé. La répartition des lentilles de fluorine et galène dans les horizons dolométiques est liée à des changements morphologiques, sédimentologiques et géochimiques, permettant de mettre en évidence des contrôles paléo-géographiques et parfois de reconstituer leur évolution. Le milieu de sédimentation correspond à une plateforme éloignée du continent parfois émergée. La minéralisation a une origine syn-diagnétique.

INTRODUCCION

El siguiente estudio (1) es el resultado de las investigaciones de la Sociedad Minera y Metalúrgica de Peñarroya-España, sobre los depósitos mineralizados de Sierra de Lújar.

El trabajo se basó fundamentalmente en: levantamientos geológicos del interior de la mina de

(*) S. M. M. Peñarroya-España. Cía. Andaluza de Minas Minor.

(**) B. R. G. M.

(***) C. O. G. E. M. A.

Orgiva (1/200) y de superficie (1/5.000 a 1/10.000); geoquímica Pb-F en roca a través de la serie triásica (630 muestras más 3.500 m. de testigo de sondeo analizados): análisis químicos de los ni-

(1) El presente artículo resume, incluyendo algunas nuevas precisiones y reflexiones, lo recogido en «Las mineralizaciones de plomo-fluorita de Sierra de Lújar (Granada, España)», de G. OVEJERO, F. TONA, J. M. MARÍN, A. GUTIÉRREZ, J. P. JACQUIN, G. SERVAJEAN y J. F. ZUBIAUR, Jornadas Minero-Metalúrgicas, Bilbao, 1975, tomo IX, págs. 83-110. Ha sido también presentado en el XXVI Congreso Geológico Internacional, París, 1980.

El artículo ha sido enfocado sobre todo bajo el aspecto descriptivo del yacimiento.

veles mineralizados (720 muestras); 14 sondeos de reconocimiento (3.500 m.) y estudios petrográficos y mineralógicos llevados a cabo especialmente por F. TONA (1973).

Los resultados han conducido a trazar los controles geológicos de la mineralización permitiendo una mayor precisión en la evaluación de las reservas y en la orientación y explotación de las labores mineras.

Del punto de vista económico el potencial minero de la Sierra supone 10 Mt. a 2 por 100 Pb, 35 por 100 F₂Ca entre tonelaje explotado (algo más de 2 Mt.) y recursos geológicos.

1. LOCALIZACION GEOGRAFICA

La Sierra de Lújar es un montañoso macizo costero que alcanza los 1.800 m. de altitud, situado entre el Mediterráneo y la Sierra Nevada, en la comarca de las Alpujarras, al sur de la provincia de Granada.

2. CONTEXTO GEOLOGICO

El macizo de Lújar pertenece al dominio interno de las Cordilleras Béticas. Ha bautizado con su nombre a la principal unidad tectónica que lo constituye «manto de Lújar» cuya posición estructural ha motivado numerosas controversias.

Actualmente es admitido por la mayoría de los autores que la unidad de Lújar constituye una unidad perteneciente al complejo Alpujárride ocupando una posición estructural inferior dentro de dicho complejo de manto de corrimiento. La unidad de Lújar está constituida por una serie permotriásica, detrítica en su base y esencialmente carbonatada en su conjunto con pequeñas manifestaciones básicas intratriásicas.

3. HISTORIA DE LAS INVESTIGACIONES SOBRE SIERRA DE LUJAR

Las formaciones constituyentes de Sierra de Lújar son consideradas como alóctonas desde los trabajos de R. W. VAN BEMMELEN (1927) y como alpujárrides desde los de J. WESTERWELD (1929).

Es además, en esta región donde han sido definidas, por este último autor, las unidades denominadas alpujárrides. La serie de Sierra de Lújar puede, por tanto, ser considerada como alpujárride típica por definición en sentido paleogeográfico y estructural.

A. H. BANTING (1933) entrevió una hipótesis estructural local en la cual la serie de la Sierra de Lújar representaría el flanco inverso del pliegamiento de Lanjarón-Gádor. Un poco más tarde, M. BLUMENTHAL (1935) supuso que este macizo era autóctono bajo el manto de Gádor en el mismo momento en que J. SERMET (1934) había incluso llegado hasta negar la existencia de mantos de corrimiento en esta región.

J. P. COPPONEX (1958) considera de nuevo la serie en posición normal. J. BOULIN *et al.* (1966), después M. LEROY (1967) y J. BOULIN (1968) conservan la idea de la serie invertida, en un cuadro estructural un poco diferente al de H. A. BANTING (1933), sin presentar pruebas litoestratigráficas convincentes; F. ALDAYA (1968 y 1969) discute nuevamente el problema de la polaridad de la serie y sin aportar tampoco argumentos decisivos, vuelve a optar por la posición normal de la serie.

J. P. JACQUIN (1970) entrevé igualmente la posibilidad de una serie normal basándose en la presencia de Permo-werfeniense en posición infrafacolomítica al NE de la Sierra (carretera de Torviscón). C. B. PITRE (1969) descubre la presencia de superficies de erosión en el seno de la serie carbonatada, abriendo así el camino a la investigación de criterios de polaridad.

F. ALDAYA (1968, 1969) ha considerado la Unidad de Lújar como independiente del dominio alpujárride; C. G. EGELER y O. J. SIMÓN (1969) la interpretan como una serie en posición normal incluyéndola en el Complejo de Ballabona-Cucharón.

Finalmente, M. J. PAVILLÓN (1972, págs. 461-462) considera la serie de Sierra de Lújar como un equivalente lateral potente de la serie metacarbonatada que descansa sobre los esquistos de Sierra Nevada. Resulta difícil de comprender como podría pasarse en pocos centenares de metros de una serie de débil potencia (algunas decenas de metros como máximo) y metamórfica a una serie potente (alrededor de 1.30 m.) y no metamórfica. En cuanto a los términos de la Unidad suprayacente que cabalga sobre la serie de Lújar, se inclina a consi-

derarlos en continuidad estratigráfica normal con la formación de Lújar, lo cual no admitimos en función de la cartografía y del examen detallado de los contactos (figura 1b) netamente secantes entre sí.

En 1971, tratando de buscar las prolongaciones de las mineralizaciones estratiformes dentro de un contexto tectónico mal conocido, debíamos abordar en prioridad, de una parte, el problema de la geometría interna de la Sierra para poder reemplazar en ella las figuras sedimentarias legibles en la serie carbonatada, susceptibles de definir su polaridad, y de otra parte, cartografiar los sectores clave para situar el problema a la escala regional (relación entre serie carbonatada triásica y series sobre e infra-yacentes pelítico-cuarcíticas atribuibles al Permo-werfeniense). El análisis estructural detallado del área de la mina, el estudio de las figuras sedimentarias, la cartografía de los flancos NO, O y S de la Sierra permitieron levantar las dudas y continuar el estudio sabiendo que la serie está en posición normal, que se trata de una unidad alpujárride que reposa directamente sobre el complejo nevado-filábride.

F. ALDAYA (1968, 1969) situaba el límite norte del manto de Lújar sobre el borde del río Guadalete, mediante una falla inversa. Su continuidad al norte del río puesta en evidencia cartográficamente (G. OVEJERO *et al.*, 1975) (figs. 1 y 3) ha sido posteriormente corroborada por F. ALDAYA *et al.* (1976) y K. EWERT (1976).

Sobre estas bases, el estudio de la mina pudo ser desarrollado con certeza y fue emprendido el análisis de las facies dirigido a desembocar sobre las reconstituciones paleogeográficas.

Las investigaciones metalogénicas sistemáticas han sido fundamentalmente llevadas a cabo por los geólogos del Servicio de Investigación de Peñarroya-España (P. DIMPault, C. PITRE, G. SERVAJEAN, J. P. JACQUIN, F. TONA, G. OVEJERO *et al.*, 1968 a 1973) paralelamente con el estudio de otras áreas metalogénicas similares (Sierra de Baza, Sierra de Gádor, Sierra Almijara).

Otras observaciones corresponden a R. ARANA (1973) y a K. EWERT (1976).

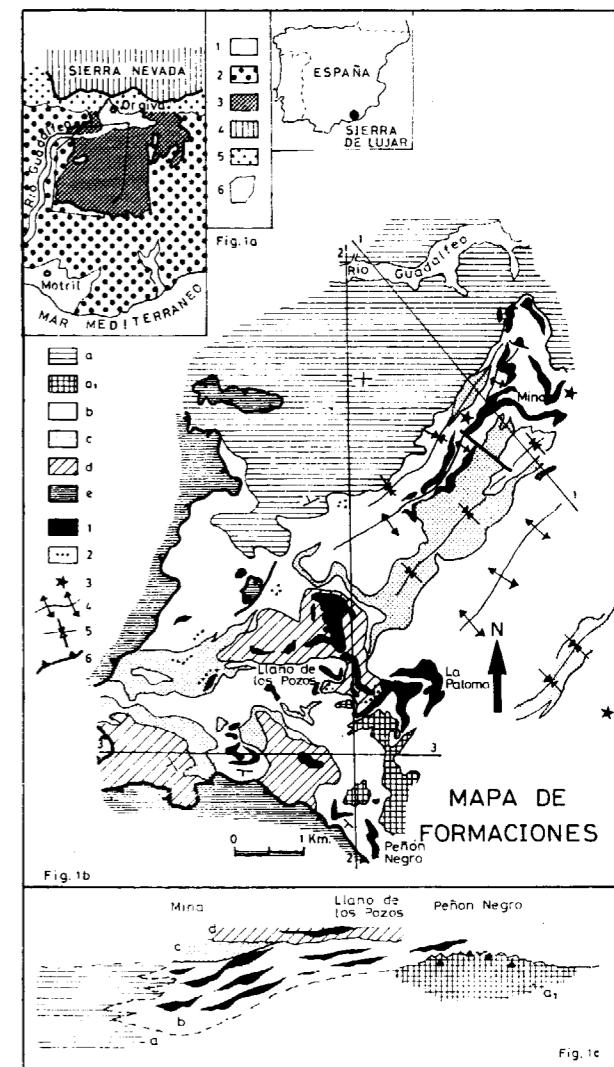


Figura 1a.—Localización estructural de la Sierra de Lújar. La geometría de los contactos está básicamente tomada del mapa de F. ALDAYA (1968).

1. Formaciones post-corrimiento.—2. Unidades alpujárrides superiores.—3. Unidad de Lújar.—4. Complejo Nevado-Filábride.—5. Alpujárride de posición estructural no aclara.—6. Zona cartografiada.

Figura 1 b.—Mapa de formaciones. Formación a: dolomías, arcillas, margos-calizas.—Formación a1: dolomías con grandes «slumpings» y brechas intraformacionales abundantes.

Formación b («formación mineralizada»): calizas con juntas arcillosas (en blanco) y dolomías mineralizadas (en negro) y estériles (en blanco).—Formación c: arcillas, margas, margas yesíferas, carniolas, lentejones dolomíticos y calcáreos.—Formación d: calizas (rayado) y dolomías mineralizadas (en negro) y estériles.—Formación e: unidad alpujárride superior (u. de Alcázar de F. ALDAYA, 1969). 1. Dolomías mineralizadas (F₂Ca-PbS).—2. Niveles de PbS en calizas.—3. Rocas volcánicas básicas.—4. Anticlinales.—5. Sínticales.—6. Contacto de corrimiento.

El área de la Mina está ubicada sobre las dolomías (en negro) del corte 1-1.

Figura 1 c.—Relación posible entre las distintas formaciones en la cuenca de sedimentación (sin escala). Misma leyenda de la figura 1 b.

4. GEOLOGÍA DE LA SIERRA DE LUJAR

4.1. Serie litoestratigráfica y distribución de las mineralizaciones

La Sierra de Lújar está constituida esencialmente por formaciones carbonatadas de más de 1.000 m. de espesor atribuidas desde hace tiempo al Triásico por analogía con las rocas de la Sierra de Gádor (J. GONZALO y TARIN, 1882) y de la Sierra de Baza, donde fueron encontradas algas de edad noriense (P. FALLOT *et al.*, 1954) en la parte superior de la Unidad de Santa Bárbara (F. DELGADO *et al.*, 1971). Despues, J. BOULIN (1969) y H. LEROY (1967) encontraron algas comparables en los niveles calcáreos próximos de la mina. La presencia de conodontos y de restos de holoturioideos permitió (H. KOZUR y O. J. SIMÓN, 1972; M. VAN DER BOOGARD y O. J. SIMÓN, 1973) atribuir una edad Ladinense Superior a Carniense Inferior a los niveles inmediatamente superiores a los horizontes domíticos mineralizados de la mina (figs. 2, 3 y 5).

A partir de la cartografía de facies (fig. 3) se ha elaborado un mapa de formaciones (fig. 1b) sobre el que se ha reconstituido la relación paleogeográfica posible entre las mismas, en la cuenca de sedimentación (fig. 1c).

La formación mejor definida corresponde a la formación (b), constituida por calizas con intercalaciones de horizontes dolomíticos mineralizados y estériles, que pasan lateralmente, hacia el norte, a una formación (a) litológicamente más heterogénea, formada de margas, margocalizas y arcillas con lentejones dolomíticos interestratificados.

La presencia, abundante en la formación (b) de brechas intraformaciones, ya citadas por F. ALDAYA (1970), las numerosas discordancias internas, las figuras de erosión y superficies rubefactadas, las emisiones de diabasas (1) (P. DIMPMAULT *et al.*, 1968; F. TONA, 1973), las fallas sinesedimentarias, los grandes «slumpings» atestiguan una inestabilidad (2) persistente durante toda la sedimentación carbonatada, alcanzando su paroxismo en el momento de la expansión de grandes brechas restringidas al sector meridional (formación a₁) de la Sierra.

(1) Hemos encontrado fragmentos de éstas englobadas en importantes brechas intraformacionales de la formación (a₁).

(2) F. ALDAYA (1970, p. 166) ha sugerido incluso una fase de compresión intratriásica, lo que nos parece exagerado.

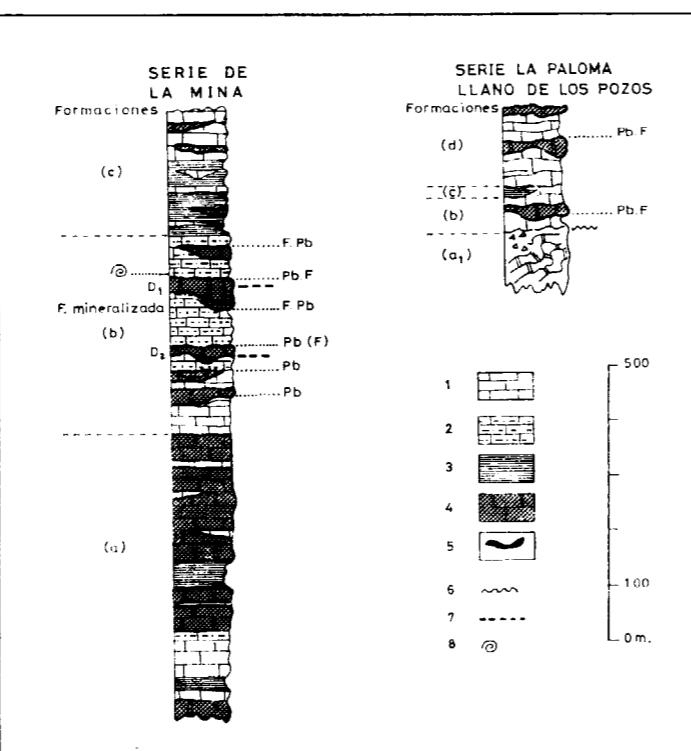


Figura 2.—Series litoestratigráficas y posición de las mineralizaciones de la unidad de Lújar (localización sobre la figura 3). 1. Calizas grises.—2. Calizas con juntas arcillosas.—3. Arcillas y margas amarillas.—4. Dolomías grises fétidas con facies «franciscana».—5. Rocas básicas.—6. Discordancias intrasedimentarias.—7. Niveles de cherts.—8. Yacimiento de fósiles.

Una zona inestable de talud triásico (fig. 1c) parece separar los dominios septentrional y meridional de la sierra, a menudo próximos a la emergencia y quizás hasta emergidos temporalmente, presentando el dominio septentrional una mayor tendencia subsidente.

La formación (c) margo-arcillosa con lentejones calcáreos, dolomíticos y carniólicos no está presente en toda la Sierra, sin que conozcamos las causas (¿laguna de sedimentación o de erosión?, ¿cambios laterales...). La formación terminal (d), separada de la serie infrayacente por una discordancia intratriásica progresiva presenta una serie calcárea con intercalaciones mineralizadas y estériles.

Se distinguen dos formaciones metalógénicas superpuestas: la formación (b) y la formación (e). Ambas presentan horizontes dolomíticos minera-

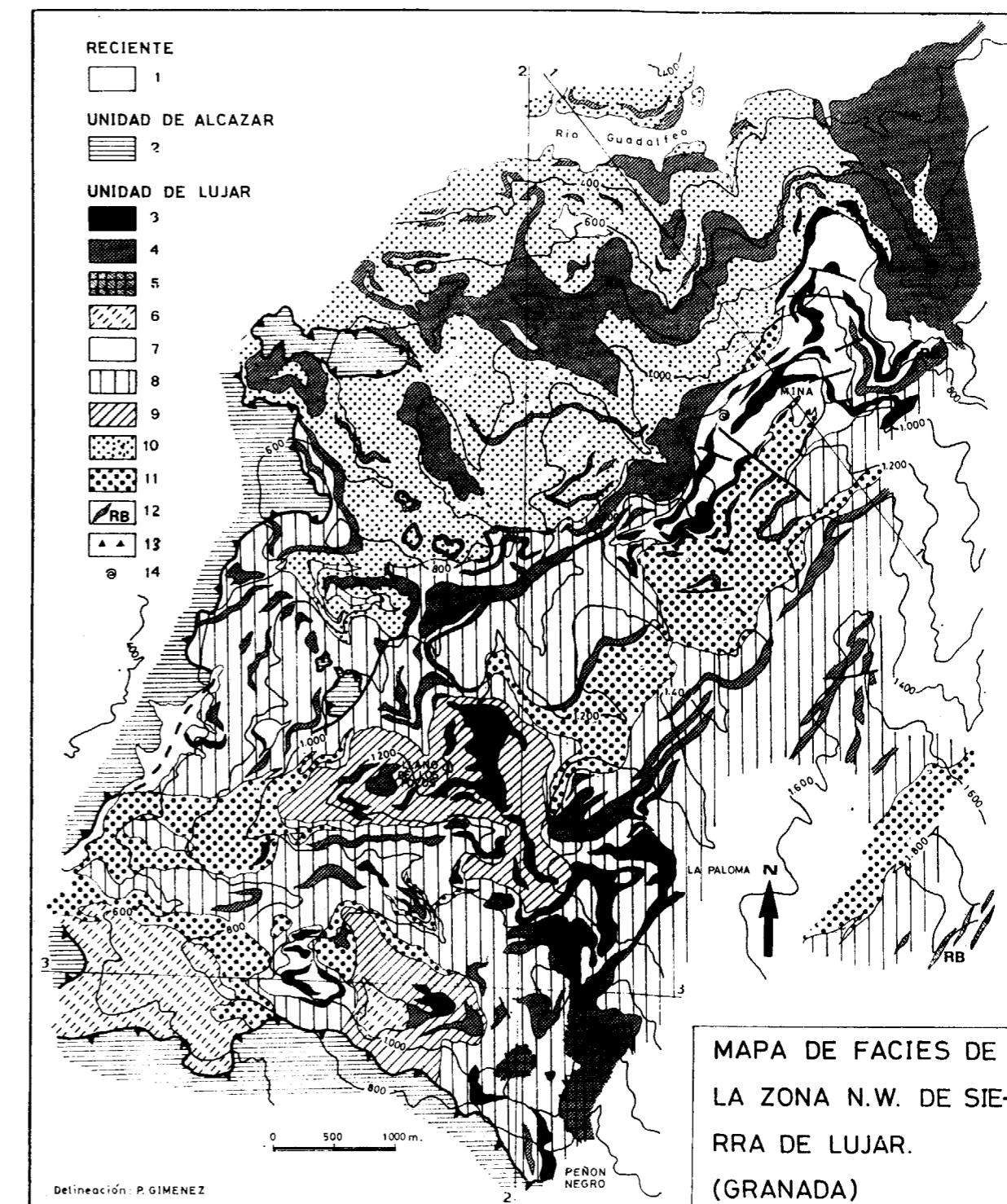


Figura 3.—Mapa de facies de la zona NO de Sierra de Lújar (esquema a partir de levantamiento a 1/10.000). 1. Aluvial, coluvial.—2. Filitas y cuarcitas permo-werfenianas de la unidad de Alcázar.—3. Dolomías mineralizadas (F₂Ca-PbS).—4. Dolomías no mineralizadas.—5. Dolomías con predominio de brechas intraformacionales y slumping.—6. Calizas dolomíticas.—7. Calizas con juntas de estratificación arcillosas.—8. Calizas.—9. Calizas terminales.—10. Arcillas, margocalizas.—11. Margas, arcillas, margas yesíferas, carniolas, calizas.—12. Rocas básicas.—13. Discordancia y brechas intraformacionales.—14. Fósiles de edad Ladinense Superior-Carniense Inferior. Todas las facies del 3 al 13 son de edad triásica.

lizados lenticulares, pero bien definidos y cartografiados. Las mineralizaciones de la Mina de Orgiva se sitúan en la formación (b). Nivelillos mineralizados muy lenticulares discontinuos y poco desarrollados aparecen puntualmente en las calizas de ambas formaciones y muy localmente en la formación (c) (figs. 1b y 1c).

4.2. Geometría de la unidad de Lújar

La unidad o manto de Lújar aflora en la Sierra de Lújar, bajo la forma de un abombamiento post-manto, basculado hacia el Oeste, inclinación que queda remarcada cartográficamente (fig. 1b) por el contacto con la unidad tectónica superior (unidad de Alcázar, de F. ALDAYA, 1969).

La unidad superior corta netamente la serie plegada de la unidad de Lújar, biselando progresivamente de Sur a Norte términos gradualmente más altos a más bajos de la serie litoestratigráfica de la unidad de Lújar (fig. 1b). Los grandes pliegues, vergentes hacia el NO, como en la Sierra de Gádor (J. P. JACQUIN, 1970) y Sierra de Baza (F. DELGADO *et al.*, 1971) serían anteriores a los últimos movimientos relativos de los mantos.

La unidad de Lújar muestra la continuidad cartográfica de sus facies al norte del río Guadalefeo.

En los afloramientos discontinuos al E de Orgiva, las rocas carbonatadas mineralizadas (dolomías con Pb) presentan estrechas analogías con los tramos inferiores de la serie de la Mina. Esto nos lleva a considerar que parte de los materiales alpujárrides de la zona de Orgiva, atribuidos anteriormente por F. ALDAYA (1969) a una unidad tectónica superior (manto de Cástaras) corresponderían en nuestra opinión a la misma unidad de Lújar. J. A. GALLEGOS (1974) ha llegado también a la misma conclusión (ver apdo. 3).

Hacia el Este la unidad de Lújar queda escondida bajo unidades superiores (mantos de Alcázar y Murtas de F. ALDAYA, 1969) para reaparecer puntualmente en las ventanas tectónicas de Albuñol, Turón y Rambla Huarea con facies y eventualmente mineralizaciones comparables.

5. ESTRUCTURA DE LA ZONA DE LA MINA

La Mina está ubicada en un anticlinal complejo ligeramente invertido y vergente hacia el NO, encaudrado por dos sinclinales poco reconocidos por los trabajos mineros (fig. 4, corte 1-1; fig. 5 y fig. 6). Lateralmente la estructura anticlinal se amortigua rápidamente. El anticlinal está afectado por fracturas contemporáneas del plegamiento, en particu-

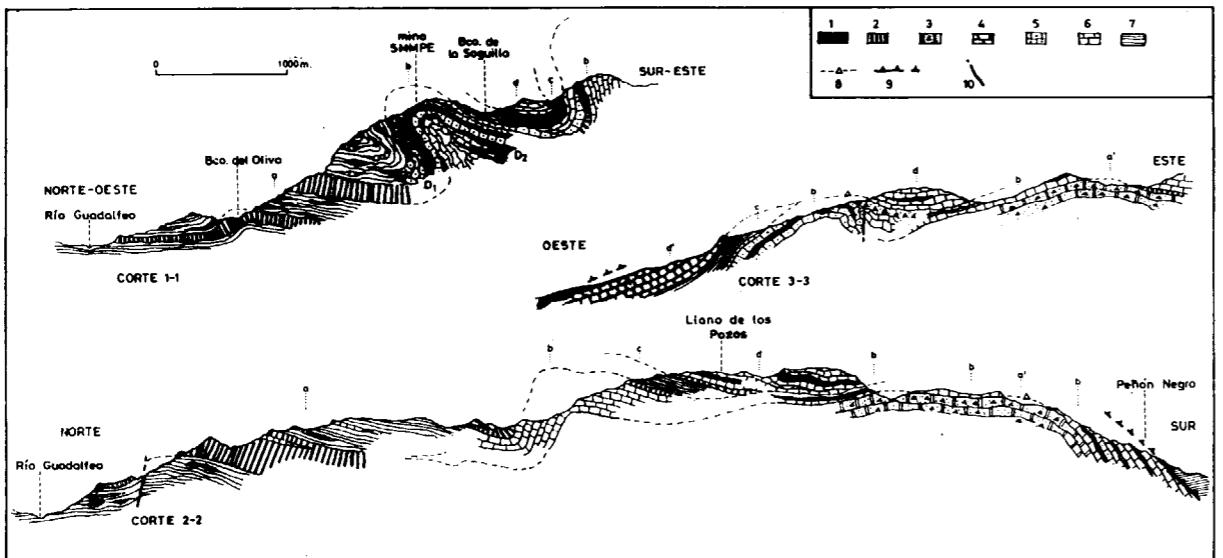


Figura 4.—Cortes geológicos a través de la unidad de Lújar (localización en las figuras 1 b y 3). Formaciones: a, a₁, b, c y d (ver descripción en leyenda de la figura 1 b). Litofacies: 1. Dolomías mineralizadas.—2. Dolomías estériles.—3. Dolomías con brechas sedimentarias.—4. Calizas dolomíticas.—5. Calizas con juntas arcillosas.—6. Calizas.—7. Arcillas, margas.—8. Discordancias y brechas intraformacionales.—9. Contacto de corrimiento.—10. Fracturas.

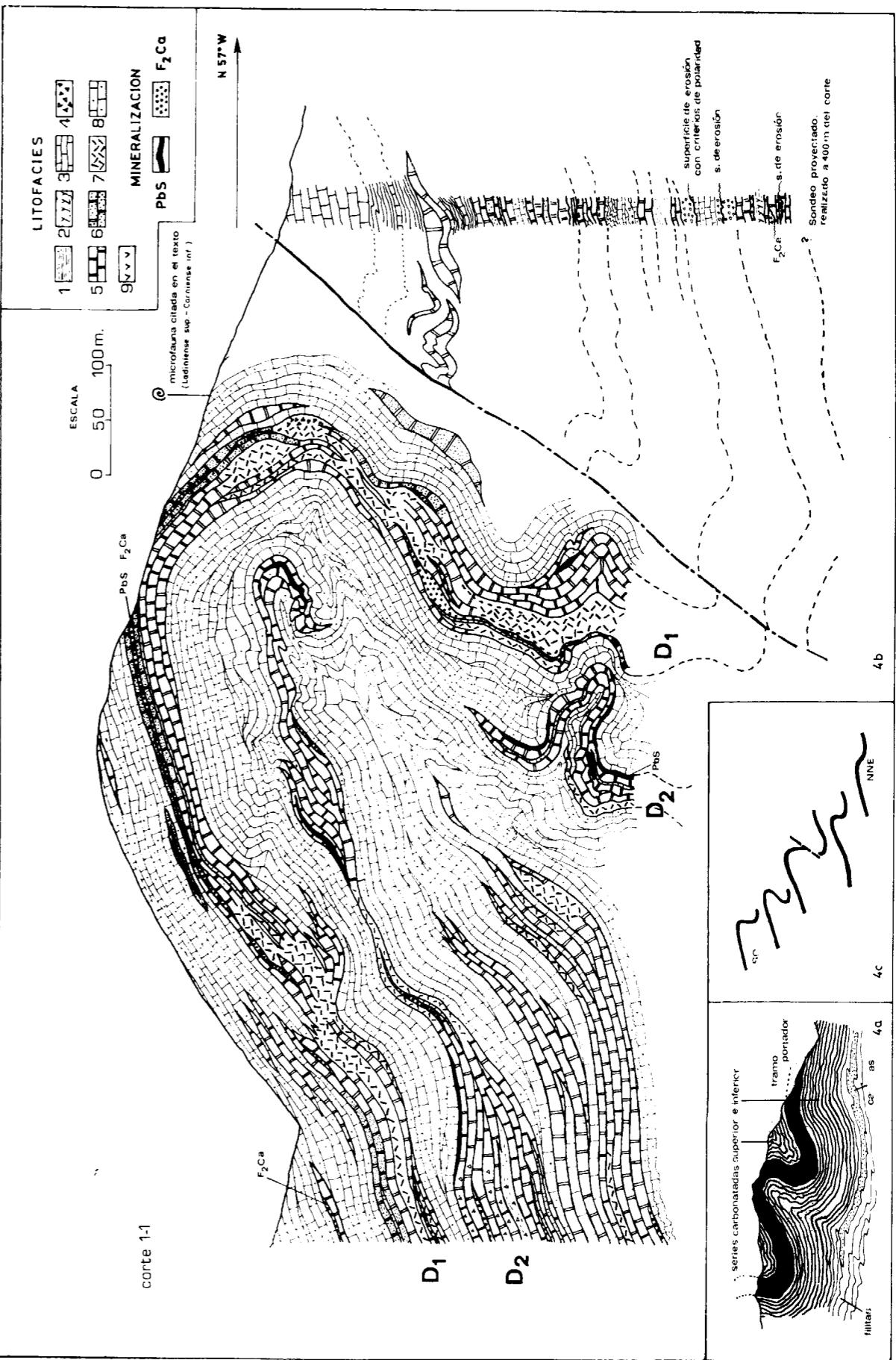


Figura 5.—*Corte geológico a través de la parte central de la mina. 5 a. Localización del tramo mineralizado dentro de la serie de Lujar.-5 b. Corte geológico a través de la parte central de la mina.—1. Margas y arcillas.—2. Margas yesíferas con pirita*

diseminada.—3. Calizas.—4. Brechas intraformacionales.—5. Dolomia gris.—6. Dolomía marrón.—7. «Franciscana» y brechas de recristalización.—8. Calizas con juntas arcillosas.—9. Rocas verdes.—5 c. Evolución del pliegue de la mina de SO a NNE.

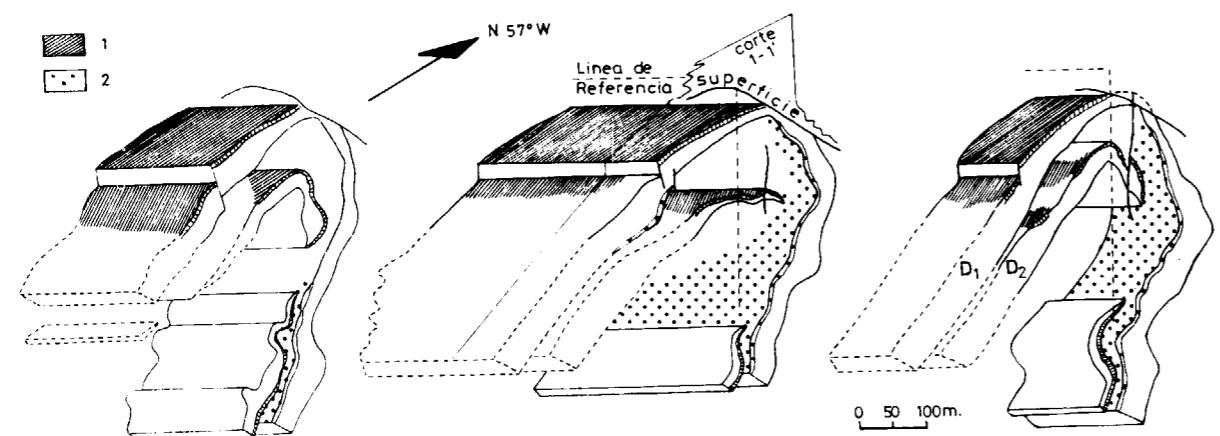


Figura 6.—Perspectiva aproximada de la estructura y distribución de las áreas mineralizadas de techo y muro de los horizontes dolomíticos D_1 y D_2 explotados en la Mina. La línea de referencia señalada es la misma que la de las figuras 5, 8 y 9. 1. Mineralizaciones de techo.—2. Mineralizaciones de muro.

lar por una falla de desgarre transversal al eje del pliegue. Localmente el anticlinal cabalga ligeramente el sinclinal Norte. La heterogeneidad litológica provoca desarmonías tectónicas y estructuras de detalle complejas en los núcleos de los pliegues, que dificultan la explotación minera.

6. SERIE LOCAL DE LA MINA

6.1. Generalidades. Localización de los horizontes portadores de la mineralización

Dentro de la potente serie carbonatada triásica que en el área de la Mina supera los 1.200 m. de espesor, la «formación mineralizada» (formación b) representa un tramo de unos 300 m. de espesor, constituido por calizas y varios horizontes dolomíticos interestratificados (principalmente dos), de morfología, extensión y contenido Pb-F variables. Determinaciones paleontológicas (ver apdo. 4.1) sobre fósiles situados al techo de la «formación mineralizada», a 40 m. por encima del último e importante horizonte dolomítico mineralizado (D_1), dan una edad Ladinense Superior a Carniense Inferior (fig. 2).

Por encima (formación c) y principalmente por debajo (formación a) de la «formación mineralizada» se detecta la presencia de anomalías geoquímicas en Pb y F. En efecto, en la formación inferior (a), de 600 m. de espesor, las dolomías intercaladas entre la serie margo-calcárea, no pre-

sentan mineralizaciones explotables, pero sí una anomalía pronunciada en Pb (62-145 ppm.) y F_2Ca (2,34-6,86 por 100). La formación superior (c), de unos 200 m. de espesor, contiene margas y calizas con lentejones dolomíticos de menor desarrollo.

En el detalle, la «formación mineralizada» presenta calizas grises, cripto-cristalinas con juntas de estratificación arcillosa, de color rojizo o amarillo, ocasionalmente negras, conteniendo cuarzo bipiramidal (a veces con un corazón detritico aún visible), moscovita y un poco de calcita y de óxidos de hierro.

En el seno de la masa calcárea se intercalan los horizontes dolomíticos mineralizados. Dos de entre ellos, situados a la base, están poco mineralizados (Pb esencialmente) y escasamente reconocidos por la mina. Por encima de ellos se extienden los horizontes conocidos por los mineros como D_1 y D_2 , que contienen lo esencial de las explotaciones y de las reservas conocidas. Hacia la parte superior de la «formación mineralizada» la sedimentación dolomítica se reduce a horizontes discontinuos y débiles, ocasionalmente bien mineralizados, especialmente en fluorita.

La «formación mineralizada» contiene rocas básicas interestratificadas con los horizontes dolomíticos. La intercalación más baja conocida se sitúa en el horizonte dolomítico inmediatamente inferior al D_2 , se encuentran también en el D_2 y por último la mejor desarrollada presente hacia el muro del D_1 , ha podido ser estudiada en detalle.



Los análisis dados por P. DIMPAULT DARCY *et al.*, 1967, permiten considerarlas como diabasas. Dos facies las caracterizan:

- Una facies microlítica banal (fuertemente contaminada por los carbonatos adyacentes).
- Una facies vacuolar, que puede ser relacionada con las facies de coladas de rocas básicas actuales (G. A. MACDONALD, 1967).

Las deformaciones mecánicas en las rocas carbonatadas al muro de la roca eruptiva y las vacuolas del techo de ésta conducen a interpretar estas intercalaciones como coladas básicas de edad intra-triásica (F. TONA, 1973).

6.2. Los horizontes dolomíticos mineralizados: morfología, relaciones entre ellos

- Horizonte D_2 . De potencia muy irregular (0 a 70 m.), llega con frecuencia a desaparecer, ya sea por laguna sedimentaria o por erosión. Presenta frecuentemente discordancias locales con las calizas del techo y del muro.
- Horizonte D_1 . Litoestratigráficamente por encima del D_2 y separado de éste por calizas con juntas arcillosas rojas de espesor muy variable. La potencia de este horizonte oscila de 10 a 80 m., pero se mantiene frecuentemente dentro de los 45-50 m. Al techo presenta una intercalación calcárea (1-2 m.) casi continua. Su extensión horizontal es mayor que la del D_2 .

La potencia de los sedimentos calcáreos que separa D_1 de D_2 varía entre algunos metros y 60 m. Localmente se unen. La realización de sendos mapas de isopacas de los dos horizontes dolomíticos ha demostrado que sus variaciones de potencia están controladas por variaciones paleogeográficas persistentes ENE-OSO, sobre las cuales se organizan «umbrales» y «cubetas» más o menos acusados.

6.3. Las facies constituyentes de los horizontes dolomíticos

a) Dolomías grises.

Son el principal componente de los horizontes

dolomíticos D_1 y D_2 ; son a menudo fétidas, masivas o finalmente estratificadas («varvadas»). El tamaño de los cristales oscila alrededor de las 50 μ , conteniendo a menudo materia orgánica, pirita autómorfa diseminada, calcedonia y kaolinita. En algunas se reconocen, más o menos obliteradas por las recristalizaciones diagenéticas, estructuras reliquias de «pellets» y clastos (foto 1) (F. TONA, 1973).

b) La «Franciscana» (J. P. JACQUIN, 1966, 1970).

Se trata de dolomías grises y blancas de estructura más o menos cebrada a seudobrechoide (foto 4). Las partes oscuras están formadas de dolomía gris y las partes blancas de cristales de dolomita (100 a 1.000 μ), caracterizados por un gradiente de crecimiento centrípeto positivo. Los cristales más grandes se encuentran en el centro de las zonas blancas, su talla decrece hacia las zonas grises (F. TONA, 1973). Nos extenderemos más adelante sobre la génesis de estas facies.

c) Los accidentes silíceos.

Son frecuentes en todos los horizontes dolomíticos de la «formación de la mina». El horizonte D_1 presenta al techo un nivel silíceo relativamente continuo. Estos accidentes se presentan bajo la forma de lechos y lentejones de tallas diversas, interestratificados en un banco dolomítico y formados por sílice criptocristalina, incluyendo numerosos romboedros de dolomita (foto 3).

d) La dolomía marrón.

Se forma por alteración de la dolomía gris (limonitización de la pirita, pérdida de Mg.) acompañada frecuentemente de enriquecimiento residual en hierro, plomo y zinc. Se presenta localmente al techo del D_1 y alcanza su mayor desarrollo al techo del D_2 , al que puede llegar a afectar completamente (E de la mina, en particular).

e) Las facies acompañantes de los fenómenos kársticos.

Las figuras de erosión y de alteración kársticas (ya presentadas por C. B. PITRE, 1969) son abundantes al techo del D_2 y sobre todo en la zona de acuñamiento al O de la mina (fig. 8). Son discontinuas y no afectan al horizonte más que sobre potencias del orden del metro.

Las zonas erosionadas muestran rellenos residuales o procedentes de la demolición de las dolomías afectadas. El relleno, a veces netamente discordante sobre las dolomías «karstificadas», encierra:

- elementos secundarios o neoformados: calcita trícita, fragmentos de dolomía marrón, granos de cuarzo, moscovita, goetita y kaolinita;
- elementos secundarios o neformados: calcita automorfa.

El relleno presenta a veces una textura finamente varvada (secuencias rítmicas positivas) definidas por el tamaño de grano y coloración de los lechos arcillosos. Huellas de carga y microfracturas sinsedimentarias son visibles a veces (fig. 7).

La localización estratigráfica bien definida de estos fenómenos y la ausencia de alteración y erosión del mismo tipo en los niveles inmediatamente superiores, permiten atribuir a una edad intratriásica estos fenómenos «kársticos».

7. LAS MINERALIZACIONES

7.1. Repartición vertical de las mineralizaciones estratiformes

Las principales mineralizaciones de la Mina se sitúan en los horizontes dolomíticos D_1 y D_2 (figuras 2, 3 y 5).

- Horizonte dolomítico D_1 : Las mineralizaciones ($F_2Ca-PbS$) se sitúan al techo y muro y ocasionalmente en la parte media dentro del seno del horizonte.
- Horizonte D_2 : La mineralización (especialmente PbS) se sitúa casi constantemente hacia el techo del horizonte.

7.2. Naturaleza de las mineralizaciones

7.2.1. Galena

La galena se presenta bajo diferentes aspectos:

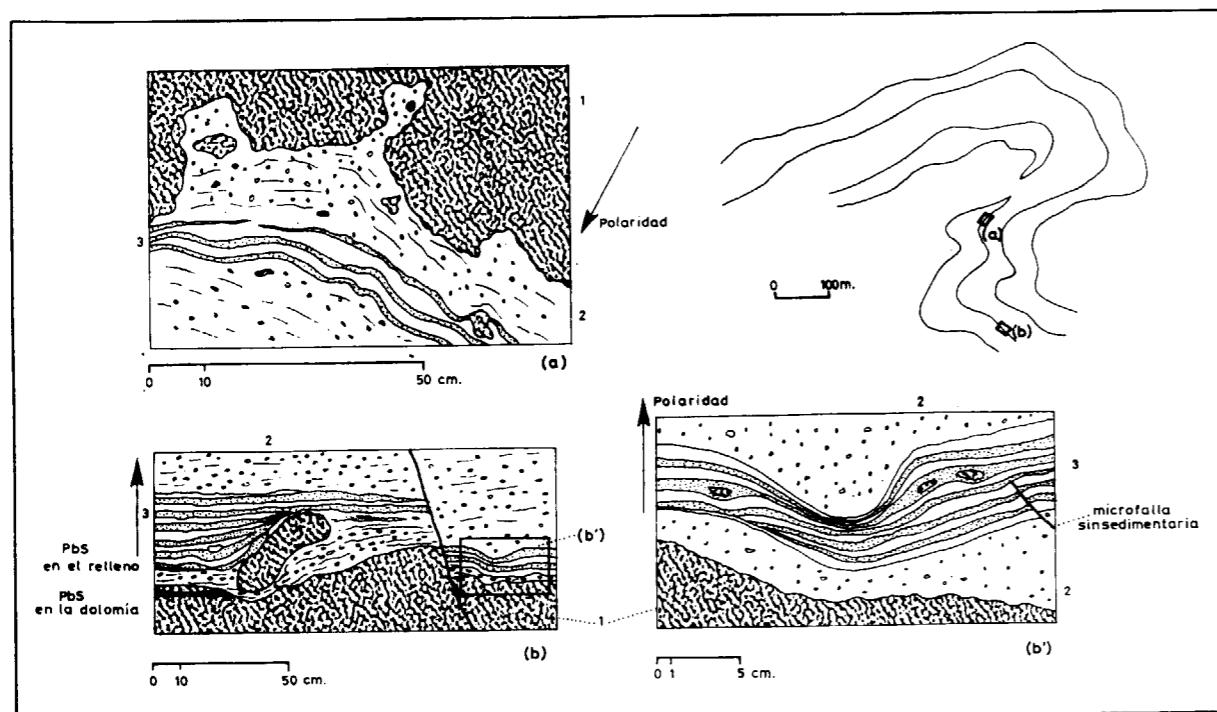


Figura 7.—Rellenos detriticos mineralizados de cavidades o superficies de erosión intratriásicas al techo del horizonte D_2 . La edad pre-alpina del depósito queda demostrada por la polaridad invertida (huellas de carga) del mismo en el punto (a) del flanco del anticlinal.

1. Dolomía alterada marrón.—2. Rellenos detriticos gruesos con clastos de dolomía alterada. Arcillas ferruginosas.—3. Secuencia detritica rítmica: arcillas gruesas con pequeños clastos de dolomía y arcillas ferruginosas. Punto (a): Nivel 317, O. Punto (b): Labores de Puente de Hierro.

— Diseminada puntualmente («pintos») en la dolomía sobre una potencia de 3 m. al techo del D_2 . Los cristales de galena (1 a 3 mm. de tamaño) están rodeados de cristales de dolomita limpida que decrecen de tamaño y se cargan de impurezas a medida que se alejan de los cristales de galena.

- Lechos de galena ocupando el centro de las bandas blancas de la «Franciscana».
- Bolsadas de galena en las zonas blancas de las brechas de recristalización (pseudobrechas).
- Intimamente asociada a los niveles de fluorita.
- En «pintos» y bolsadas en la dolomía marrón.
- Y como ya mencionamos anteriormente, aparece localmente en fragmentos detriticos dentro del relleno de superficies de erosión intrasedimentarias (fig. 7).

7.2.2. Fluorita

Los lentejones estratiformes de fluorita o fluorita y galena, aparecen especialmente intercalados en el horizonte D_1 . Presentan espesores variables, oscilando entre algunas decenas de centímetros a unos 10 m. Su extensión es muy variable.

La fluorita aparece bajo diferentes aspectos:

- Fluorita negra, finamente cristalizada (50 μ), rica en materia orgánica, con numerosos cristales subautomorfos de dolomita. Se reconoce a veces una estructura reliquia de «pellets» (F. TONA, 1973).
- Fluorita conocida como «piedra india» (J. P. JACQUIN, 1966), constituida por fluorita blanca y fluorita negra, presentando en corte vertical un aspecto cebrado característico (fotos 5 y 6). Las partes blancas encierran un contenido en metales (79 ppm. de Pb, 118 ppm. de Zn) netamente inferior al de las partes negras (455 ppm. de Pb, 525 ppm. de Zn).
- Fluorita blanca ampliamente cristalizada, presentando reliquias de fluorita negra (facies pseudo-brechoide de aspecto comparable a las facies pseudo-brechoide dolomítica).

Al igual que en las dolomías, la fluorita presenta a menudo accidentes silíceos conteniendo cristales de dolomita y fluorita. La fluorita negra es a menudo rica en inclusiones de sílice criptocristalina y en dolomita diseminada. Los accidentes silíceos se continúan de la fluorita a la dolomía en las zonas de acuñamiento de aquélla.

La fluorita está generalmente acompañada de una mayor o menor proporción de galena que se presenta en lechos o grandes cristales en las bandas de fluorita blanca de la «piedra india» o en bolsadas en las facies pseudo-brechoides.

Deformaciones sinsedimentarias y transformaciones y recristalizaciones diagenéticas afectan a los lentejones de fluorita, como veremos a continuación, en particular, a propósito de los lentejones situados al muro del D_1 .

7.2.3. Elementos minoritarios

Entre los elementos minoritarios se encuentran Sr, Fe, Mn, Cu, Zr, Gd, Zn (R. ARANA, 1973) y Ag. Se ha detectado también la presencia de Hg en la fluorita (com. oral de P. KAGER, 1977).

7.2.4. Inclusiones fluidas

Se ha reconocido en la fluorita la presencia de soluciones salinas (halita) en inclusiones fluidas dentro de la fluorita (J. C. TOURAY y F. TONA, 1974).

7.3. Edad absoluta

La edad de las galenas del horizonte dolomítico de la Mina, determinada por isótopos de plomo, da en primera aproximación una edad absoluta de 200 a 240 m. a. (com. oral de A. ARRIBAS, según determinación efectuada por el Ing. LEGIERSKI, PRAGA).

8. CONTROLES DE LAS MINERALIZACIONES

8.1. Los datos geométricos

La reconstitución morfológica de los depósitos mineralizados y de los horizontes dolomíticos que los contienen se ha llevado a cabo mediante la elaboración de mapas de isopacas para los dos

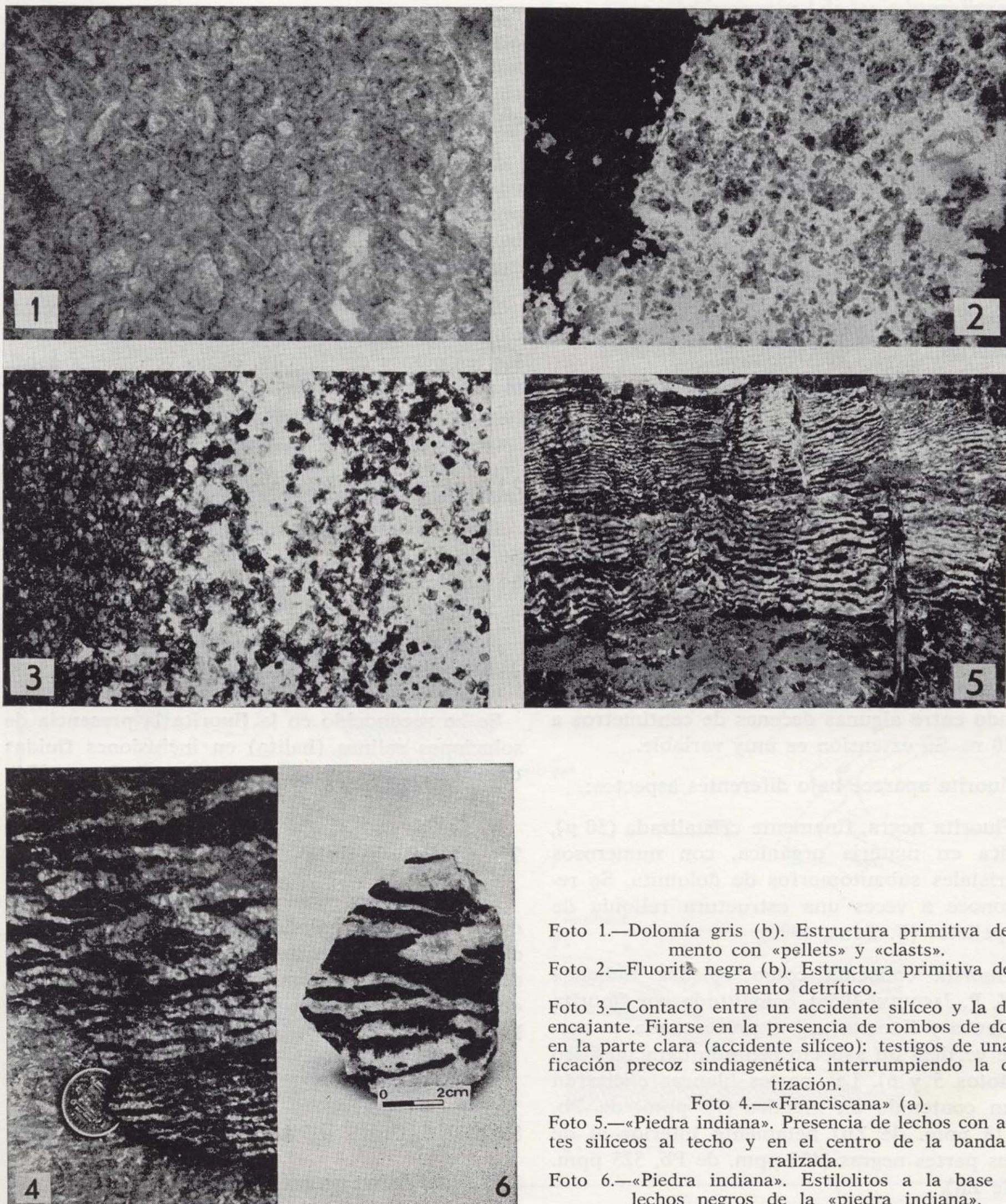


Foto 1.—Dolomía gris (b). Estructura primitiva del sedimento con «pellets» y «clasts».

Foto 2.—Fluorita negra (b). Estructura primitiva del sedimento detrítico.

Foto 3.—Contacto entre un accidente silíceo y la dolomía encajante. Fijarse en la presencia de rombos de dolomita en la parte clara (accidente silíceo): testigos de una silicificación precoz sindiagenética interrumpiendo la dolomitización.

Foto 4.—«Franciscana» (a).

Foto 5.—«Piedra india». Presencia de lechos con accidentes silíceos al techo y en el centro de la banda mineralizada.

Foto 6.—«Piedra india». Estilolitos a la base de los lechos negros de la «piedra india».

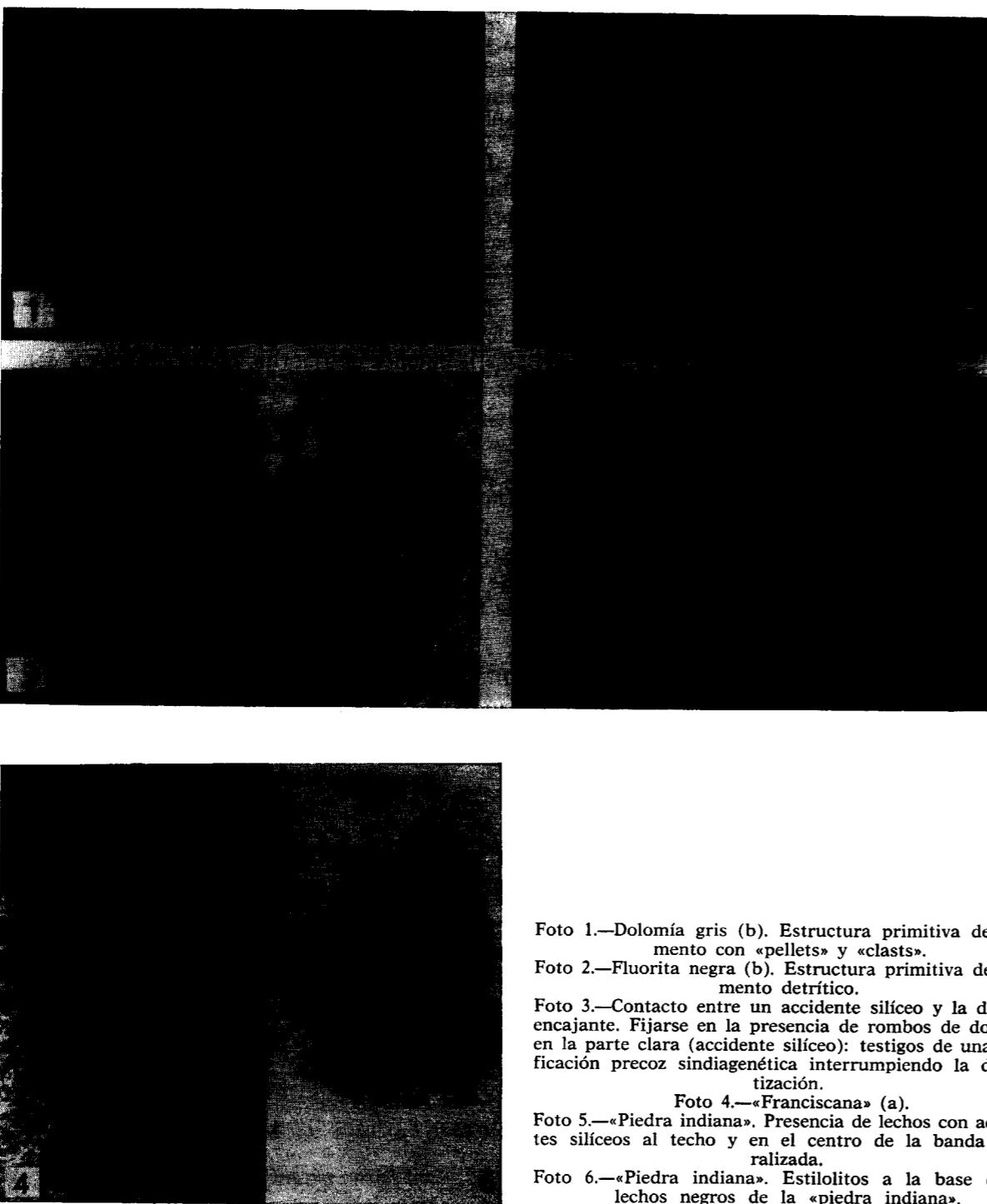


Foto 1.—Dolomía gris (b). Estructura primitiva del sedimento con «pellets» y «clasts». Foto 2.—Fluorita negra (b). Estructura primitiva del sedimento detritico. Foto 3.—Contacto entre un accidente silíceo y la dolomía encajante. Fijarse en la presencia de rombos de dolomita en la parte clara (accidente silíceo): testigos de una silicificación precoz sindiagenética interrumpiendo la dolomitización. Foto 4.—«Franciscana» (a). Foto 5.—«Piedra india». Presencia de lechos con accidentes silíceos al techo y en el centro de la banda mineralizada. Foto 6.—«Piedra india». Estilolitos a la base de los lechos negros de la «piedra india».

horizontes D_1 y D_2 . Para ello se ha procedido reconstruyendo la posición y geometría original sedimentaria de los horizontes antes de la tectónica, desplegando las estructuras plegadas y eliminando las fracturas. Ello ha sido factible sobre el levantamiento geológico de las galerías, pozos y labores de la Mina (cerca de 80-100 km. de longitud acumulada).

Los rasgos paleomorfológicos han quedado así traducidos por las variaciones de potencia de los horizontes y la estructuración espacial de las mismas.

8.1.1. Mapa de isopacas del horizonte D_1 (fig. 8)

— El rasgo morfológico primario principal (ENE-ONO) es oblicuo al eje del pliegue anticinal (materializado por la línea de referencia). Efectos estructurales secundarios

(NE-SO) se alinean paralelamente a dicho eje. Sin embargo, la alineación dominante (NE-SO) que atraviesa toda la zona y cuya dirección cambia hacia el SO, es probablemente primaria. Las estructuras paleomorfológicas han influenciado la configuración del pliegue.

— Respecto a las mineralizaciones, hemos visto que existen dos niveles principales (muro y techo) dentro del horizonte D_1 :

— El nivel que constituye las mineralizaciones de muro sigue la morfología descrita preferentemente: Esta mineralización estratiforme lenticular se sitúa dentro de un intervalo de espesor constante (45-65 metros) del horizonte dolomítico.

— La mineralización de techo se modela también sobre la morfología en un intervalo de espesor que oscila de 15 a 25 m.

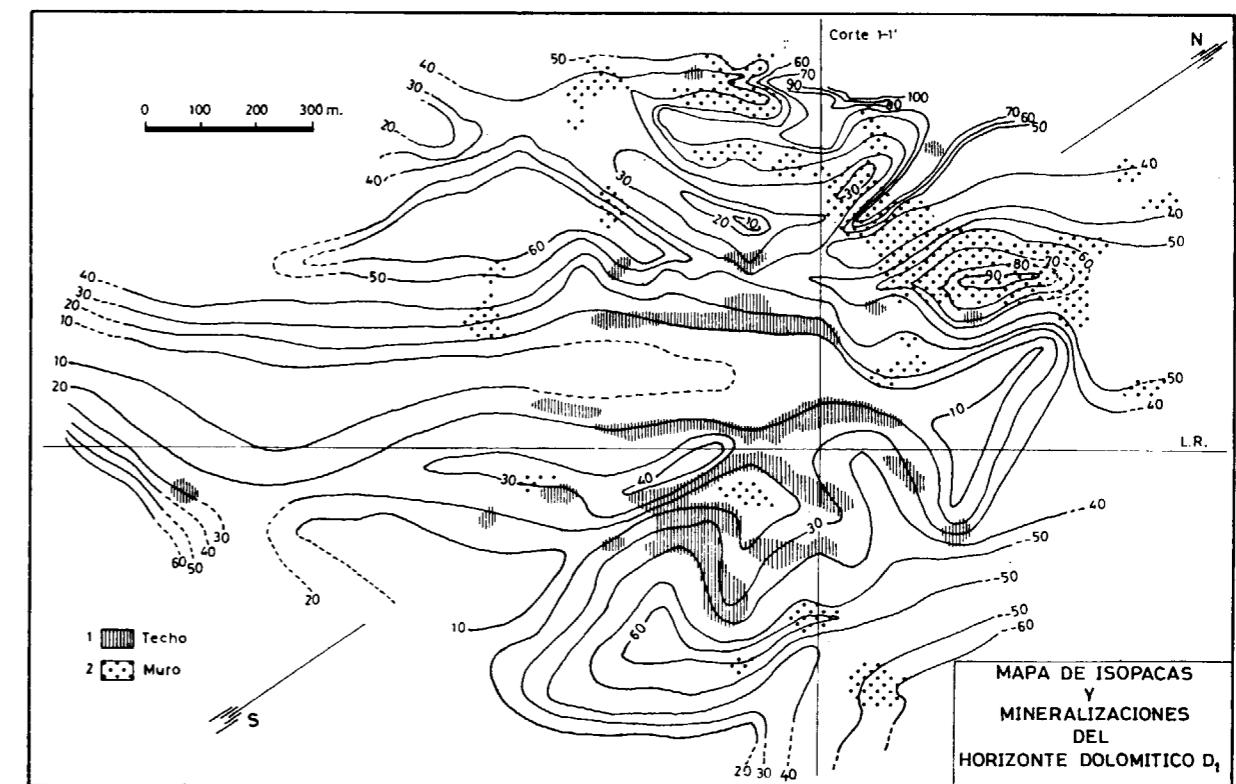


Figura 8.—Mapa de isopacas y mineralizaciones del horizonte dolomítico D_1 . El anticinal ha sido desplegado y las principales fracturas eliminadas tanto sobre el D_1 como sobre el D_2 , a fin de reconstituir la morfología de dichos horizontes antes de la tectónica. Las masas mineralizadas representadas en ambos horizontes corresponden a todas las conocidas hasta octubre de 1977. El eje del anticinal es paralelo a la línea de referencia (ver figura 5).

1. Mineralización $PbS-F_2Ca$ de techo. Facies cebrada («piedra india») frecuente.—2. Mineralización $F_2Ca-PbS$ de muro. Facies fluorada brechoide frecuente.

Jalonando con una regularidad tal la paleomorfología, las mineralizaciones que se intercalan en el horizonte D_1 no pueden ser más que singenéticas, contemporáneas de la formación de las dolomías.

8.1.2. Mapa de isopacas del horizonte D_2 (fig. 9)

Las mismas grandes direcciones paleomorfológicas se encuentran en el horizonte D_2 . La principal mineralización (PbS de techo) se modela sobre los grandes rasgos morfológicos.

Un carácter importante es la persistencia de los rasgos morfológicos de un horizonte a otro implicando una persistencia de las estructuras paleogeográficas.

Es neta la presencia de la orientación ENE-OSO en el D_1 (definida por el cambio de potencia y el paso de la mineralización de muro a techo) y la misma orientación en el D_2 (definida por el acuñamiento ¿o erosión? local del horizonte).

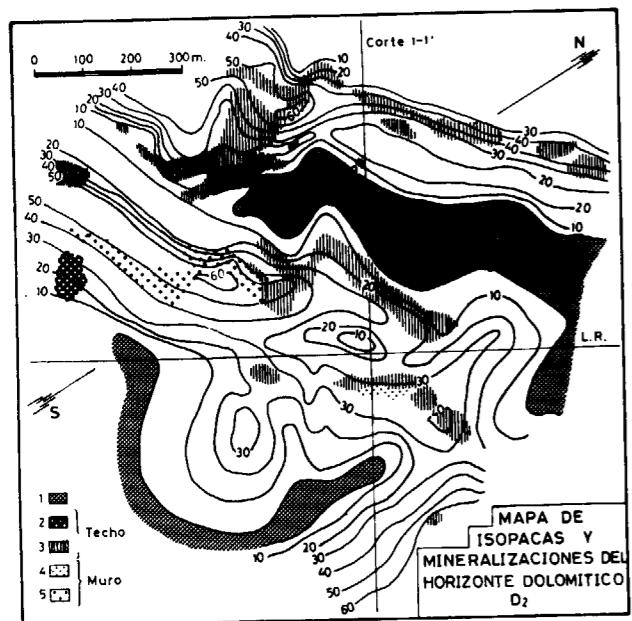


Figura 9.—Mapa de isopacas y mineralización del horizonte dolomítico D_2 .

1. Ausencia de D_2 .—2. Zona «kárstica» de techo: PbS detritico.—3. Mineralizaciones PbS de techo.—4. Mineralización F_2Ca de muro.—5. Mineralización PbS de muro. Notese la persistencia de la dirección paleogeográfica NE-SO (cuadrante norte y este) en el D_1 y en el D_2 .

8.2. Los datos geoquímicos

La geoquímica aporta una confirmación rigurosa a las observaciones geométricas.

El paso geoquímico de las zonas mineralizadas a las zonas no mineralizadas se realiza progresivamente. Esta constatación procede del estudio de 6.329 análisis (F_2Ca , PbS y CO_3Ca) repartidos sobre 3.497 metros de sondeos.

Dos ejemplos representativos han sido escogidos para ilustrar la constatación precedente:

Ejemplo 1 (fig. 10).

La curva de los valores de F_2Ca en la zona de muro del horizonte D_1 muestra una progresión lenta de un sector de leyes débiles a un sector de expresión de la mineralización. La ley es mínima sobre el «umbral» central y crece sobre los flancos; hacia el SE, no habrá mineralización, aunque haya habido aumento de la ley, ya que no es alcanzado el espesor óptimo.

Ejemplo 2 (fig. 11).

Procede del sector SE de la mina y se basa sobre las variaciones químicas del horizonte dolomítico D_1 en función de su espesor. Al O, el acuñamiento del horizonte es acompañado de un fuerte descenso del porcentaje en fluorita; por el contrario, hacia el E, donde el horizonte se engrosa, las capas en fluorita aumentan sensiblemente en los tramos de techo y de muro.

Los dos ejemplos ilustran la estrecha relación existente entre la morfología y el químismo del horizonte dolomítico.

Los datos geoquímicos y geométricos a diversas escalas nos conducen a entrever a partir de aquí el origen sin-diagenético de la mineralización (PbS- F_2Ca) en el seno de los horizontes dolomíticos.

9. ENSAYO DE RECONSTITUCIÓN GENÉTICA

Utilizaremos para esta reconstitución el crono-diagrama (fig. 12) que servirá de esquema-guía para la exposición de los hechos principales observados en los horizontes dolomíticos D_1 y D_2 .

Tiempo A

La sedimentación calcárea da paso en esta época

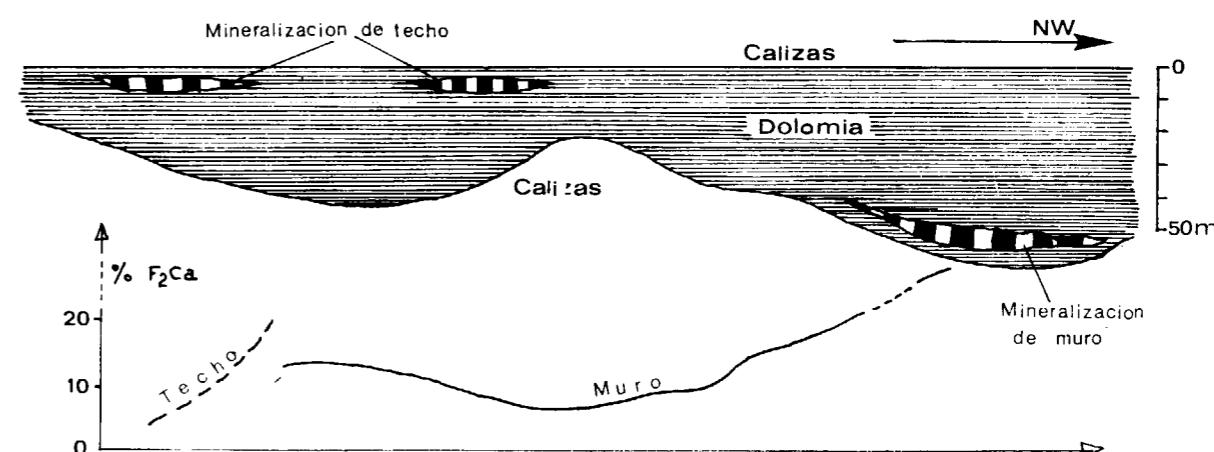


Figura 10.—Relación entre la variación de potencia del horizonte D_1 , repartición de las mineralizaciones y contenido en fluorita.

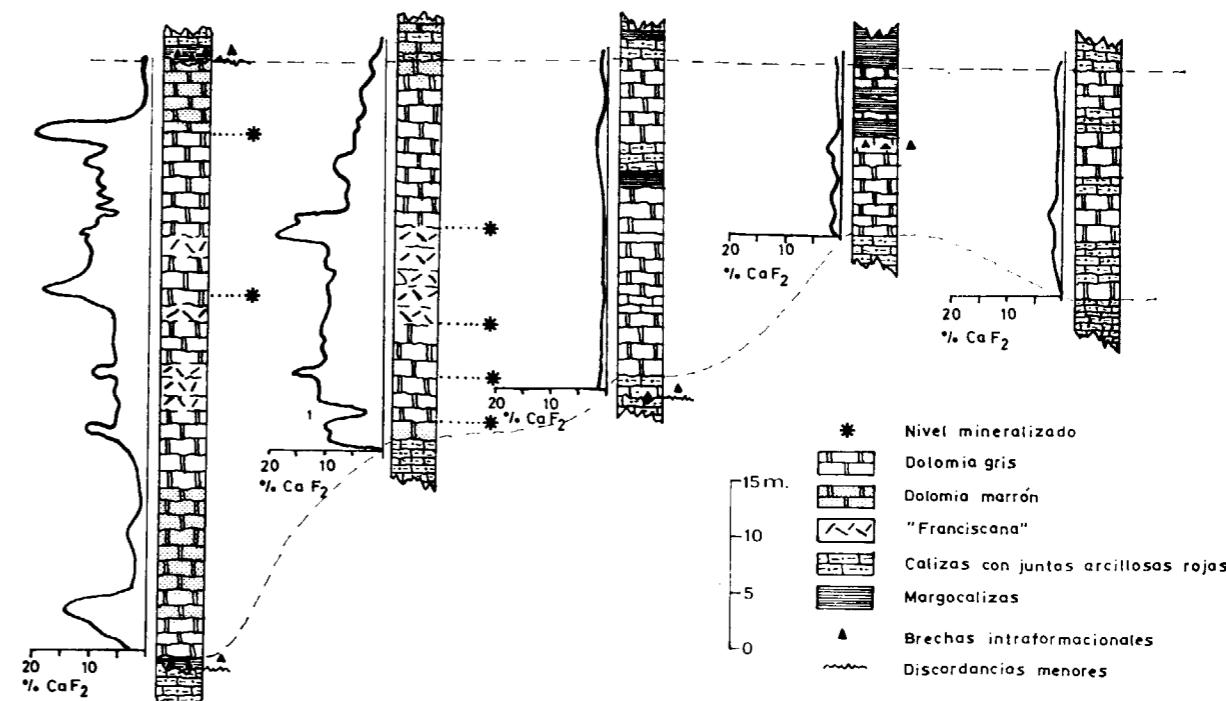


Figura 11.—Relación entre el contenido en fluorita y variaciones de espesor y facies del horizonte dolomítico D_1 . Sondeos del sector SE de la Mina.

a una sedimentación dolomítica cuya génesis intentamos explicar en los párrafos siguientes:

El tiempo A, corresponde al estado de evolución A1, caracterizado por la etapa sindiagenética (1). En todos los dominios (I, II, III y IV) el sedimento original (a), constituyente del embrión

del horizonte dolomítico se revela formado por «pellets» y clastos (H. J. BISSEL y G. V. CHILINGAR, 1967; F. W. BEALES, 1965). La significación paleogeográfica de esta facies es la de ambiente cotidal (L. F. LAPORTE, 1967; F. W. BEALES, 1965). Ciertos autores (G. V. WOOD y M. J. WOLFE, 1969; L. V. IL-

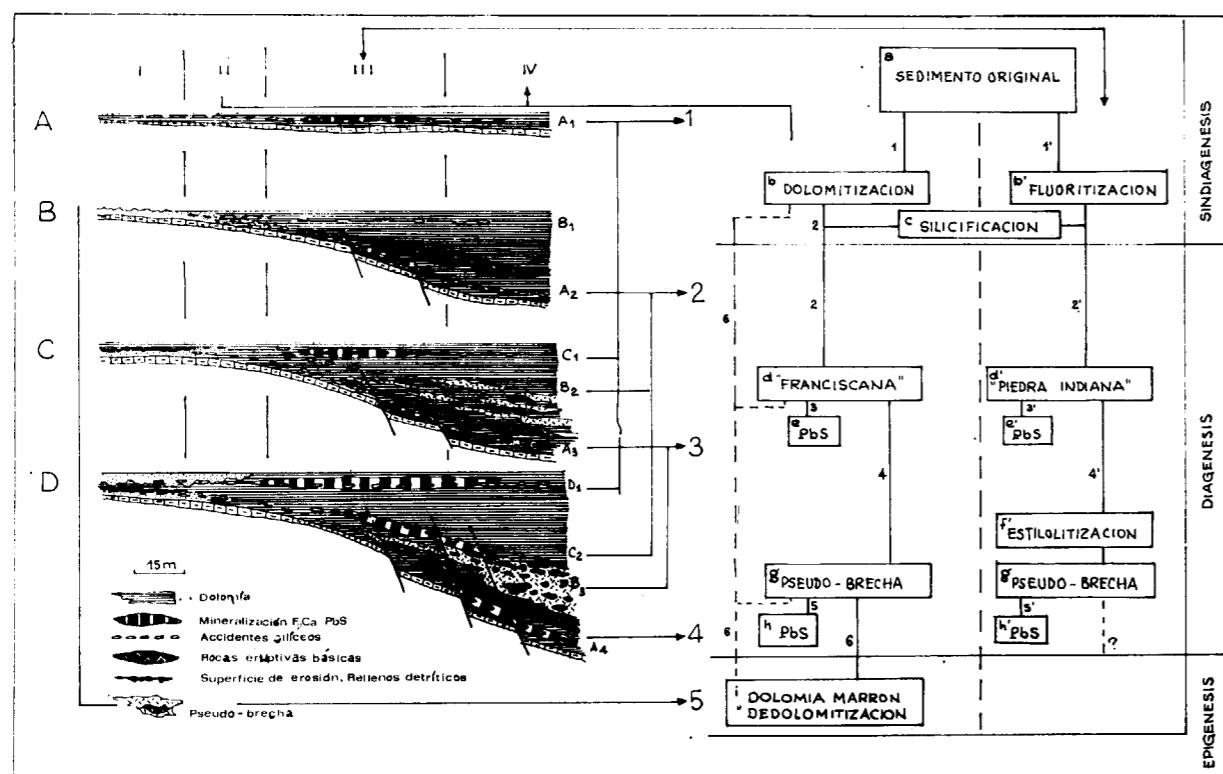


Figura 12.—Cronodiagrama. Ensayo de reconstitución genética

- A, B, C y D: Tiempos absolutos.
 - Índices 1, 2, 3 y 4: Estadios de evolución diagenética.
 - 1, 2, 3 y 4 (números grandes): Estapas de la diagénesis.
 - 1: Bajo la influencia del medio de sedimentación.
 - 2, 3 y 4: Sin influencia del medio de sedimentación.
 - 5: Bajo la influencia del medio de erosión (epigénesis).
 - I, II, III y IV: Pequeñas zonas paleogeográficas.
 - I: Medio oxidante; con emersiones temporales.
 - II: Medio cotidal de tendencia oxidante ($MgCa(CO_3)_2$).
 - III: Medio cotidal favorable a la formación de F_2Ca (pH alcalino, ligeramente reductor).
 - IV: Medio «costero abierto», reductor y alcalino.

LIN *et al.*, 1965), consideran la facies de «pellets» un indicador de barrera de «lagoon». Esta facies netamente detrítica, reposa sobre las calizas gruesas con juntas arcillosas rojas donde se han encontrado indicios de emersiones (superficies rústicas y de erosión) y de zonas cotidales («ripple-marks» asociados a abundantes restos de gasas).

Elementos

- (1) Valores sobre testigos de sondeos.
 - (2) Valores en mina (algo de contaminación probable).
 - (3) Valores medios para las dolomías, según TUREKIAN y WEDEPOHL (1961).

<i>Pb (ppm.)</i>	<i>Zn (ppm.)</i>	<i>CaF₂</i>
40	—	8%
100		
200	250	10%
1.000	800	
	2.100	
9	20	330 ppm.

» terópodos y lamelibranquios). Puede imaginarse como medio de sedimentación un paisaje cotidal.

El itinerario 1, perteneciente al estadio de evolución A1, conduce a la dolomía gris (b) que enmascara la estructura primaria de «pellets».

El fondo geoquímico de la dolomía es elevado:

Las diferentes familias de valores (1, 2) demuestran la importancia del stock-metal de la dolomía portadora, en relación a una dolomía normal (3).

La fluorita aparece finamente asociada al cemento intersticial de los cristales de dolomita.

La dolomitización (b) de los sedimentos de «pellets» es un fenómeno sindiagenético precoz (G. M. FRIEDMAN y J. E. SANDERS, 1967; A. MICHARD, 1969; R. G. C. BATHURST, 1971). En ciertos casos cada «pellet» (u otro clasto) forma el corazón de un cristal subautomorfo de dolomita, lo que prueba que la dolomitización interviene antes de toda compactación. Es el estado de la sindiagénesis (R. W. FAIRBRIDGE, 1967), directamente dependiente del medio primitivo. La dolomitización prosigue, más completamente, con recristalizaciones diagenéticas más tardías que terminan por obliterar la estructura original.

El itinerario 1, perteneciente también al estado de evolución A1, incluye el fenómeno de *fluoritización* (b'), sobre el que hay que aclarar que no se trata de la introducción de soluciones «fluoritizantes» tardías, sino de un fenómeno sindiagenético asimilable a la dolomitización (b).

La fluorita engloba numerosos cristales subautomorfos zonados de dolomita que traducen una dolomitización ligeramente anterior a la fluoritación, si bien los dos fenómenos pueden ser simultáneos. H. LEROY (1967) estima que el Mg y el F pueden combinarse para dar un complejo MgF, que bajo presión parcial de CO₂ puede dar lugar al mismo tiempo a la fluorita y a la dolomita en un dominio alcalino (pH=9), idéntico al de ciertos ambientes costeros conocidos actualmente.

La íntima asociación dolomita-fluorita nos conduce a concluir que el medio de depósito es cotidial (s. l.) (1), de tendencia alcalina, estando más restringido el área de formación de la fluorita (dominio III) dentro de este medio.

El paso geoquímico y mineralógico entre los dominios III y II, III y IV es progresivo.

La silificación (c) es un fenómeno sindiagenético

(1) Medio cotidal de áreas insulares, ya que por su posición paleogeográfica durante el Tránsito, la serie de Lújar se situaría alejada del continente, cualquiera que sea la hipótesis tectónica admitida sobre el emplazamiento de los manto.

que se produce en todos los dominios (itinarios 2 y 2'). Se trata de accidentes silíceos en los que las inclusiones de dolomita automorfa confirman una dolomitización precoz que se efectúa cerca de la superficie de interfases agua sedimento y que es interrumpida por las silicificaciones (R. V. DIETRICH *et al.*, 1963) (foto 3).

Tiempo B

Dos estadios de evolución están presentes: A2 y B1. El estadio B1 se asemeja completamente al estadio A1. Un fenómeno eruptivo básico marca el tiempo B.

El quimismo de estas rocas, próximo al de un basalto, deja entrever, como ya mencionamos anteriormente, que se trata de rocas volcánicas básicas depositadas sobre una cuenca poco profunda.

Esto confirma la hipótesis sobre el ambiente de sedimentación y permite insistir sobre el hecho de que un episodio-tiempo «fosiliza» la mineralización de muro y elimina las dudas subsistentes sobre un carácter singenético.

El estadio de evolución A2, comprende dos itinerarios, 2 y 2'. Haremos notar que con ellos se entra en la diagénesis independiente del medio primitivo.

Entre la dolomía gris (b) y la «franciscana» (a) existen todas las facies intermedias. La génesis de la «franciscana» ha sido objeto de numerosos estudios (J. P. JACQUIN, 1966, 1970; H. LEROY, 1967; E. TONA, 1973).

Las dolomías grises están a menudo finamente estratificadas; esta estratificación constituye una discontinuidad, sede privilegiada de fenómenos de presión-solución (P. TRURNIT, 1968), que será la zona donde preferentemente tendrán lugar las recristalizaciones.

El examen de las bandas blancas de la «franciscana» revela la existencia de un gradiente de cristalización centrípeta simétrica. Según las apariencias, el desarrollo de las recristalizaciones debería efectuarse a partir de las bandas negras hacia el centro de las bandas blancas; ahora bien, parece, según D. P. GRIGOREN (1965), que las recristalizaciones sean centrífugas, lo cual resulta lógico si se admite que los cristales más grandes son los más antiguos.

En estos fenómenos de recristalización, entran en juego sobre los cristales los efectos de la energía específica de superficie que motiva el crecimiento de ciertos individuos a expensas de sus vecinos. El contenido de impurezas de un cristal baja con su crecimiento; esta regla es observada en la «franciscana», en la que análisis efectuados sobre una muestra han permitido constatar que para las bandas negras, el contenido en Pb era de 254 ppm. y en Zn de 280 ppm., mientras que en la banda blanca adyacente era de 15 y 174 ppm., respectivamente.

Esta observación nos permite considerar el itinerario 3 (perteneciente a un estadio más avanzado de la diagénesis) que da lugar a la expresión (concentración) del plomo contenido (diseminado) en la dolomía gris, en el curso de estas recristalizaciones.

El itinerario 2', que conduce hacia la «piedra india» (d'), es idéntico al itinerario 2, variando solamente la naturaleza química principal del sedimento. El fluor «reemplaza pro-parte» al magnesio.

En el tiempo B, continúa la transformación de los sedimentos del estadio A2, se producen «slumpings» en la «piedra india» (d) al mismo tiempo que se individualizan ciertos accidentes en la zona de flexión.

Además, en el dominio I, la formación de una superficie de erosión o un «karst» de subsuperficie muy poco evolucionado (fig. 7), se origina a favor de una emersión temporal de los sedimentos dolomíticos. El itinerario 6 conduce a la desdolomitización (i) con formación de dolomía marrón.

La existencia de este «karst» (fenómeno epigenético intratriásico) confirma la dolomitización precoz y la mineralización diagenética, puesto que las rocas originadas por tales transformaciones están afectadas por estas erosiones y alteraciones.

Tiempo C

Tres estadios de evolución están presentes: C1, B2, A3. El estadio A3 (diagénesis media) está constituido por dos tipos de itinerarios: 3-3' y 4-4'.

El itinerario 3 conduce de la etapa (d) a la etapa (e). Las observaciones y la interpretación hechas a propósito de la «franciscana» permanecen válidas en regla general: las pequeñas zonas

de recristalización donde los cristales se «descargan» de su stock-metal son la sede de expresión de la galena («pintos» diseminados en la dolomía gris); en lo que concierne a los lechos de galena en el centro de las bandas blancas de la «franciscana», el proceso es el mismo que el precedente, sólo que en lugar de efectuarse puntualmente afecta a un plano de discontinuidad (estratificación).

El itinerario 4 conduce hacia las facies pseudo-brecha (g); no es más que un desarrollo más avanzado, con recristalizaciones más amplias de las facies «franciscana».

Los itinerarios 3' y 4' son físicamente idénticos a los itinerarios 3 y 4, cambiando solamente la naturaleza química. Un hecho interviene, sin embargo, en el tránsito de (d) hacia (g'): la estilolitización (f'). Se trata de estilolitos de tipo suturado (geometría propia de los estilolitos) y de tipo 1 (estilolitos en relación con la estratificación) (W. C. PARK y E. SHOT, 1968).

Hemos podido distinguir dos generaciones de estilolitos:

Una primera generación se localiza en las bandas negras de la «piedra india» (d); la segunda generación, más importante que la precedente, afecta generalmente la base de las bandas negras. La localización de los estilolitos subraya netamente las diferencias de compatibilidad a la presión de las dos bandas.

La interpretación según la cual las soluciones salidas de la formación de los estilolitos darían lugar a las bandas claras de la «piedra india», no es posible puesto que su formación es debida a la presencia previa de las bandas claras y oscuras (foto 6).

Durante el tiempo C, en el dominio I, el «karst» es fosilizado por los efectos de una nueva transgresión.

Tiempo D

Cuatro estadios de evolución coexisten: A4, B3, C2 y D1. Los tres últimos son idénticos a los estadios de evolución de índice 3, 2 y 1.

El estadio A4 (diagénesis tardía) muestra una evolución más avanzada, definida por los itinerarios 5 y 5', comparables a los itinerarios 3 y 3'.

Durante las etapas (g) y (g'), la pseudo-brechificación puede ser acompañada por una brechificación tectónica debida a las fracturas de la zona de flexión. Señalaremos que este tipo de accidente puede servir de «trampa» a una mineralización (PbS-F₂Ca) secundaria, epigenética «familiar» con relación a la mineralización singenética.

Los tiempos siguientes, no representados, corresponderán al cese de la sedimentación dolomítica y su reemplazamiento por una sedimentación calcárea similar a la del muro del horizonte.

Recapitulación

El cronodiagrama precedente, quizás un poco simple y rígido, intenta dar una idea sinóptica de la evolución de los horizontes dolomíticos de la zona y presenta la ventaja de explicar por lo menos tres fenómenos:

- La existencia de varias mineralizaciones paralelas y especialmente desfasadas con relación a la paleomorfología.
- La persistencia de un mismo medio de sedimentación.
- La formación de ciertos accidentes en las zonas de ruptura de pendiente.

Es preciso considerar esta sedimentación como la de un medio cotidal, lagunar, a veces emergido, donde los caprichos de la morfología de detalle pueden ser complicados.

CONCLUSIONES

Las mineralizaciones estudiadas forman parte de la provincia metalógica Pb-Zn-F del Trías Bético comparable en principio, en cuanto a edad, a los depósitos Pb-Zn-F del Trías Medio de los Alpes orientales.

Las mineralizaciones Pb-F de Lújar se localizan dentro de una serie carbonatada triásica siendo las principales manifestaciones de edad Ladinense. Estas mineralizaciones se sitúan en un conjunto de facies caracterizado por relaciones geométricas siempre complejas: las discordancias menores abundan, pero no puede situarse en ninguna parte una discordancia cartografiable neta a la escala de

la sierra; no se trata en nuestra opinión de mineralizaciones «sous inconformité» (W. H. CALLAHAN, 1964) sino más bien de mineralizaciones ligadas a una suma de discordancias menores reflejando una paleotopografía compleja y dinámica. Esta paleotopografía presentaría altos fondos, momentánea y localmente emergidos (islotes) alrededor y sobre los cuales se han distribuido y han evolucionado los diferentes tipos de mineralizaciones observados.

La distribución de las mineralizaciones, incluso a nivel geoquímico, dentro de un tramo litoestratigráfico preciso, y en estrecha relación con las facies dolomíticas y la morfología de las mismas conduce a considerar la mineralización como sedimentaria sin-diagenética. El papel de la actividad volcánica básica no está aclarado con los conocimientos actuales.

BIBLIOGRAFIA

- ALDAYA, F.: *Sobre la posición de Sierra de Lújar (provincia de Granada)*. Acta Geol. Hisp., tomo III, núm. 4, pp. 87-92 (1968).
- *Los mantos alpujarrides al sur de Sierra Nevada*. Tesis doctoral, Univ. de Granada, 527 pp. (1969).
- *Sucesión de las etapas tectónicas en el dominio alpujarride (zona Bética, provincia de Granada)*. Cuadernos de Geol., Univ. de Granada, vol. I, fasc. 3, pp. 159-182 (1970).
- ARANA, R.: *Investigaciones mineralógicas en Sierra Nevada (Cordilleras Béticas, España)*. Tesis doctoral de la Universidad de Granada, 2 tomos, 546 pp. (1973).
- BANTING, A. H.: *Sur le pli — nappe de Lújar — Gádor (Cordillères Bétiques)*. Proc. Kon. Ned. Akad. U. Wetensch., vol. XXXVI, núm. 1, pp. 98-106 (1933).
- BATHURST, R. G. C.: *Carbonates sediments and their diagenesis*. Dev. in Sedim., núm. 12, Elsevier Pub., 620 pp. (1971).
- BEALES, F. W.: *Diagenesis in pelleted limestones*. Soc. Econ. Paleont. and Miner Special Pub., núm. 13 (1965).
- BEMMELAN, R. W. VAN: *Bijdrage tot de geologie der Betische Ketens in de provincie Granada*. These Delft., 176 pp. (1927).
- BISSEL, H. J.; CHILINGAR, G. V.: *Classification of sedimentary carbonate rocks*. in Bissel et Chilingar (1967).
- *Carbonates Rocks*. Dev. in Sedim., núms. 9A et 9B. Elsevier Pub. (1967).
- BOOGARD, M. VAN DEN; SIMON, O. J.: *Pseudofurnishius*

- (*Conodonts*) in the Triassic of the Betic Cordilleras, SE. Spain. *Scripta Geol.*, 16 (1973).
- BOUCARUT, M.; DARS, R.; TURCO, G.: *La fluorine de l'Esterel (Var. France) est liée au volcanisme basaltique de ce massif*. C. R. Acad. Sci. Paris., tomo 272, pp. 1044-1045 (1971).
- BOULIN, J.; DIMPAULT DARCY, P.; LEROY, H.: *Observations géologiques en Sierra de Lújar (Cordillères Bétiques internes, Espagne)*. B.S.G.F., 7 serie, tomo VIII, pp. 585-591 (1966).
- BOULIN, J.: *Etudes géologiques dans les zones internes des Cordillères bétiques de Malaga à Motril (Espagne méridionale)*. Thèse. Paris, 2 tomos, 487 pp. (1968).
- BRUSCA, C.: *Il giacimento di Salafossa nel quadro della geologia del Trias delle dolomiti*. Bollettino della Associazione Mineraria Subalpina. Anno XVI, núm. 1 (1979).
- CALLAHAN, W. H.: *Paleophysiographic premises for prospecting for stratabound base metal mineral deposits in carbonate rocks*. Cento symp. Min. Geol., Turquía, pp. 191-248 (1964).
- COPPONEX, J. P.: *Observations géologiques sur les Alpujárrides occidentales (Cordillères Bétiques, Andalousie)*. Tesis, Genève, 130 pp. (1958).
- DELGADO, F.; OVEJERO, G.; JACQUIN, J. P.: *Localización estratigráfica y medio paleográfico de las mineralizaciones (galena-fluorita) de Sierra de Baza (Granada-España)*. Primer Congr. Hisp. Luso Amer. de Geol. Econm. Madrid-Lisboa, sec. 4, tomo 1, pp. 119-128 (1971).
- DIETRICH, R. V.; HOBBS, Jr., C. R. B.; LOWRY, W. D.: *Dolomitization interrupted by silification*. J. Sed. Petrol., vol. 33, núm. 3, pp. 646-663 (1963).
- DIMPAULT DARCY, P.; JUTEAU, Th.; LEROY, H.: *Sur la présence de roches vertes interstratifiées dans la Sierra de Lújar (Cordillères Bétiques internes, Espagne). Etude pétrographique et chimique*. B.S.G.F., tomo X, núm. 1, pp. 43-48 (1968).
- EGELER, C. G.; SIMON, O. J.: *Sur la tectonique de la zone Bétique (Cordillères Bétiques, Espagne)*. Verh. Kon. Ned. Akad. V. Wtensch., Afa. Naturk., eerste recks, deel XXV, núm. 3, 90 pp. (1969).
- EWERT, K.: *Estratigrafía, litología y mineralizaciones del manto de Lújar (Zona Bética)*. Stud. Geol., XI, pp. 109-120 (1976).
- FAIRBRIDGE, R. W.: *Phases of diagenesis and authigenesis in Larsen et Chilingar*. Chapter 2 (1967).
- FALLOT, P.; SOLE SABARIS, L.; LEMOINE, M.: *Observations sur le Trias Bétique et ses algues calcaires*. Mem. Com. Inst. Geol. Prov. de Barcelona, tomo XI, pp. 23-60 (1954).
- FRIEDMAN, G. M.; SANDERS, J. E.: *Origin and occurrence of dolostones in Pissel et Chilingar* (1967).
- GALLEGOS, J. A.: *Sobre la posición tectónica del manto de*
- Castaras (Sierra Nevada. Cordilleras Béticas)*. Bol. Geol. y Min., tomos LXXXV-II, pp. 49-152 (1974).
- GONZALO Y TARÍN, J.: *Edad geológica de las calizas metálicas de la Sierra de Gádor en la provincia de Almería*. Bol. Com. Mapa Geol. España, tomo IX, p. 104 (1882).
- GRIGOR'EV, D. P.: *Ontogeny of minerals. Israel Program for Scientific Translations*. Jerusalem (1965).
- ILLING, L. V.; WELLS, A. J.; TAYLOR, J. C. M.: *Penecontemporany dolomite in the Persian Gulf. in Dolomitization and Limestone diagenesis A. symposium*. Ed. by Pray and Murray. Soc. of Econ. and Miner. Sp. Pub., núm. 13 (1965).
- JACQUIN, J. P.: *La «franciscaine» un problème de pétrogenèse dans les dolomies du Trias, alpujárride de la Sierra de Gádor (Almería, Espagne)*. Ann. Cent. Enseign. Sup. Brazzaville, tomo II, pp. 79-90 (1966).
- *Contribution à l'étude géologique et minérale de la Sierra de Gádor*. Tesis. Faculté de Nantes, 2 tomos, 501 pp. (1970).
- KOZUR, H.; SIMON, O. J.: *Contribution to the Triassic microfauna and stratigraphy of the Betic zone (Southern Spain)*. Revista Española de Micro., núm. extra., XXX Aniv. E. N. Adaro, pp. 143-158 (1972).
- LAPORTE, L. F.: *Carbonate deposition near mean sea - level and resultant facies mosaic: Manlius formation (Lower Devonian) of the New York State* (1967).
- LEROY, H.: *Le gisement de plomb de Sierra de Lújar de Grenada, Espagne*. Tesis Limoges. Poitiers (1967).
- MACDONALD, G. A.: *Forms and structures of extrusive basaltic rocks in Hess et Poldervaart*. Basalts J. Wiley Publ., 2 vols. (1967).
- MICHARD, A.: *Les dolomies: une Revue*. Bull. Serv. Geol. Als. Lorr. R. 22, fasc. I, pp. 1-92 (1969).
- OVEJERO, G.; TONA, F.; MARÍN, J. M.; GUTIÉRREZ, A.; JACQUIN, J. P.; SERVAJEAN, G., y ZUBIAUR, J. F.: *Las mineralizaciones de plomo-fluorita de Sierra de Lújar (Granada, España)*. Jornadas Minero-Metalúrgicas (V Nacionales, III Internacionales), Bilbao, tomo IX, pp. 83-119 (1975).
- PAVILLON, M. J.: *Paléographies, volcanismes, structures, mineralisations plombo-zincifères et héritages dans l'Est des Cordillères Bétiques (zones internes)*. Tesis de Doctorado de Estado. Paris, 623 pp. (1972).
- PARK, W. C.; SCHOT, E.: *Stylolites, their nature and origin*. J. Sed. Petrol., vol. 38, núm. 1, pp. 175-191 (1968).
- PITRE, C. B.: *Informes internos de la S.M.M.P.E.* Inéditos (1969).
- TONA, F.: *Positions des horizons dolomitiques minéralisés en fluorine et galène au sein des sédiments triasiques de la Sierra de Lújar (Grenade). Evolution et géochimie*. Thèse, 3.º cycle Depart. Geol. App. Univ. de Paris, tomo VI, 166 pp. (1973).
- TOURAY, J. C., et TONA, F.: *Essai d'interprétation géodynamique d'une étude d'inclusions fluides; exemple pris en Sierra de Lújar (Granada, Espagne)*. Rev. Géogr. Phys. Géol. Dynam., vol. XVI, 1, pp. 71-74 (1974).
- TURNIT, P.: *Analysis of pressure-solution, contacts and classification of pressure-solution phenomena in Muller et Friedman (1968). Recent developments in carbonate sedimentology in Central Europe*. Springer Verlag. Ed., 255 pp. (1968).

WESTERVELD, J.: *De bouw der Alpujarras en het tektonisch Verband der costelijke betische Ketens*. Thèse Delft. 120 pp. (1929).

WOOD, G. V.; WOLFE, M.: *Sabkha cycles in the Arab Darb Formation of the Trucial Coast of Arabia*. Sediment., vol. 12, núms. 3-4, pp. 165-191 (1969).

Recibido: Noviembre 1981



AGUAS SUBTERRÁNEAS

Uso de un modelo mixto estocástico-determinista para el estudio de recarga de acuíferos.

Por J. LLAMAS (*), G. DHATT (**) y B. TYANO (***)

RESUMEN

El presente trabajo se incluye en un marco general de gestión integral de recursos hídricos en una cuenca. Se analiza el fenómeno de recarga freática a escala regional a partir de entradas aleatorias en el sistema (precipitación) y un comportamiento determinista del medio físico, que juega el papel de función de transferencia.

Después de un año de simulación en el sistema bajo cargas aleatorias (crónicas generadas) y fijas (con probabilidades predeterminadas), se analiza la situación del acuífero, lo que permite establecer una política racional de explotación.

ABSTRACT

The present work belongs to a general program leading to management of water resources in river basin. The analysis of regional groundwater dynamic in basis of random input (precipitation) and deterministic behavior of physical environment (transfert function) is carry out.

After one year simulation under stochastic precipitation series and fixed precipitation input, the fluctuation water level and water decay has been analysed in order to set up a rational policy of water use.

INTRODUCCIÓN

El volumen, la dinámica, el movimiento y las variaciones espacio-temporales de las aguas subterráneas dependen, en general, de dos tipos de variables: las externas, que actúan sobre el sistema del acuífero y que pueden calificarse como funciones de solicitud, y las variables internas, constituidas por el conjunto de leyes, normas y ecuaciones que definen el comportamiento del agua en el medio físico y que se llaman propiedades físicas. Aunque estos dos tipos de variables son de naturaleza aleatoria o probabilística, sólo las solicitudes se consideran como estocásticas en este estudio, debido a la casi imposibilidad de predecir su ocurrencia y sus magnitudes. Las pro-

piedades físicas de los acuíferos son tratadas aquí como sistemas deterministas regidos por la mecánica del flujo en un medio poroso.

MODELO ESTOCÁSTICO DE LA PRECIPITACIÓN

Los principales componentes estocásticos de la función de recarga de un acuífero son la precipitación, la evapotranspiración y los niveles estacionales de lagos y ríos. Entre estas variables la más importante para explicar la dinámica de los acuíferos es la precipitación. En este trabajo se desarrolla un modelo estocástico para estudiar el comportamiento cronológico de esta variable y generar después unas series bastante largas, que constituirán el punto de partida para un segundo modelo de elementos finitos, cuyo objetivo es la evaluación de los recursos hídricos en una cuenca subterránea.

La precipitación puede considerarse como una variable estacionaria o no estacionaria, según

(*) Catedrático de Hidrología, Universidad Laval, Quebec, Canadá. Actualmente, en Año Sabático en la Diputación de Madrid, Servicio Forestal, del Medio Ambiente y contra Incendios.

(**) Catedrático del Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad Laval.

(***) Estudiante graduado. Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad Laval.

la unidad de tiempo adoptada. Así, mientras que la precipitación anual es, en general, estacionaria, las precipitaciones mensuales o diarias no lo son.

Los procesos hidrológicos estocásticos no estacionarios están formados, con frecuencia, de sub-espacios de longitudes distintas, en los que las variables poseen las propiedades de estacionariedad y de ergodicidad. Tales sub-espacios pueden llamarse *periodos homogéneos*, que descomponen el proceso en secuencias cíclicas llamadas *estaciones*.

El conocimiento de las funciones de distribución de estas secuencias, permite reconstituir el proceso general mediante el uso de un modelo estocástico estacional. Este es práctico a condición de que el número de estaciones necesarias para describir el proceso, sea finito e incluso bastante pequeño, siendo precisamente esta restricción la que reorientó la investigación en modelos estocásticos hacia modelos diferenciales.

Un modelo diferencial es de la forma:

$$x_q(t) = a_{i=0} + \sum_{j=1}^m \sum_{\lambda=0}^n a_{ij} x_j(t-\lambda)$$

$$+ \sum_{k=i+2(j-1)}^p \left(a_{k+1} \cos \frac{2\pi jt}{P} + a_{k+2} \sin \frac{2\pi jt}{P} \right) + a_{i+2p+1} e(t) \quad [1]$$

donde

$x_q(t)$: valor de $x_q(t)$ en el tiempo t .

m : dimensión del proceso; número de variables $x_j(t)$ significativamente correlacionadas con $x_q(t)$.

n : número de observaciones de $x_j(t)$ explicativas de la variación de $x_q(t)$.

p : número de armónicas por ciclo.

P : ciclo.

$e(t)$: componente aleatoria de $x_q(t)$ no explicada por las variables $x_j(t)$ y por la periodicidad del proceso.

Las hipótesis más corrientes hechas sobre la componente estocástica $e(t)$ de los modelos diferenciales son:

- distribución normal
- media nula

- varianza igual a la varianza del proceso.
- no autocorrelacionada y no correlacionada con las secuencias $x_i(t)$.

Con la capacidad de cálculo de los modernos computadores, esta restricción de un número reducido de sub-espacios tiene menos importancia. Además, el modelo estacional tiene la gran ventaja de permitir el estudio del proceso a partir de criterios de simulación fijados a priori como, por ejemplo, la obtención de una realización que posea una probabilidad predeterminada. Estas ventajas hacen que el modelo estacional sea muy apropiado para el análisis de la precipitación. La elección de un modelo se hace en función de ciertos criterios, tales como el número de parámetros y su facilidad de evaluación, las relaciones posibles entre estos parámetros y las propiedades físicas del proceso y, finalmente, la posibilidad de invertir con facilidad la función de distribución de la variable a fin de generar series cronológicas.

En este trabajo se ha optado por distribuciones de tipo gamma, pues, aparte de la característica de inversión ya mencionada, esta distribución permite un buen ajuste para valores extremos. Además, está comprobado que las muestras de precipitaciones mensuales tienen un coeficiente de asimetría bastante alejado del valor nulo.

Una distribución gamma se expresa por:

$$F(u) = \int_0^u f(x) dx \quad [2]$$

donde

$$f(x) = \frac{\xi^\eta x^{\eta-1} e^{-\xi x}}{\Gamma(\eta)}; \quad x \geq 0$$

$$= 0; \quad x < 0 \quad [3]$$

donde $\Gamma(\eta)$ es la función gamma de η .

Los parámetros son:

- un parámetro de escala ξ
- un parámetro de forma η .

Aquí la variable x representa la precipitación. Si se expresa [2] en forma de serie, aplicando

sucesivamente la integración por partes, se obtiene

$$F(x) = A \sum_{i=1}^{\infty} S_i \quad [4]$$

donde

$$A = \frac{\xi^\eta}{\Gamma(\eta)}$$

$$S_i = \frac{\xi^{(i-1)} x^{\eta+i-1} e^{-\xi x}}{\prod_{j=1}^i (\eta+j-1)} \quad [5]$$

Bajo esta forma, la distribución gamma puede invertirse fácilmente mediante la aproximación sucesiva de Newton [1]

$$x_{k+1} = x_k - \frac{S_n - A\bar{F}(x)}{S_n} \quad [5]$$

donde

$$S_n = \sum_{i=1}^n S_i$$

$$S_n = \sum_{i=1}^n \frac{S_i (\eta+i-1-\xi x_k)}{x_k} \quad [6]$$

n : es el número de términos considerados en la serie.

k : es el número de iteraciones.

$\bar{F}(x)$: es la función de distribución ajustada.

La estimación de los parámetros ξ y η se hace por el método de los momentos (o del máximo de verosimilitud) a partir de la muestra disponible.

El primer momento (media) de la población es:

$$\mu^{(1)} = \mu = \int_0^{\infty} x f(x; \xi, \eta) dx = \frac{\xi^\eta}{\Gamma(\eta)} \int_0^{\infty} x^\eta e^{-\xi x} dx \quad [6]$$

Para a, b y c positivos:

$$\int_0^{\infty} x^b e^{-ax^c} dx = \frac{\Gamma(\frac{b+1}{c})}{c a^{\frac{b+1}{c}}} \quad [7]$$

Aquí, $a = \xi$; $b = \eta$, y $c = 1$. Como $\Gamma(\eta + 1) = \eta \Gamma(\eta)$, se tiene finalmente

$$\mu = \eta \xi \quad [8]$$

El segundo momento central (varianza) de la población es:

$$\begin{aligned} \mu^{(2)} = \sigma^2 &= \int_0^{\infty} (x - \mu)^2 f(x; \xi, \eta) dx = \\ &= \int_0^{\infty} (x - \mu)^2 \frac{\xi^\eta x^{\eta-1} e^{-\xi x}}{\Gamma(\eta)} dx \end{aligned} \quad [9]$$

cuya integración da como resultado

$$\sigma^2 = \eta \xi^2 \quad [10]$$

Los dos primeros momentos de la muestra son:

$$m^{(1)} = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (a) \quad [11]$$

$$m^{(2)} = S^2 = \frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (b) \quad [12]$$

e igualándolos con los momentos de la población, se obtiene:

$$\xi = \frac{\bar{x}}{S^2} \quad (a) \quad [13]$$

$$\eta = \frac{\bar{x}^2}{S^2} \quad (b) \quad [14]$$

Para reproducir una crónica del proceso hay que generar observaciones a partir de las distribuciones estacionales, de acuerdo con el siguiente esquema:

Como la transformada $Z = F(x)$ tiene una distribución uniforme en el intervalo $(0, 1)$, para generar una observación,

- Se elige un número aleatorio R_u perteneciente a una distribución uniforme $(0, 1)$.
- Se hace $f(x) = R_u$.
- Se resuelve la ecuación $x = F(x)^{-1}$ según la relación [5].

HAAN [2] ha propuesto otra técnica para la

generación de muestras de variables gamma, cuyas etapas son:

Para la parte fraccionaria η_f de η :

- generar tres números aleatorios R_{u1} , R_{u2} y R_{u3} en el intervalo $(0, 1)$
- definir $S_2 = R_{u2}^{1/\eta_f}$ $S_3 = R_{u3}^{1/(-\eta_f)}$
- Si $S_2 + S_3 \leq 1$, definir

$$Z = \frac{S_2}{S_2 + S_3}$$

$$x_f = -Z \ln(R_{u1}) / \xi$$

Si $S_2 + S_3 > 1$, generar de nuevo R_{u2} y R_{u3} .

Para la parte entera de η_e de η , generar η_e números aleatorios en $(0, 1)$ y evaluar:

$$x_e = - \sum_{i=1}^{\eta_e} \ln(R_{u1}) / \xi$$

$$x = x_f + x_e$$

En muchas funciones de distribución es difícil hacer la inversión y en este caso se puede construir cuadros de $F(x)$ y proceder por interpolación numérica.

COMPONENTE DETERMINISTA DEL MODELO

El análisis diferencial del problema de flujo en un acuífero es de dominio clásico y está basado en la ecuación general de circulación en un medio poroso, a la que se le agrega un término de carga (Q).

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) - \\ - E_s \frac{\partial h}{\partial t} + Q = 0 \end{aligned} \quad [15]$$

sobre V , $t > t_0$
sometida a las condiciones límites

$$h = h_s \text{ sobre } S_h \quad [16]$$

$$n \vec{u}_{ss} + q_s = f_s \text{ sobre } S_f \quad [17]$$

La frontera S está compuesta de una región S_h de cargas definidas y otra S_f de caudales definidos.

La condición inicial es:

$$h = h_0 \text{ sobre } V, t = t_0 \quad [18]$$

Llámase residuo $R(h)$ la expresión

$$R(h) = \mathcal{L}(h) + f_v \quad [19]$$

donde

$$\begin{aligned} \mathcal{L}(h) &= \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) - \\ &- E_s \frac{\partial h}{\partial t} \end{aligned} \quad f_v = Q$$

Una solución exacta del problema existe cuando $R(h)$ es idénticamente nulo y se satisfacen las condiciones límites. Como en la mayoría de los casos esto no ocurre, el problema se resuelve entonces buscando una solución aproximada tal que la integral $W(h)$ se anule y que las condiciones límites [16] y [17] puedan ser satisfechas.

$$W(h) = \int_V \psi R(h) dV = \int_V \psi (\mathcal{L}(h) + f_v) dV = 0 \quad t > t_0 \quad [20]$$

en donde ψ es una función de ponderación bajo el dominio V . Toda solución de la forma diferencial [15] es también solución de la forma integral [20] sin que la recíproca sea necesariamente cierta.

Como la función ponderada por ψ se llama residuo, la solución integral [20] se llama *método de residuos ponderados*.

Las soluciones admisibles, h , de [20] son derivables hasta el orden dos, que es el orden del operador diferencial \mathcal{L} . Estas soluciones dependen de la función de ponderación ψ elegida y esta elección se hace según el método de variaciones virtuales, o método de Galerkin, que consiste en tomar como valor de ψ las primeras variaciones de la función h .

$$\psi = \delta_1 h \quad [21]$$

lo cual conduce a la forma siguiente de $W(h)$:

$$W(h) = \int_V \delta_1 h (\mathcal{L}(h) + f_v) dV = 0 \quad [22]$$

— Se considera que la formación geológica de la región es isótropa y homogénea, constituida principalmente de gresitas primarias. Los valores estimados son $T=250 \text{ m}^2/\text{día}$; $E=0.035$ para las subcuenca tipo «A» (figura 4b) y $T=475 \text{ m}^2/\text{día}$, $E=0.01$ para las subcuenca tipo «B».

— Aunque se dispone de instrumentos de cálculo numérico capaces de resolver el problema en tres dimensiones, se ha adoptado en este trabajo un modelo determinista bi-dimensional en virtud de la naturaleza imprecisa e incompleta de los datos hidrogeológicos. El acuífero se considera confinado, alimentado por la lluvia y perdiendo agua por evapotranspiración.

— Se asume que el río está en contacto con la capa freática, considerándose así como el límite de carga nula.

— Se considera que la divisoria de las aguas superficiales y subterráneas es la misma, constituyendo el límite físico de la cuenca. A lo largo de esta frontera se supone que el flujo es nulo.

— Implícitamente no se consideran ni la evapotranspiración, ni la escorrentía superficial ni el drenaje hacia los ríos. El efecto global de estos factores se incluye en una función de demanda uniforme sobre toda la cuenca y cuyos valores medios son:

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Demanda (mm)	100	105	105	85	80	75	65	60	65	70	80	90

— Las muestras de precipitación se generan a partir de las distribuciones definidas en el modelo estacional. Así se simula una crónica del proceso de la precipitación con una duración igual al período de explotación de todas las estaciones de la cuenca (cuadros 1 y 2).

En realidad, cuando se quiere planificar la gestión de recursos de agua en una cuenca acuífera es importante considerar las probabilidades de recarga. La simple generación de series cronológicas puede servir para completar datos, simular el proceso estocástico o hacer inferencias estadísticas. Sin embargo, es menos apta en una planificación basada en la cuantificación del riesgo.

El modelo estocástico estacional, además de ser-

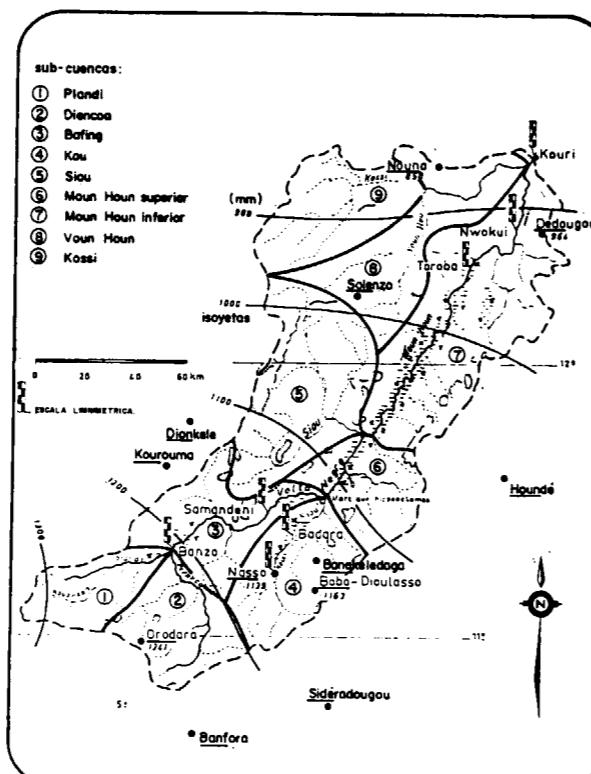


Figura 2.—Cuenca del Volta Negro en Kouri.

vir para la generación de datos se utiliza para simular la evolución de las cargas piezométricas de una cuenca con una serie de alturas de lluvia correspondientes a un porcentaje fijo de probabilidad de ocurrir.

Estas alturas se calculan mediante la inversión de las funciones de distribución mensuales presentadas en el cuadro.

Con objeto de introducir la precipitación como función de carga en el modelo determinista, se representa la altura de lluvia en forma de una función uniforme sobre toda la superficie de la cuenca, función que después se evalúa por elementos finitos.

CUADRO 1

Datos de precipitaciones generadas en las estaciones de la cuenca para un año de simulación

Estación	Enero (mm)	Febrero (mm)	Marzo (mm)	Abril (mm)	Mayo (mm)	Junio (mm)	Julio (mm)	Agosto (mm)	Sepbre. (mm)	Octubre (mm)	Novbre. (mm)	Dicbre. (mm)
Bana.	.015	.150	1.189	7.840	145.685	265.249	258.230	207.766	200.695	52.202	1.181	.003
Banf.	.001	.001	.110	39.631	124.938	186.143	215.591	271.432	193.446	90.868	.398	.147
Bobo.	.020	23.723	.379	32.210	88.387	182.961	238.558	333.346	301.291	42.069	.119	20.976
Dedo.	.029	.687	.0	.0	4.369	152.417	248.775	158.660	206.151	279.817	33.782	.0
Dion.	.0	.0	.0	6.432	36.874	53.136	144.290	117.318	219.039	50.260	7.497	.0
Houn.	.059	25.650	.048	9.072	113.027	114.625	206.736	258.267	285.461	10.894	.058	.91
Kour.	.0	.986	3.187	11.402	57.613	104.993	112.447	352.667	189.583	15.209	36.104	7.771
Nass.	.041	.296	1.044	5.617	85.149	104.682	174.807	373.019	145.191	116.699	7.198	.241
Noun.	.023	.021	.0	6.714	32.989	135.640	215.327	169.812	150.716	46.863	1.651	.047
Orod.	2.070	3.295	65.414	11.943	121.445	85.819	169.968	393.010	233.201	129.326	20.347	.758
Side.	.0	.339	17.228	16.484	87.911	75.281	138.603	272.300	294.200	108.588	3.138	.0
Sole.	.0	.0	.0	66.353	51.919	133.819	164.668	322.808	181.195	10.014	.003	.0

CUADRO 2

Datos de precipitaciones en las estaciones para una probabilidad de 90 por 100

Estación	Enero (mm)	Febrero (mm)	Marzo (mm)	Abril (mm)	Mayo (mm)	Junio (mm)	Julio (mm)	Agosto (mm)	Sepbre. (mm)	Octubre (mm)	Novbre. (mm)	Dicbre. (mm)
Bana.	0.0	0.0	0.1	10.0	36.7	59.1	125.0	190.0	158.8	32.7	0.8	0.0
Banf.	0.0	0.0	1.0	17.6	47.7	78.4	133.2	187.4	122.0	25.5	1.7	0.0
Bobo.	0.0	0.0	0.3	10.0	39.6	76.3	115.2	200.4	110.0	26.3	0.1	0.0
Dedo.	0.0	0.0	0.0	1.0	19.2	70.1	139.2	179.6	98.0	15.6	0.0	0.0
Dion.	0.0	0.0	0.0	11.8	23.6	72.8	159.2	97.0	140.6	21.7	1.3	0.0
Houn.	0.0	0.0	0.0	8.0	35.1	62.0	110.4	160.1	90.6	10.0	0.0	0.0
Kour.	0.0	0.0	0.0	15.0	20.3	110.8	109.0	216.9	136.8	22.6	0.4	0.0
Nass.	0.0	0.0	0.4	10.0	42.7	62.4	117.6	227.2	151.1	29.0	1.6	0.0
Noun.	0.0	0.0	0.0	1.1	28.5	68.1	116.3	168.0	69.6	14.8	0.0	0.0
Orod.	0.0	0.0	3.0	12.8	39.0	96.8	158.8	220.0	183.4	40.3	2.9	0.0
Side.	0.0	0.0	3.1	15.0	69.2	97.0	83.2	123.0	101.7	26.3	0.5	0.0
Sole.	0.0	0.0	0.0	1.4	35.6	86.2	103.2	188.3	165.9	10.5	0.0	0.0

Como en general, no todos los nudos de una malla de elementos finitos son estaciones pluviométricas, hay que comenzar por estimar las alturas de lluvia en todos los nudos a partir de las alturas registradas en las estaciones. A los nudos sin estaciones se les llama estaciones virtuales. Existen, pues, dos tipos de elementos: el conjunto «r», formado por estaciones reales, y el conjunto «v» de los elementos en los que, al menos un nudo, es una estación virtual. Por ejemplo, sobre la figura 3, el elemento definido por los nudos (1, 2, 3, 4) pertenece al conjunto «r», mientras que el formado por (1, 2, 6, 5) pertenece al conjunto «v».

Así, pueden obtenerse las aproximaciones de la función «altura de lluvia» sobre cada tipo del conjunto.

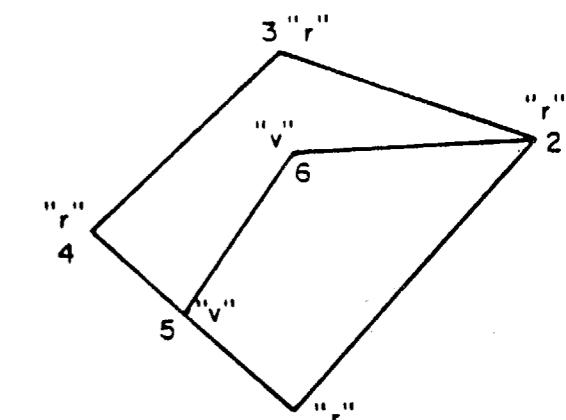


Figura 3.—Elementos reales y virtuales de una representación en mosaico.

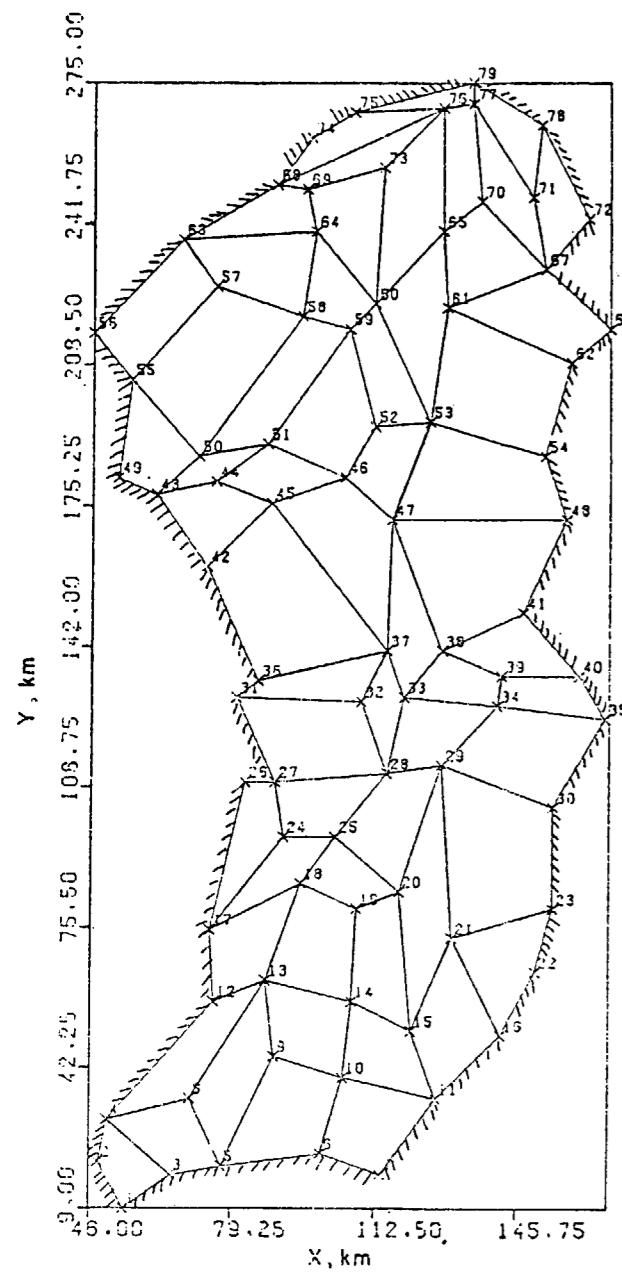


Figura 4 a.—Tramado del acuífero de la región de Kouri.

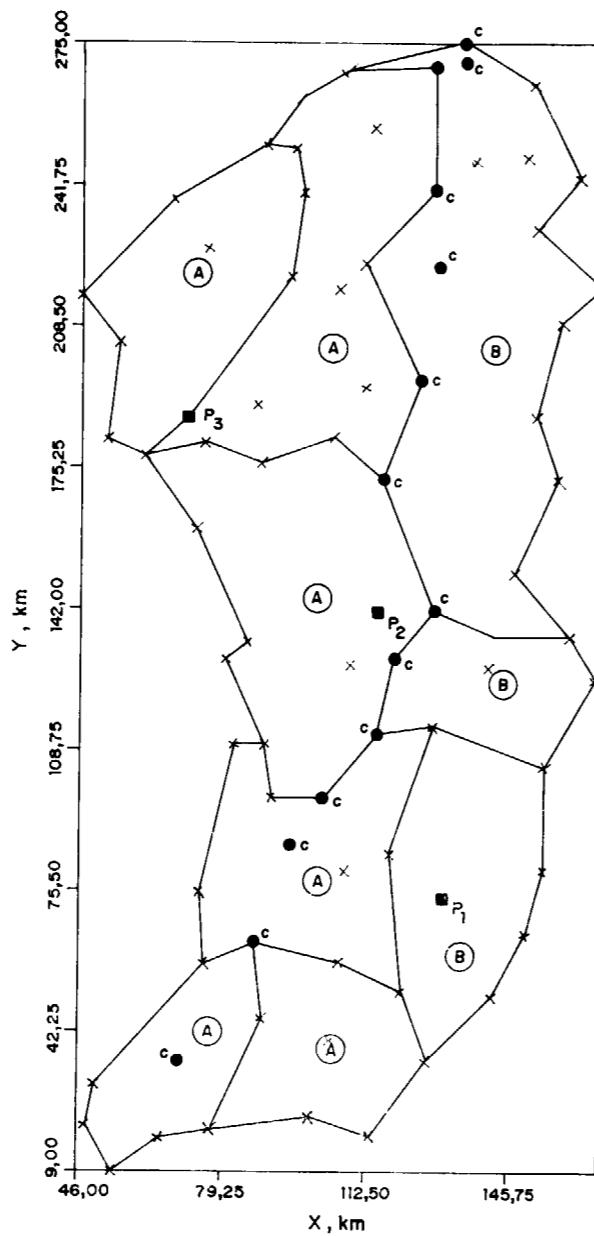


Figura 4 b.—Regiones homogéneas.

$h' = \langle N \rangle \{ h'_{nv} \}$ sobre «r» [34]

Sean los vectores

$$\langle N_{im} \rangle = \langle N_i(x_{-1}) N_i(x_{-2}) \dots N_i(x_{-m}) \rangle$$

donde $N_i(x_j)$ representa el término j de la fun-

ción de interpolación $\langle N \rangle$ sobre un elemento «r» en el punto de coordenadas x_j (x_j , y_j) del nudo virtual número j que contiene.

Con los n vectores obtenidos a partir de los n términos de $\langle N \rangle$ se forma la matriz.

$$[B] = [N_{1m} \ N_{2m} \ \dots \ N_{nm}] \quad [36]$$

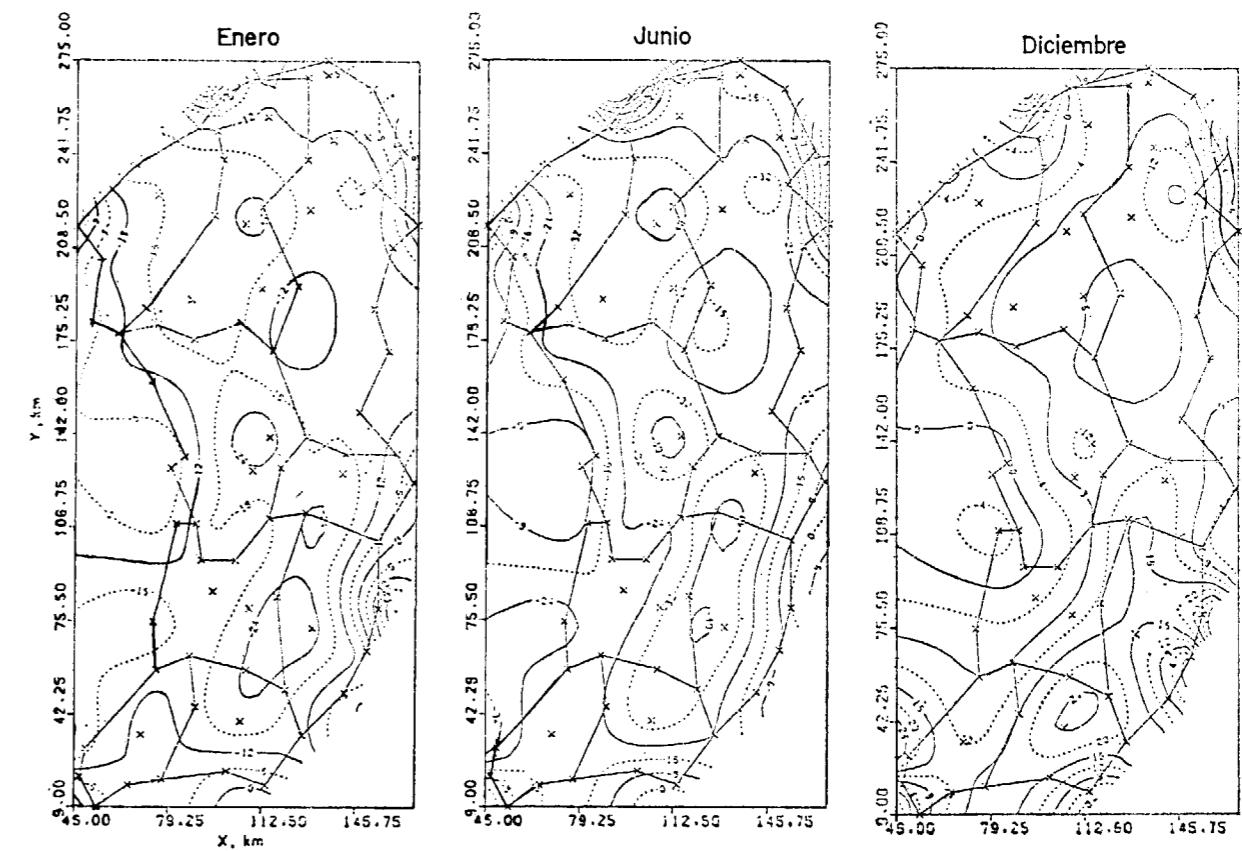


Figura 5.—Cargas mensuales, en metros, durante un año de simulación (datos generales).

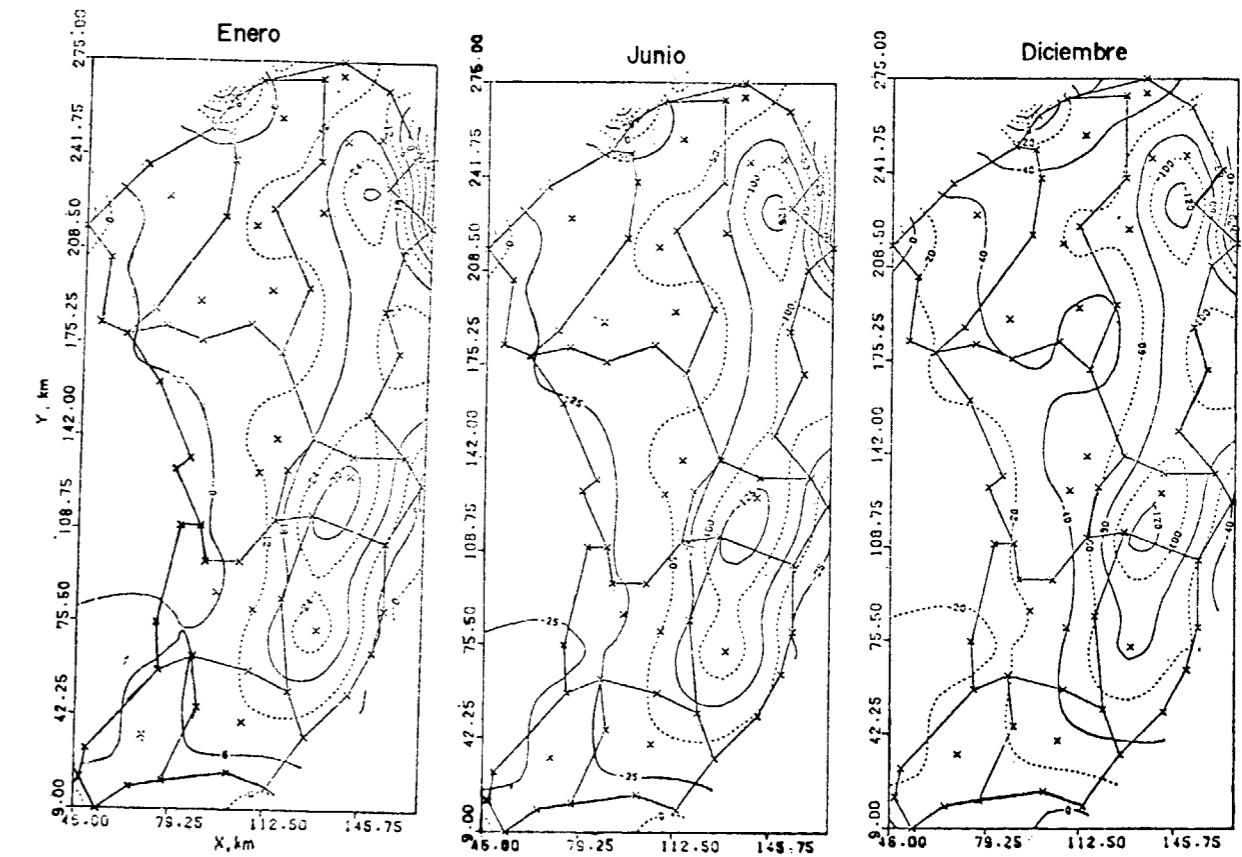


Figura 6.—Cargas mensuales, en metros, durante un año de simulación (altura de precipitación con probabilidad del 90 por 100). 4-1

Se llama aproximación en mosaico sobre «r» a la representación de h'_{mv} sobre «r» por

$$\{h'_{mv}\} = [B]^T \{h'_{nr}\} \quad [37]$$

La altura de lluvia de toda estación virtual puede obtenerse por aproximación en mosaico sobre todo elemento «r» que lo contiene. La ventaja principal de esta representación es que el elemento «r» puede ser definido por estaciones pluviométricas tanto al exterior como al interior de la cuenca. Así, puede evaluarse al altura de lluvia h' en todo punto de «v», llevando [37] sobre [35].

En la formulación tridimensional, hay que evaluar la solicitudación de la lluvia, únicamente en la superficie que la recibe. En la formulación bidimensional, como es el caso en este trabajo, la solicitudación se expresa en la forma siguiente:

$$\frac{\delta}{\delta x} \left(T_x \frac{\delta h}{\delta x} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left(T_y \frac{\delta h}{\delta y} \right) + h' - S \frac{\delta h}{\delta t} = 0 \text{ sobre } V$$

El término de la formulación integral correspondiente es:

$$\int_A \delta h \, h' \, dA$$

donde h y h' están representadas por las mismas funciones de interpolación $\langle N \rangle$ sobre un elemento.

Entonces

$$\langle \delta_1 h_n \rangle \int_A \{N\} \langle N \rangle \{h'_n\} \, dA$$

La expresión resultante del vector de carga elemental de precipitación es:

$$f_p = \int_A \{N\} \langle N \rangle \, dA \, \{h'_n\} \quad [38]$$

en donde $\{h'\}$ es obtenido a partir de la precipitación en las estaciones según el método descrito en la sección precedente.

En la figura 5 se han trazado las isocargas de los meses de enero, junio y diciembre, correspondientes a un año completo de simulación con datos generados. En esta simulación los nudos 14, 15, 19, 20 y 21 de la figura 4a han sido solicitados por un bombeo de $50 \text{ m}^3/\text{d}$, mientras que los

nudos 46, 51, 52, 58 y 59 fueron bombeados a $40 \text{ m}^3/\text{d}$. cada uno.

Después de un año entero de simulación, se puede predecir la carga piezométrica en todo punto de la cuenca bajo condiciones de entrada aleatorio y este conocimiento permite poder establecer diferentes estrategias de explotación y uso del acuífero. La figura 6 representa los resultados de la simulación por los mismos meses de enero, junio y diciembre, tomando como base alturas de lluvia con probabilidades del 90 por 100 y bajo las mismas condiciones de bombeo que anteriormente. Se puede observar que al final del año (diciembre) las cargas piezométricas son bastante inferiores a las cargas iniciales y en este caso, contrariamente al caso de datos generados, hay que disminuir la tasa o el ritmo de explotación si se quiere conservar las reservas hídricas de la cuenca.

AGRADECIMIENTO

Este estudio ha sido realizado gracias a la ayuda financiera del «Conseil National des Sciences Naturelles et de Génie du Canada» (proyecto número CNR-A-B-540) y a la colaboración de la Diputación Provincial de Madrid, Servicio Forestal, del Medio Ambiente y contra Incendios.

LISTA DE SIMBOLOS NO DEFINIDOS EN EL TEXTO

\mathcal{L}	operador diferencial
δ	símbolo de derivada parcial
E_s	coeficiente de almacenamiento específico
h	carga piezométrica (m)
V	dominio geométrico de flujo
S	frontera del dominio V
ψ	función de ponderación
δ_1	signo de la primera variación
$[]$	símbolo de matriz
$\{ \}$	símbolo de un vector columna
$\langle \delta \epsilon \rangle$	vector línea de las derivadas parciales de la primera variación de la carga piezométrica respecto a x, y, z
$[D]$	matriz característica de propiedades físicas
$\langle \epsilon \rangle \{ \epsilon \}$	vector línea y columna de las derivadas parciales de la carga piezométrica respecto a x, y, z

q_n	caudal específico en la dirección normal a una superficie del espacio
\vec{u}_{sn}	vector velocidad de una superficie en dirección normal
n	índice, número que caracteriza la dimensión de un vector o de una matriz
$[k]$	rígidez elemental
$[m]$	capacidad elemental
$\{f\}$	vector de carga elemental
$[B]$	matriz de las derivadas parciales de las funciones de interpolación
$\langle N \rangle, \{N\}$	vector línea y vector columna de las funciones de interpolación (y de la transformación geométrica por elementos isoparamétricos)
$\langle \rangle$	símbolo de un vector línea

BIBLIOGRAFIA

- ABRAMOWITZ, M., et I. A. STEGUN: *Handbook of Mathematical Functions*, 8ème éd., Dover Publications (1972).
 HAAN, T. C.: *Statistical Methods in Hydrology*. Iowa State University Press (1972).
 KOULEKEY, K. C.: *Modèles mathématiques de précipitation*,

Application à l'étude régionale de la pluviométrie au Togo. These de Maitrise, Université Laval (1977).

LLAMAS, J., et J. P. TRIBOULET: *La température de l'air et le cycle hydrologique: structure statistique*. Cahiers de Centreau, vol. 1, n.º 3 (1976).

LLAMAS, J., et B. TYANO: *Discharge of a river downstream the confluence of a tributary*. Application to the St. Lawrence River. Proceedings of the International Conference on Water Resources Development, Taiwan, mai (1980).

LLAMAS, J., et B. TYANO: *Synchronisme régional des crues, Analyse Mathématique*. Le Naturaliste Canadien (1981).

BEAR, JACOB: *Dynamics of Fluids in Porous Media*. American Elsevier (1972).

DAVIS, S. N., et R. J. M. DE WIEST: *Hydrogeology*. John Wiley & Sons (1966).

POLOBARINOVA, K.: *The Theory of the Motion of Groundwater*. Princeton University Press (1962).

DHATT, G., et G. TOUZOT: *Une présentation de la méthode des éléments finis*. Les Presses de l'Université Laval (1981).

MONIOT, F.; B. POUYARD, et P. SECHET: *Le bassin du fleuve Volta*. Monographies Hydrologiques. ORSTOM (1977).

C.I.E.H. (Centre International des Etudes Hydrauliques): *Précipitations journalières de l'origine des stations à 1965*. Rep. de Haute Volta (1977).

Recibido: Marzo 1982

GEOQUIMICA

Petrología y geoquímica de los gneises de Queralbs-Nuria (Provincia de Gerona)

Por A. SEBASTIAN (*), F. J. MARTINEZ (*) y J. I. GIL IBARGUCHI (*)

RESUMEN

Se ha efectuado un estudio del macizo gneisico situado entre las localidades de Queralbs y Nuria en la provincia de Gerona. Los datos de campo, tales como la presencia de xenolitos del encajante en el interior del macizo, así como los datos petrográficos, e. g. texturas granofídicas, cuarzos corroyendo a feldespatos, presencia de circones y apatitos idiomórficos, etc., y los resultados obtenidos a partir de las representaciones gráficas y estudio de los datos geoquímicos, permiten indicar que los gneises estudiados son rocas ortoderivadas formadas a partir de un magma diferenciado e intruidas en la serie (Cámbrica?) de Canaveilles. Según los datos existentes para el sistema Qz-Ab-Or-An-H₂O se trataría de un magma intruido superficialmente, a una P igual o menor a 2 Kb y a una T igual o superior a los 700° C. Se puede sugerir una edad Caradoc para el emplazamiento de estos materiales.

ABSTRACT

A petrographic and geochemical study has been made of the gneissic massif situated between the localities of Queralbs and Nuria in the Gerona province (NE Spanish Pyrenees). Field data, e. g. the presence of host rock xenoliths inside the massif, petrographic data, e. g. the granophytic textures, plates of feldspars corroded by globular quartz, the presence of idiomorphic zircons, slender elongated apatites, etc., as well as the results obtained from the study and graphical representation of geochemical data indicate that these are rocks with an igneous origin, formed from a fairly differentiated granitic magma and intruded into the Canaveilles (Cambrian?) series. Using the data for the system Qz-Ab-Or-An-H₂O it is deduced that this massif represents a shallow magmatic intrusion. The emplacement should have taken place at a pressure equal or less than 2 Kb and at a temperature equal or higher than 700° C. A Caradoc age may be suggested for the emplacement of these materials.

1. INTRODUCCION

En el área situada entre Queralbs y Nuria (figura 1) aflora en la serie de Canaveilles un macizo gneisico de unos 6,5 por 2,5 K., circundado casi en su totalidad por una serie de gneises. Entre ambos gneises se sitúa un nivel esquistoso de poca potencia (fig. 2). Tradicionalmente (GUITARD, 1970; SANTANACH, 1974; ROBERT, 1980) se han considerado los gneises del macizo central como de probable origen ortoderivado y pertenecientes a un antiguo zócalo Precámbrico, posteriormente erosionado. Al nivel de esquistos situados entre ambos gneises, así como a los gneises circundantes

se les ha incluido (SANTANACH, 1974) en la formación Caranca, por analogías con el cercano macizo de Canigou-Caranca, habiéndose propuesto últimamente un origen paraderivado para estos gneises circundantes (ROBERT, 1980). Los datos petrográficos y geoquímicos que se presentan en este trabajo conducen a conclusiones diferentes.

2. DESCRIPCION GENERAL

2.1. Gneises centrales (tipo RN)

Son rocas de aspecto bastante homogéneo, estructura granoblástica y esquistosidad poco penetrativa, similar a la de granitos deformados que se ven en otras áreas. Ocasionalmente se observa una foliación definida por bandas más

o menos ricas en biotita y por el menor tamaño de grano, menor cuanto mayor es la cantidad de este último mineral. La homogeneidad de los gneises es bastante constante a lo largo y ancho del macizo, siendo sólo interrumpida por algunas bandas de cizalla en la zona NE principalmente. Estas bandas son muy escasas en comparación con las existentes en otros macizos próximos, como el del Canigou.

El borde del cuerpo es de grano más fino, siendo esta característica más acusada en la parte S. Esta zona de borde carece de fenocristales, disponiéndose el poco feldespato potásico existente intersticialmente; en conjunto, puede considerarse como una facies aplítica.

El contacto con los esquistos es muy neto, e irregular en ocasiones, habiéndose localizado pequeños fragmentos de esquistos dentro de los gneises que se han interpretado como xenolitos del encajante.

En el borde del macizo y dentro de los esquistos, además de los típicos filones de cuarzo, se han encontrado ocasionalmente filones aplíticos plegados o boudinados. Como se indica más adelante, estos datos hacen pensar que podría tratarse de una intrusión magmática.

2.2. Esquistos circundantes

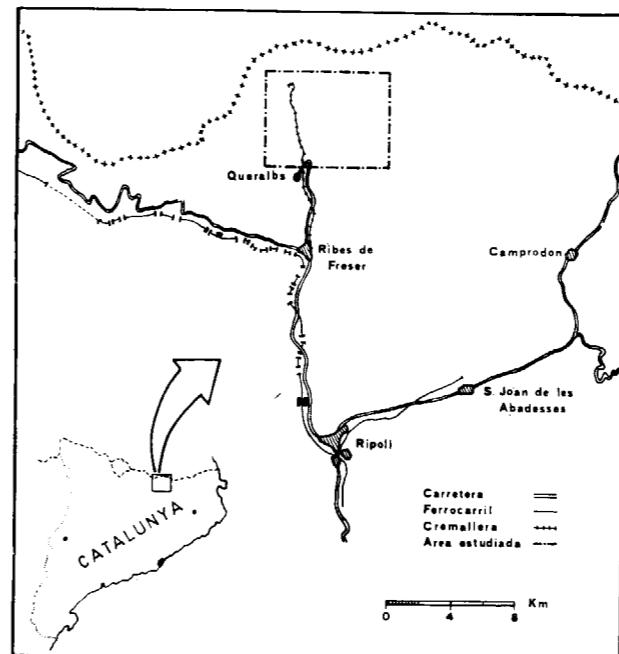


Figura 1.—Situación del área estudiada.

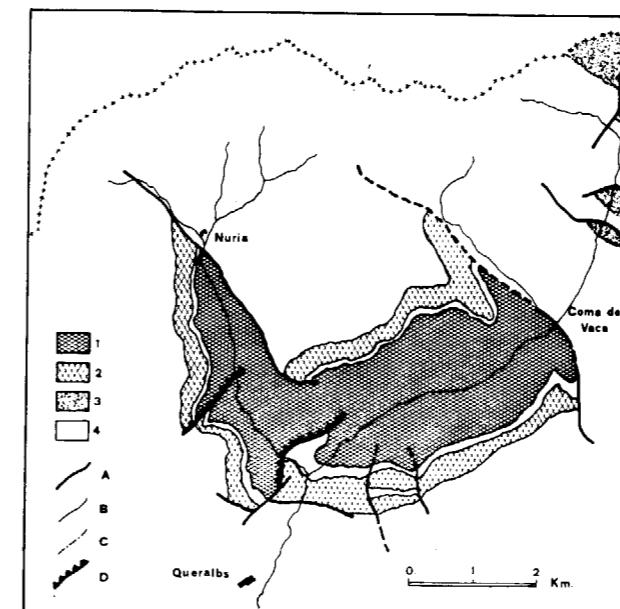


Figura 2.—Cartografía del área del alto Freser, basada en la de SANTANACH (1974), modificando su interpretación para los gneises de Queralbs-Nuria según los datos del presente estudio. 1, gneises RN; 2, gneises RE; 3, gneises de Caranca; 4, esquistos de la serie de Canaveilles; A, falla; B, contacto intrusivo; C, contacto concordante; D, cabalgamiento.

(*) Departamento de Petrología. Universidad Autónoma de Barcelona. Bellaterra, Barcelona. España.

2.3. Gneises circundantes (tipo RE)

Son más heterogéneos que los del macizo interno y parecen haber sufrido una mayor deformación. Predominan los gneises glandulares, aunque, intercalados entre éstos, se encuentran niveles poco potentes de gneises bandeados. La zona NO suele tener mayor contenido en minerales melanocráticos y fenocristales más grandes, predominando al S los gneises de grano más fino y tonos más claros.

3. ANALISIS MODAL

Debido al elevado tamaño de grano de las muestras, los contajes en los gneises RN fueron efectuados sobre placas teñidas con cobaltinitrito sódico. En los gneises RE la mesostasis se midió sobre láminas delgadas y los fenocristales en placas. La tabla I muestra los resultados.

En el diagrama de Streckeisen (fig. 3), se representan las muestras cuyo porcentaje en An normativa es mayor del 5 por 100. Las muestras con un contenido menor en An no se han situado por considerarse este tipo de diagrama poco re-

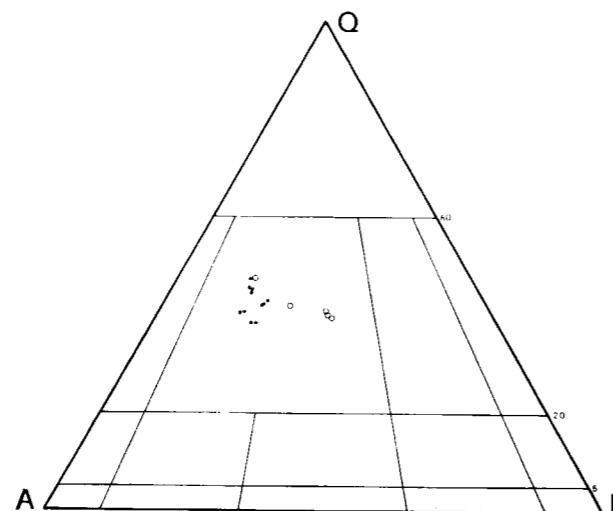


Figura 3.—Representación de las muestras analizadas en el diagrama de STRECKEISEN (1967). Círculos negros, gneises RN; circunferencias, gneises RE; A, feldespatos alcalinos (incluyendo albita $An_{0.5}$); Q, sílice; P, plagioclasa An_{5-100} .

presentativo para estas rocas. En la figura se puede observar la mayor homogeneidad y una tendencia ligeramente más sódica en los gneises RN.

TABLA I
Gneises tipo RN

N.º muestra	7	9	14	16	22	23	25	26	28
Q	35,14	35,20	42,77	42,25	40,05	45,53	37,97	37,39	42,02
FK	39,50	39,83	38,15	38,27	35,55	37,73	40,78	38,94	37,24
PL	17,35	16,72	13,12	14,01	17,40	12,65	14,20	13,99	13,79
Micas	8,00	8,24	5,95	5,47	7,00	4,08	7,05	9,67	6,93
Q	38,20	38,36	45,48	44,69	43,06	47,47	40,85	40,29	45,14
FK	42,94	43,41	40,45	40,48	38,22	39,33	43,86	44,22	40,02
PL	18,86	18,22	13,96	14,82	18,71	13,19	15,28	15,48	14,83

Gneises tipo RE

N.º muestra	1	2	4	8	9	10	11
Q	38,42	36,69	44,38	36,90	35,92	39,13	40,23
FK	31,14	24,98	36,12	26,34	25,15	35,67	28,92
PL	20,41	25,97	13,08	27,62	26,67	19,13	23,2
Micas	10,03	12,36	6,42	9,14	12,26	6,07	7,65
Q	42,70	41,86	47,42	40,61	40,94	41,66	43,56
FK	34,61	28,50	38,60	28,99	28,66	37,97	31,31
PL	22,68	29,63	13,98	30,40	30,39	20,36	25,12

4. PETROGRAFIA

4.1. Gneises centrales (tipo RN)

4.1.1. Facies interna

Mineralogía: Esenciales: cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa ácida (Ab-Olig), moscovita, biotita. Accesorios: apatito, circón, clorita, esfena, epidota. Accidentales: calcita, rutilo, hematites.

Textura: Las plagioclasas y el feldespato potásico se presentan a menudo como fenocristales relictos fracturados y con extinción ondulante, observándose que pertenecen por su morfología a la paragénesis original de la roca ígnea, de la que deriva el gneis. Aunque no se ha hecho un estudio sistemático, se puede afirmar que en estos minerales predominan las texturas de deformación sobre la recristalización. En algunos viejos cristales de cuarzo suelen verse subgranos e intensa recristalización de los bordes, además de una fuerte extinción ondulante. La textura de la roca puede considerarse como protoclástica, habiendo unos minerales que se deformaron frágilmente (fenocristales de feldespato) y otros que recristalizaron (cuarzo, biotita y probablemente algo de feldespato).

Cuarzo: Se presenta bien en grandes cristales (0,5 cm.) anhedrales, con extinción ondulante marcada y muy posiblemente de origen ígneo o bien recristalizado en granos de menor tamaño (1-2 milímetros), también con extinción ondulante. Pueden observarse todos los pasos intermedios de la recristalización, como son la aparición de subgranos o recristalizaciones incipientes en los bordes de antiguos cristales. En algunas láminas aparece cuarzo gráfico dentro de feldespatos originando las típicas texturas granofídicas.

Feldespato potásico: Aparece casi exclusivamente como fenocristales de hasta 3-4 cm., maclados normalmente Carlsbad, subidiomorfos y fracturados en numerosas ocasiones. La morfología de la microclina es, sin embargo, casi inexistente. Presenta abundantes pertitas, bien en venas, gotas o manchas. En ocasiones incluye cristales idiomorfos de plagioclasa, siendo ésta una textura ígnea relicta de la roca original.

Plagioclasa: Se trata siempre de plagioclasas ácidas. Forman corrientemente maclas polisintéticas en cristales subidiomórficos a menudo fracturados, con algunas maclas mecánicas, estando

a veces corroídas por otros minerales como el cuarzo. El tamaño de grano es menor que el del feldespato potásico, no llegando la mayoría de los cristales a 1 cm. La alteración da lugar a la formación de moscovita.

Biotita: Se presenta como cristales pretextónicos deformados (a veces poligonizados) o bien recristalizados a partir de viejos cristales (lo cual indica que la deformación muy probablemente se realizó en el campo de estabilidad de la biotita). Debido a la retrotransformación suele ir acompañada de esfena, epidota y opacos (principalmente rutilo y hematites). En otras ocasiones existe clorita neoformada. La ausencia de biotita en algunas áreas parece ser el resultado de la pobreza en Mg-Fe del sistema y no debido a que no se hayan alcanzado las condiciones de formación de la biotita durante el metamorfismo.

Moscovita: Aparece principalmente de forma intersticial entre los fenocristales, bien en pequeñas placas, acompañadas normalmente de una pasta sericítica, o bien en conjuntos radiales. En ambos casos parece ser neoformada.

Epidota: Además de la neoformada, a partir de la biotita hay cristales originados por desestabilización de la plagioclasa. Este mineral es más abundante en los gneises circundantes que en los de la parte central, lo que podría indicar que las reacciones se han llevado a cabo hasta ser completadas en esta zona debido posiblemente al efecto catalizador de la deformación sufrida, más intensa en los gneises circundantes que en el domo central.

Circón: Aparece como cristales prismáticos idiomórficos y es poco frecuente.

Apatito: Aparece como pequeños cristales aciculares idiomórficos con una parte central hueca o bien como fragmentos de mayor tamaño. En algún caso encierra circones en su seno. Los primeros son típicos de cristalizaciones ígneas a relativamente altas temperaturas (WYLLIE, COX y BIGGAR, 1962).

4.1.2. Facies de borde

Mineralogía: Los minerales más abundantes son: cuarzo, albita, feldespato potásico, moscovita, biotita y clorita.

Textura: Protoclástica, la deformación frágil parece haber sido más intensa que en el interior del macizo. En general se aprecia una disminución del tamaño de grano respecto a la facies interna, pudiendo definirse esta facies de borde como aplítica.

Cuarzo: Al igual que en la facies interna existen antiguos cristales de cuarzo y nuevos granos recristalizados, ambos con extinción ondulante. La deformación podría haber tenido aquí características algo distintas, ya que los granos de cuarzo están fracturados y la recristalización ha sido menor que en la facies interna. No obstante, dado el pequeño número de muestras observadas, estos datos no pueden generalizarse para toda la facies de momento.

Feldespato potásico: La proporción de este mineral disminuye mucho con respecto a la facies interna; prácticamente desaparecen los fenocris tales y sólo se observa feldespato potásico intersticial entre los granos de cuarzo y plagioclasa.

Plagioclasa: Se trata de cristales de albita de tamaño algo menor que en la facies interna. La proporción de plagioclasa es mayor que en aquella facies.

Micas: Existen pequeños fragmentos de antiguas biotitas recristalizadas formando menos del 1 por 100 de la roca. La moscovita es bastante más abundante, presentándose en pequeños cristales y, sobre todo, como mesostasis sericítica rellenando los intersticios existentes entre los granos de cuarzo y albita.

4.2. Gneises circundantes (tipo RE)

4.2.1. Facies interna

Mineralogía: Esenciales: cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, biotita, moscovita. Accesorios: apatito, circón, epidota, esfena, clorita, clinozoisita. Accidentales: calcita, hematites, rutilo.

Textura: A pesar de la heterogeneidad macroscópica, al microscopio se reconoce claramente una textura milonítica o en algún caso cataclástica.

Cuarzo: Prácticamente todo el cuarzo está recristalizado. Se trata de cristales alotriomorfos (0,5-1 mm.), cuyos bordes son en la mayoría de los casos netos, marcados a veces por impurezas. En ocasiones se pueden observar bordes serra-

dos que, aunque es una forma típica de subgranos, en este caso lo presentan granos ya recristalizados. Los cristales tienen extinción ondulante, lo que indica que han sufrido una deformación de baja temperatura posterior a la recristalización. En las zonas próximas a las micas puede verse cómo este mineral ha impedido el normal crecimiento del cuarzo recristalizado, occasionando granos más pequeños. Existe cuarzo granofídico similar al de los gneises RN.

Feldespato potásico: Se presenta principalmente en cristales subidiomorfos de hasta 2-3 cm. de longitud, de forma lenticular algunos y, en general, algo menos fracturados que en los gneises tipo RN.

Plagioclasa: Aparece en cristales subidiomórficos o alotriomórficos, algunos antipertíticos, de tamaño muy variable, presentando maclas mecánicas y extinción ondulante. Suelen estar bastante sericitizados, apareciendo epidota neoformada en ocasiones (sausuritización). También pueden observarse algunas estructuras en damero «chess board».

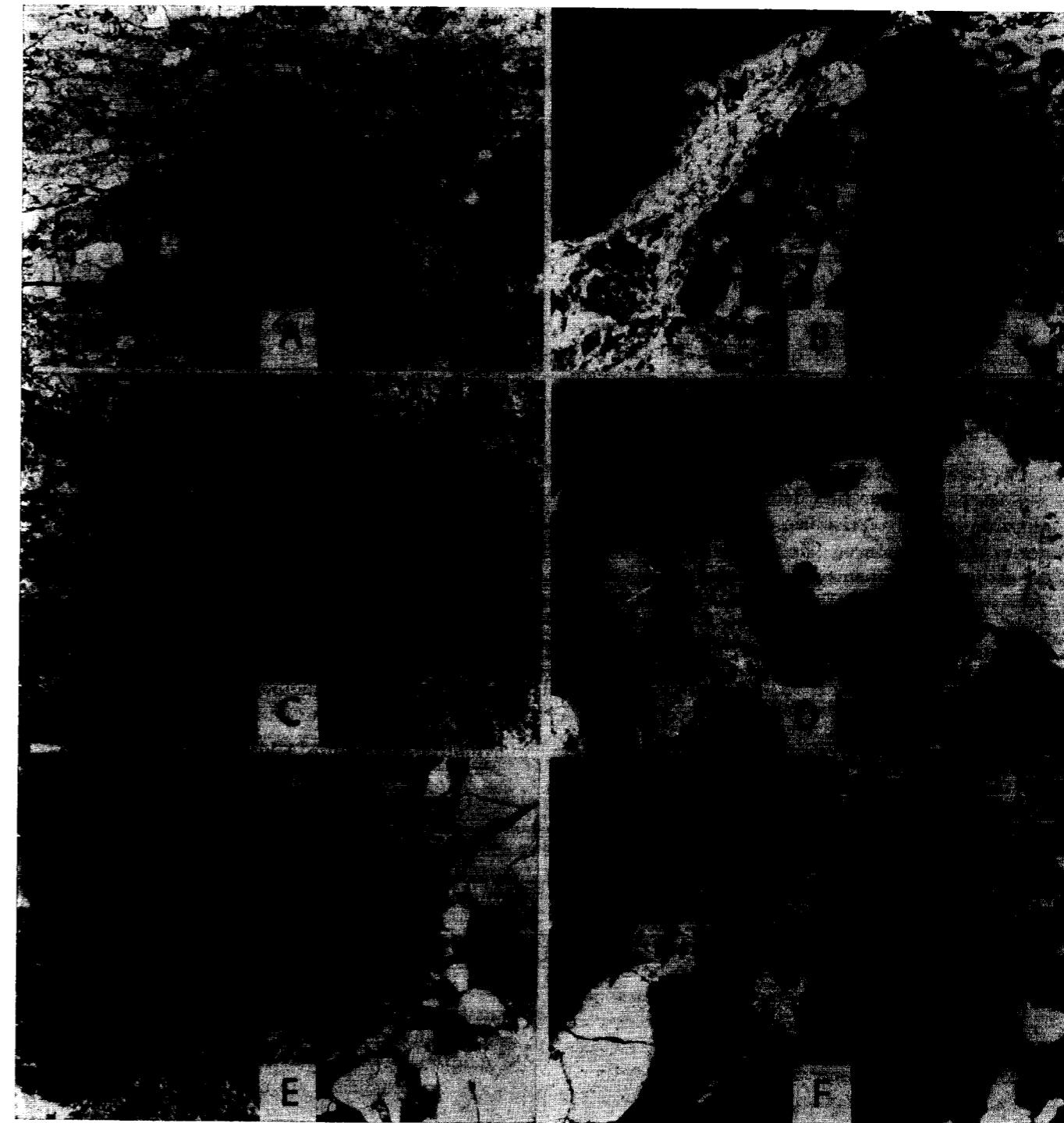
Moscovita: Aparece como pequeños cristales prismáticos según la dirección de la foliación o bien en crecimiento radial. Casi toda es neoformada; solamente algunos pequeños cristales incluidos en feldespatos potásicos podrían ser de moscovita primaria. La proporción de este mineral es bastante mayor que en los gneises RN.

Biotita: Aparece como cristales preTECTónicos, relictos de la roca ígnea original, de hasta 0,5 cm. Pueden ir acompañados de epidota, clinozoisita, hematites, rutilo y esfena. Solamente en las muestras de composición más básica aparecen a veces pequeños cristales neoformados de biotita metármica, los cuales situados entre granos de cuarzo y moscovita se disponen definiendo la dirección de la esquistosidad. En algunos sitios (principalmente en la zona S) las rocas, debido probablemente al químismo poco favorable, carecen de biotita.

Circón, apatito: Aparecen de modo similar a como lo hacen en los gneises RN.

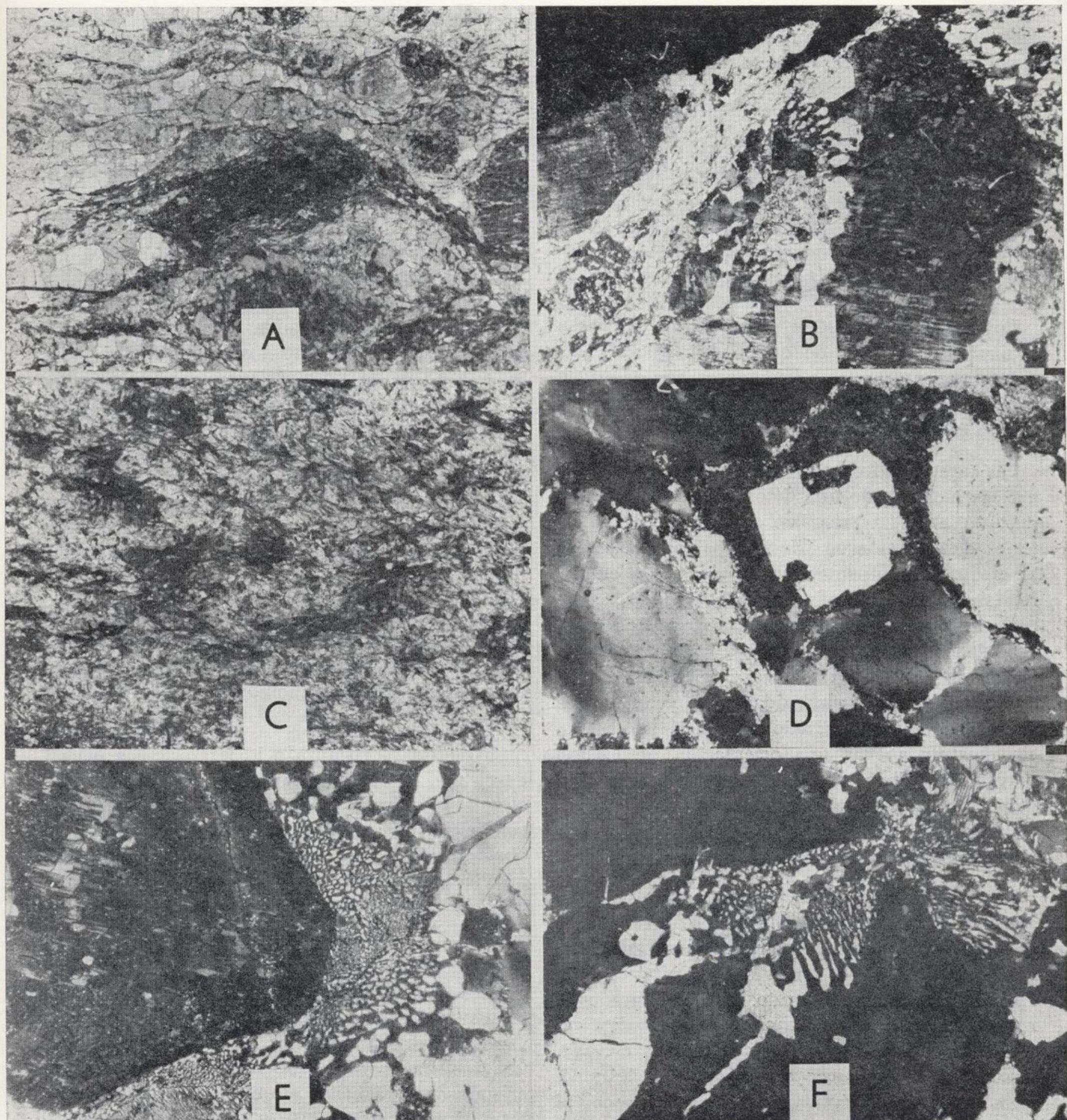
4.2.2. Facies de borde

La composición mineralógica es similar a la facies de borde de los gneises internos, no obs-



LAMINA I

A.—Gneis 'RE, biotita antigua dentro de la esquistosidad milonítica, que engloba también porfiroclastos de feldespato potásico tenidos, NP, 2,5X. B.—Gneis RE, intercrecimiento granofídico de cuarzo y feldespato potásico; puede verse también una zona clara formada por moscovita secundaria, NC, 2,5X. C.—Esquisto del contacto con los gneises RN; se observan óxidos y biotita formando una probable textura en nido perteneciente a un antiguo cristal de andaluzita o cordierita, NP, 2,5X. D.—Gneis RN, cristal de cuarzo ígneo indeformado subidiomórfico englobado en feldespato potásico. Nótense la aparición de subgranos en otros cristales de cuarzo fuera del feldespato, NC, 2,5X. E.—Gneis RN, textura granofídica desarrollada alrededor de un cristal de feldespato potásico, NC, 2,5X. F.—Gneis RN, intercrecimientos de cuarzo y feldespato potásico granofídicos, NC, 2,5X.



LAMINA I

A.—Gneis RE, biotita antigua dentro de la esquistosidad milonítica, que engloba también porfiroclastos de feldespato potásico teñidos, NP, 2,5X. B.—Gneis RE, intercrecimiento granofídico de cuarzo y feldespato potásico; puede verse también una zona clara formada por moscovita secundaria, NC, 2,5X. C.—Esquisto del contacto con los gneises RN; se observan óxidos y biotita formando una probable textura en nido perteneciente a un antiguo cristal de andalucita o cordierita, NP, 2,5X. D.—Gneis RN, cristal de cuarzo ígneo indeformado subidiomórfico englobado en feldespato potásico. Nótese la aparición de subgranos en otros cristales de cuarzo fuera del feldespato, NC, 2,5X. E.—Gneis RN, textura granofídica desarrollada alrededor de un cristal de feldespato potásico, NC, 2,5X. F.—Gneis RN, intercrecimientos de cuarzo y feldespato potásico granofídicos, NC, 2,5X.

tante, existe una variación mayor de textura y de tamaño de grano. Una muestra de esta facies presenta ciertas texturas que sugieren una mezcla de material de tipo subvolcánico con sedimentos no del todo consolidados. La presencia de círculos redondeados en esta muestra apoya la existencia de una mezcla con material sedimentario en este afloramiento.

4.3. Notas sobre los gneises

Los datos de campo y petrográficos permiten avanzar la hipótesis de que ambos gneises, los del domo central y los circundantes, son de origen ortoderivado y posiblemente pertenecen a una misma intrusión de tipo granítico.

Las características petrográficas indican que los gneises han sufrido una deformación en caliente, durante la cual recristalizó el cuarzo, y una posterior deformación en frío que habría producido la extinción ondulante de los granos de cuarzo recristalizados. Durante la recristalización se debieron alcanzar condiciones de la zona de la biotita, dados los cristales de este mineral neoformados observados en la roca y orientados según la dirección de la esquistosidad. No obstante, dado que el cuarzo recristalizado está poco deformado, sin mostrar apenas una orientación preferente, parece ser que la recristalización debió ser fundamentalmente de tipo estático (POIRIER, 1976), es decir, casi en ausencia de esfuerzos y debida principalmente al incremento de temperatura.

Los gneises de tipo RN presentan ante tan antiguos cristales de cuarzo con extinción ondulante y subgranos, además de granos recristalizados, mientras que en los gneises circundantes sólo aparece cuarzo recristalizado. El mayor grado de recristalización en los últimos podría deberse no a unas condiciones de temperatura más elevada, sino al hecho de poseer mayor cantidad de minerales hidratados, fundamentalmente moscovita (GRIGGS y BLACIC, 1964).

La elevada fracturación de los fenocristales en los gneises RN frente al aspecto de lentejones que presentan algunos cristales en los gneises RE sugiere para estos últimos unas condiciones de deformación más dúctil.

4.4. Esquistos

Debido a la similitud petrográfica y de composición química entre los esquistos de la serie de Canaveilles y los esquistos situados entre los dos tipos de gneises se describirán conjuntamente.

Mineralogía: Esenciales: cuarzo, plagioclasa, moscovita, biotita, pinnita, clorita. Accesorios: circon, esfena, calcita, epidota, rutilo, hematites. Accidentales: turmalina, magnetita.

Predominan las micas y el cuarzo, especialmente las primeras, excepto en algún nivel más felsico en donde predomina el cuarzo. Presentan la típica textura esquistosa con tamaño de grano muy fino. En las proximidades del contacto con los gneises aumenta el tamaño de grano debido al mayor grado de recristalización. Cerca del contacto la roca está más deformada, hecho que se deduce tanto a nivel mineralógico por estar el cuarzo más deformado, como por existir una crenulación penetrativa que transpone a la S_1 , siendo en esta zona posiblemente la S_2 la esquistosidad principal.

La roca próxima al contacto posee mayor cantidad de turmalina (posiblemente formada durante la intrusión del primitivo granito), la cual se presenta en cristales idiomórficos o en fragmentos.

La biotita recristaliza a lo largo de los planos de cizalla, lo cual indicaría que la deformación, al igual que en los gneises, se ha desarrollado en condiciones de estabilidad de este mineral. No obstante, dado que aparece incipientemente desarrollada, se puede decir que nos encontramos en el inicio de la zona de la biotita.

Facies de borde: En algunos sitios los primeros centímetros de esquistos en contacto con los gneises son diferentes del resto de la masa de esquistos. La textura se hace más isotropa, observándose óxidos dispuestos en lo que podría ser una textura en nido que representaría antiguos cristales de andalucita y/o cordierita pertenecientes a una roca nodulosa o cornubianítica deformada y retrógrada posteriormente. Los óxidos que actualmente se ven representarían los bordes de antiguos cristales. En ocasiones estos bordes podrían también estar formados por biotita. En el interior de los nidos se ve moscovita y cuarzo microcristalinos sin deformar, distintos de los



situados fuera de los nidos. Estos cristales podrían formarse a expensas de la andalucita según la reacción:



Biotita $\text{Fe} + \text{O}_2 + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{Moscovita} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Clorita}$ (Mg).

El hecho de que esta facies sólo aparezca en algunos contactos, podría deberse a que en otras zonas la posterior deformación y recristalización hercínica han borrado por completo las huellas de un metamorfismo de contacto anterior, especialmente si se tiene en cuenta que posiblemente se trata de una intrusión de un leucogranito, y por tanto a una temperatura no muy alta y que el diámetro del plutón es más bien pequeño.

4.5. Consideraciones paragenéticas. Condiciones del metamorfismo hercínico

La figura 4 muestra, en representaciones triangulares, subsistemas $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-NaAlO}_2\text{-KAlO}_2$ (SiO₂ presente en exceso) del sistema $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O-Na}_2\text{O-H}_2\text{O}$ junto con las paragénesis estables a diferentes condiciones de P y T. Las líneas de puntos o trazos continuos indican reacciones univariantes. Las paragénesis definidas mediante el análisis petrográfico corresponderían al triángulo (2a) por las siguientes razones:

No se ha observado andalucita, distena o granate.

Tampoco puede tratarse de una asociación con

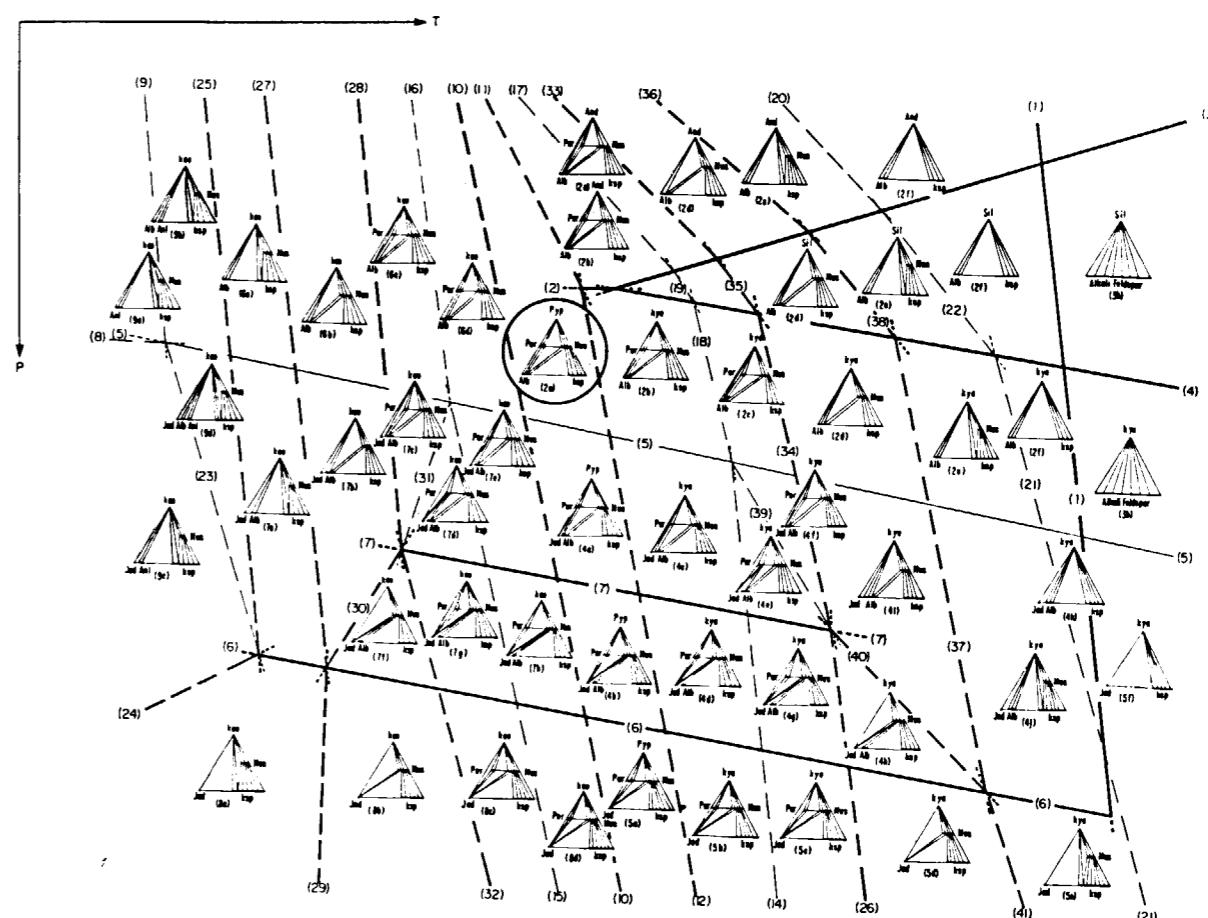


Figura 4.—Diagrama P-T con los campos de estabilidad de distintas paragénesis en el sistema $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-NaAlO}_2\text{-KAlO}_2$ según THOMPSON y THOMPSON (1976). Circunferencial: paragénesis de los gneises estudiados; And, andalucita; Sil, sillimanita; Kya, distena; Mus, moscovita; Anl, analcima; Jad, jadeita; Pyp, pirofilita; Kao, kaolinita.

caolinita, pues éstas corresponden a la facies de los esquistos verdes en la zona de la clorita (THOMPSON y THOMPSON, 1976) y en las rocas estudiadas se ha alcanzado el campo de estabilidad de la biotita.

En el sistema elegido las composiciones más alumináticas (esquistos) son susceptibles de tener pirofilita como indican las relaciones composición-paragénesis; sin embargo, este mineral no ha sido identificado por ser casi imposible su detección por métodos petrográficos. Falta, por tanto, comprobar por RX su existencia.

La figura 5 muestra la proyección de los gneises RN y RE en el triángulo (2a). Puede verse cómo todas las muestras se sitúan dentro del campo definido por la asociación mineral Ms-Ab-FK (más el cuarzo correspondiente, por estar el SiO_2 en exceso) lo que concuerda perfectamente con la paragénesis observada.

La zona de la biotita entra dentro del campo limitado por las reacciones (7), (10), (11), (12) (THOMPSON y THOMPSON, 1976). En las rocas estudiadas, durante el metamorfismo regional se habría producido la reacción (10), pero no se habrían alcanzado las reacciones (11) ó (12):

- (10) $\text{Kao} + \text{Qz} = \text{Pi} + (\text{H}_2\text{O})$
 (11) $\text{Pyp} = \text{And} + 3\text{Qz} + (\text{H}_2\text{O})$
 (12) $\text{Pyp} = \text{Kya} + 3\text{Qz} + (\text{H}_2\text{O})$

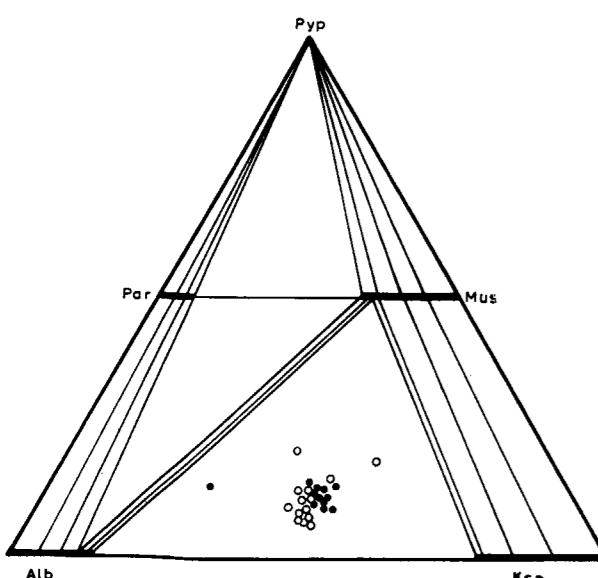


Figura 5.—Representación de los gneises en el triángulo de paragénesis (2a) de la figura 4.

5. GEOQUIMICA

Las tablas II, III y IV muestran los análisis realizados de los dos tipos de gneises y de los esquistos. Se dan además los porcentajes normativos (CIPW) y los porcentajes de félidos, máficos y anortita, así como de cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa recalcados a cien.

Es evidente la mayor homogeneidad de los gneises RN respecto a los RE, así como un bajo contenido en magnesio, principalmente por parte de los RN. La facies de borde en los gneises RN (RN27) muestra una notable disminución de K y un incremento de Na respecto a la facies interna.

En los diagramas, los gneises RN se representan por círculos negros, los RE por circunferencias y los esquistos mediante cruces. Las composiciones medias de cada tipo de roca se indican con un símbolo algo mayor.

En el diagrama de la figura 6, que muestra los campos composicionales para distintos tipos de rocas paraderivadas y la línea que siguen los productos de la serie de cristalización de Bowen, puede observarse:

- Todas las muestras de gneises se disponen adyacentes a la línea de cristalización magmática.
- Las muestras de los gneises RN se sitúan al final de la línea de cristalización, con composiciones muy homogéneas (en los estadios finales de la cristalización); las mues-

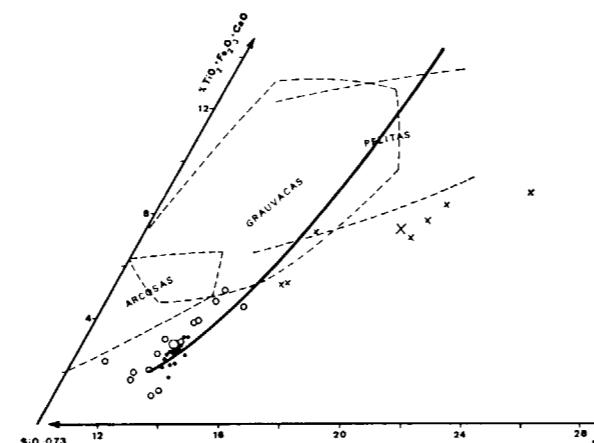


Figura 6.—Representación de los gneises y esquistos de Queralbs-Nuria en el diagrama de DE LA ROCHE (1965).

TABLA II
Gneises tipo RN

Núm. muestra	7	9	14	15	16	22	Núm. muestra	23	24	25	26	27	28
SiO_2	73,55	73,62	74,90	74,53	74,49	74,30	SiO_2	75,77	74,3	74,8	75,7	75,1	75,3
Al_2O_3	13,40	13,25	13,02	13,30	13,47	13,26	Al_2O_3	13,17	13,66	12,21	13,07	13,54	13,05
Fe_2O_3	2,19	2,24	1,74	1,63	1,67	2,03	Fe_2O_3	1,58	1,80	1,93	1,82	1,45	1,81
MnO	0,03	0,03	0,02	0,01	0,007	0,02	MnO	0,01	0,025	0,029	0,029	0,015	0,029
MgO	0,24	0,29	0,26	0,31	0,29	0,24	MgO	0,37	0,25	0,30	0,34	0,16	0,26
CaO	0,77	0,75	0,73	0,43	0,39	0,72	CaO	0,47	0,65	0,73	0,82	0,33	0,50
Na_2O	2,99	3,03	2,97	2,88	3,04	2,95	Na_2O	2,65	3,12	2,94	3,08	4,31	3,01
K_2O	5,16	4,97	5,06	5,12	4,98	5,10	K_2O	5,07	5,01	5,13	5,07	2,9	5,04
TiO_2	0,29	0,32	0,19	0,18	0,21	0,26	TiO_2	0,22	0,21	0,27	0,28	0,007	0,18
P_2O_5	0,08	0,09	0,09	0,09	0,10	0,09	P_2O_5	0,10	0,09	0,09	0,09	0,12	0,08
P. F.	0,67	0,69	0,87	0,83	0,70	0,62							
Q	34,64	35,20	36,58	37,07	36,78	35,99	Q	39,69	35,33	36,32	36,39	38,34	37,29
Or	30,49	29,37	29,90	30,25	29,43	30,13	Or	29,96	29,60	30,31	29,96	17,14	29,78
Ab	25,30	25,64	25,13	24,37	25,72	24,96	Ab	22,42	26,40	24,87	26,06	36,47	25,47
An	3,30	3,13	3,03	1,55	1,28	2,98	An	1,68	2,64	3,03	3,48	0,85	1,96
C	1,69	1,74	1,55	2,46	2,61	1,79	C	2,71	2,14	1,81	1,24	3,00	1,93
Hy	0,60	0,72	0,65	0,77	0,72	0,60	Hy	0,92	0,87	0,75	0,85	0,40	0,65
Il	0,06	0,06	0,04	0,02	0,01	0,04	Il	0,02	0,05	0,06	0,06	0,03	0,06
Ti	2,69	2,75	2,14	2,00	2,05	2,49	Ti	1,94	2,21	2,37	1,99	0,01	2,22
Ru	0,26	0,29	0,17	0,17	0,20	0,24	Ru	0,21	0,18	0,24	0,25	1,76	0,15
Ap	0,19	0,21	0,21	0,21	0,24	0,21	Ap	0,24	0,21	0,21	0,21	0,28	0,19
Total	99,21	99,11	99,39	98,87	99,04	99,45	Total	99,79	99,64	99,98	100,48	98,27	99,69
Félidos	95,42	95,08	96,18	95,69	95,82	95,86	Félidos	96,46	96,11	96,35	97,12	95,79	96,42
% An	11,53	10,89	10,77	5,96	4,75	10,68	% An	6,96	9,08	10,87	11,78	2,29	7,14
Máficos	3,80	4,04	3,21	3,18	3,23	3,58	Máficos	3,33	3,53	3,63	3,36	2,48	3,27
Q	36,96	37,72	38,65	39,76	39,45	38,26	Q	42,34	37,60	38,42	37,95	41,31	39,46
Or	32,53	31,46	31,59	32,45	31,57	32,03	Or	31,95	31,50	32,06	31,24	18,46	31,52
Pl	30,51	30,82	29,76	27,79	28,97	29,71	Pl	25,71	30,90	29,52	30,81	40,21	29,02

Rn 27: pertenece a la facies de Borde.

Análisis de elementos traza
(Datos en ppm)

Núm. muestra	7	9	14	15	16	22	Núm. muestra	23	24	25	26	27	28
Rb	199	214	214	209	240	209	Rb	219	172	199	188	219	199
Sr	35	38	48	65	68	66	Sr	44	90	59	62	61	49
Li	56	48	12	10	20	40	Li	28	16	27	27	15	61

- tras RE, en cambio, parecen abarcar un rango más amplio de la secuencia magmática y una mayor dispersión general.
- Existe una similitud geoquímica entre ambos tipos de gneises a nivel de elementos mayoritarios.
- La figura 7 muestra un diagrama de TAYLOR (1965) y SHAW (1968), en el que la línea inclinada de trazo continuo indica las relaciones típicas Rb-K y la tendencia general para productos pertenecientes a la serie magmática. En esta figura se puede observar:
 - Una separación de campos bastante marcada entre ambos tipos de gneises. No se ha

TABLA III
Gneises tipo RE

N.º muestra	1	2	3	4	5	6	7	N.º muestra	8	9	10	11	12	13	14
SiO ₂	74,16	70,67	76,0	78,5	74,9	71,25	74,0	SiO ₂	72,2	71,6	75,35	75,85	76,70	76,2	76,5
Al ₂ O ₃	12,69	13,81	12,74	11,10	13,25	14,69	13,31	Al ₂ O ₃	13,40	13,66	13,25	13,46	12,79	12,34	12,28
Fe ₂ O ₃	2,27	3,68	1,83	1,46	2,05	2,63	2,45	Fe ₂ O ₃	2,40	2,74	0,73	0,82	1,60	1,21	1,64
MnO	0,18	0,66	0,44	0,31	0,37	0,049	0,029	MnO	0,041	0,045	0,015	0,022	0,043	0,028	0,025
MgO	0,41	0,91	0,38	0,36	0,44	0,61	0,59	MgO	0,65	0,66	0,22	0,22	0,34	0,25	0,35
CaO	0,83	2,14	0,77	0,93	0,85	1,39	0,97	CaO	1,16	1,46	0,32	0,28	0,31	0,45	0,27
Na ₂ O	3,40	2,82	3,05	1,68	3,05	2,97	3,55	Na ₂ O	3,25	3,28	3,52	3,50	3,19	3,20	3,16
K ₂ O	4,78	3,84	4,74	4,50	4,89	5,57	4,72	K ₂ O	4,94	4,82	5,19	5,10	4,80	5,05	4,7
TiO ₂	0,14	0,32	0,10	0,06	0,25	0,48	0,44	TiO ₂	0,42	0,44	0,08	0,12	0,14	0,10	0,14
P ₂ O ₅	0,04	0,08	0,04	0,03	0,03	0,05	0,04	P ₂ O ₅	0,05	0,06	0,05	0,02	0,04	0,02	0,04
Q	35,01	33,87	38,03	49,08	36,07	28,92	32,46	Q	31,05	30,15	34,16	35,12	38,73	37,00	39,16
Or	26,41	22,69	28,01	26,59	28,89	32,91	27,89	Or	29,25	28,48	30,67	30,13	28,36	39,84	27,77
Ab	28,77	23,86	25,81	14,21	25,81	25,13	30,04	Ab	27,50	27,75	29,78	29,61	26,99	27,07	26,74
An	3,86	10,09	3,56	4,42	4,02	6,57	4,55	An	5,43	6,85	1,26	1,26	1,28	2,10	1,08
C	0,85	1,32	1,29	1,85	1,47	1,37	0,69	C	0,71	0,54	1,38	1,72	1,88	0,84	1,60
Hy	1,02	2,27	0,95	0,90	1,10	1,52	1,47	Hy	1,62	1,64	0,55	0,55	0,85	0,62	0,87
Il	0,04	0,14	0,09	0,07	0,08	0,10	0,06	Il	0,09	0,10	0,03	0,05	0,09	0,06	0,05
Ti	2,79	4,52	2,25	1,79	2,52	3,23	3,01	Ti	2,95	3,36	0,90	1,01	1,96	1,49	2,01
Ru	0,12	0,25	0,05	0,03	0,21	0,43	0,41	Ru	0,37	0,39	0,06	0,10	0,09	0,07	0,11
Ap	0,09	0,19	0,09	0,07	0,07	0,12	0,09	Ap	0,12	0,14	0,12	0,05	0,09	0,05	0,09
Total	98,96	99,19	100,12	99,00	100,22	100,30	100,679	Total	99,08	99,40	98,90	99,59	100,33	99,13	99,49
Félsicos	94,90	91,83	96,69	96,15	96,25	94,90	95,63	Félsicos	93,93	93,76	97,24	97,84	97,24	96,85	96,35
% An	11,82	29,73	12,12	23,71	13,48	20,72	13,16	% An	16,49	19,80	4,06	4,08	4,52	7,20	3,88
Máficos	4,06	7,36	3,43	2,85	3,97	5,40	5,04	Máficos	5,14	5,63	1,66	1,74	3,09	2,28	3,14
Q	37,23	37,42	39,86	52,05	38,05	30,92	34,19	Q	33,31	22,34	35,63	36,53	40,61	38,53	41,32
Or	28,08	25,07	29,36	28,20	30,48	35,19	29,38	Or	31,37	30,55	31,99	31,34	29,74	31,08	29,31
Pl	34,69	37,51	30,78	19,76	31,47	33,89	36,43	Pl	35,32	37,12	32,37	32,12	28,30	30,09	29,36

TABLA IV
Esquistos

Análisis de elementos traza (Datos en ppm)							
N.º muestra	1	2	3	4	5	6	7
Rb	160	159	168	192	161	195	195
Sr	94	76	63	49	66	118	94
Li	9	26	8	8	4	29	22
N.º muestra	8	9	10	11	12	13	14
Rb	178	152	161	188	157	157	152
Sr	100	115	63	35	39	56	69
Li	19	17	7	5	10	9	15

Muestras 1, 2, y 3, pertenecen al paquete de esquistos situados entre ambos tipos de gneises (3 es de un nivel cuarcítico).
Muestras 4, 5, 6 y 7 son de esquistos situados en el exterior del macizo.

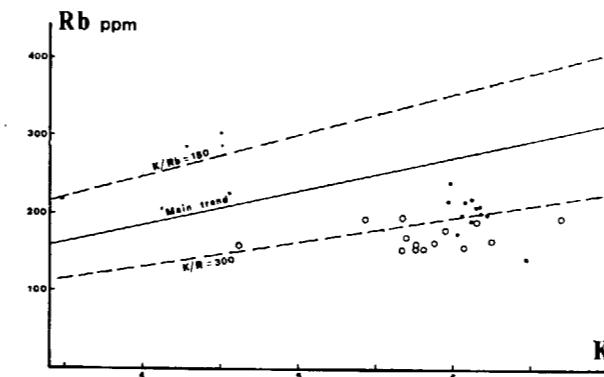


Figura 7.—Representación de las muestras analizadas en el diagrama Rb-K.

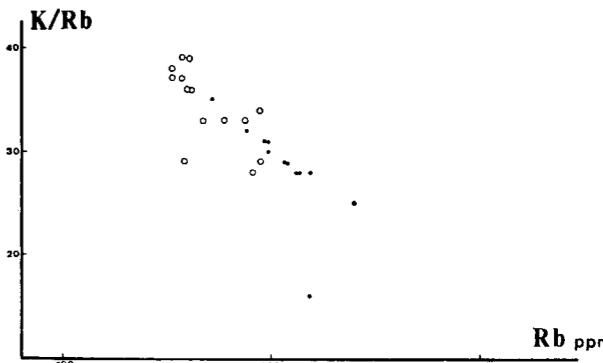


Figura 8.—Representación de los gneises de Queralbs-Nuria en el diagrama K/Rb-Rb de STAUVROV (1971).

llegado a una conclusión acerca del porqué de esta separación, aunque se señalan como probables las siguientes hipótesis:

- Que los gneises RE hayan sufrido una mezcla parcial con el encajante.
- Que los gneises RE correspondan a unas composiciones magmáticas ligeramente distintas, intruidas algo posteriormente a RN, aunque pertenecientes a la misma serie magmática. Ambas hipótesis son compatibles, además, con la mayor heterogeneidad, tanto textural como química observada en los gneises RE.
- El campo composicional de RE es mayor que el de RN, en concordancia con lo visto en el anterior diagrama.
- La relación Rb/K es algo baja, sobre todo en los gneises RE.
- Los gneises RE se disponen según la tendencia típica de las rocas magmáticas. En los gneises RN la tendencia no se observa debido a la homogeneidad de estas rocas.

La figura 8 (STAUVROV, 1971) muestra que la variación decreciente en la relación K/Rb al incrementarse el Rb (medida en el total de la roca o en biotitas) es típica de granitos procedentes de complejos diferenciados, mientras que una relación creciente al incrementarse el Rb la presentan granitos anatécicos. En el caso considerado, puede verse una perfecta alineación en el sentido decreciente en los gneises RN (excepto en la muestra de borde); las muestras RE muestran la misma tendencia, aunque de un modo menos claro, quizás debido a procesos postmagmáticos, por lo que ambos granitos (de los que

derivarían los gneises) se habrían formado a partir de un magma diferenciado.

6. ASPECTOS PETROGENETICOS

Teniendo en cuenta que según los datos petrográficos y geoquímicos los gneises estudiados (principalmente los RN) parecen estar formados a partir de granitos derivados de fundidos de composición próxima al eutéctico, en este apartado se ha utilizado el sistema Qz-Ab-Or-H₂O y datos experimentales de varios autores para averiguar más exactamente algunas características del macizo y sus condiciones de formación.

Dadas las distintas condiciones en las que se han obtenido algunos de los datos experimentales respecto a los supuestos para el macizo, los resultados han de tomarse sólo como aproximados.

6.1. Condiciones de presión

La proyección sobre el plano Qz-Ab-Or de las líneas cotécnicas isobáricas a 2, 4 y 7 Kb (fig. 9) y la proyección sobre ellas de las muestras de gneises permiten indicar lo siguiente:

- Las muestras pertenecientes a los gneises RN se encuentran muy agrupadas entre los trazos de las líneas cotécnicas pertenecientes a 2 y 4 Kb.
- Unicamente la muestra RN 27, perteneciente a la facies de borde, sufre una dispersión considerable respecto a las demás debido a su enriquecimiento en albita y empobrecimiento en ortosa. Podría tratarse de un eutéctico cristalizado a baja temperatura

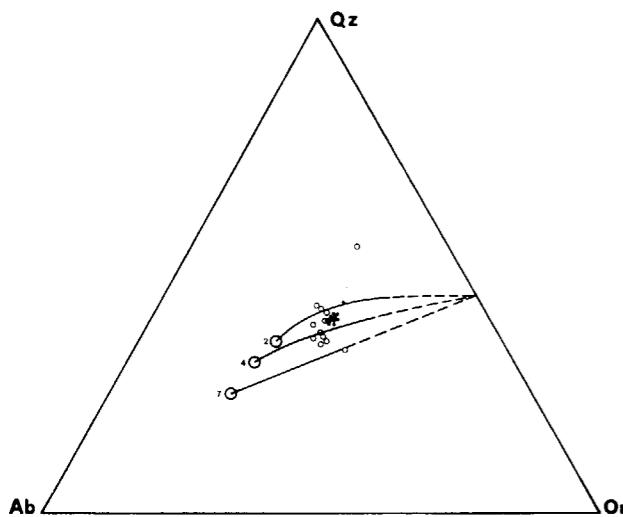


Figura 9.—Representación de los gneises RN (círculos negros) y RE (circunferencias) en el triángulo Qz-Ab-Or. Proyección de las líneas cotécticas isobáricas para 2,4 y 7 Kb según WINKLER (1978).

(WINKLER, 1978), o bien dicha composición se debe a procesos postmagnéticos (migración del Na del encajante al borde del gneis), no pudiendo con los datos actuales establecerse concretamente las causas.

— Dado que los datos petrográficos parecen indicar que la intrusión se realizó a una presión inferior a los 3 Kb, que es la media indicada por el diagrama, pueden establecerse dos hipótesis:

a) Que realmente la intrusión haya cristalizado entre los 2 y 4 Kb señalados en el diagrama y la composición de la roca esté muy cercana al mínimo térmico para una relación $Ab/An=7,6$.

b) Que las apreciaciones petrográficas sean ciertas y que la recristalización haya tenido lugar a presiones más bajas, que podrían ser 2 Kb o incluso menores. En este caso las composiciones presentadas se deberían a un enriquecimiento en ortosa, como consecuencia de la cristalización en el campo de la ortosa. Es decir, no nos encontraríamos ante un fundido situado en o muy próximo a la línea cotéctica, sino que durante un intervalo decreciente de temperatura de algunas decenas de grados habría cristalizado ortosa, evolucionando el líquido a lo largo de una superficie coté-

tica hasta una línea cotéctica que podría ser la de 2 Kb o una presión algo menor, cristalizando a partir de ese punto las tres fases sólidas. En la roca actualmente tendríamos, pues, la suma de las fases cristalizadas a lo largo de todo el proceso.

— En cuanto a los gneises tipo RE vemos que presentan una dispersión de puntos algo mayor, encontrándose las proyecciones repartidas entre las líneas cotécticas pertenecientes a 2 y 7 Kb en este caso, dadas las pequeñas dimensiones del cuerpo magmático estudiado es evidente que o nos encontramos ante unas composiciones magmáticas heterogéneas, alejadas en su mayoría de la composición del «fundido mínimo» o el magma ha variado su composición inicial por asimilación del encajante u otros procesos. En cualquier caso no creemos que tenga las características necesarias para someterlo al estudio que a continuación se hace para los gneises RN.

6.2. Consideraciones sobre las composiciones de las muestras

Si se compara la tabla V de VON PLATTEN (1965) para 2 Kb, en la que se exponen las diferentes composiciones de los fundidos mínimos, sus relaciones Ab/An y las temperaturas de formación correspondientes, con la tabla VI elaborada a partir de las muestras de los gneises tipo RN, puede observarse que esta última muestra unas relaciones Ab/An similares o por encima de 7,8 y unas composiciones muy parecidas entre sí, lo que de acuerdo con los datos de VON PLATTEN

indica que todas las muestras debieron cristalizar a una temperatura muy similar (excepto la RN 27, de la que ya se ha hablado). También se ve que para una misma relación Ab/An las muestras estudiadas presentan un considerable enriquecimiento en ortosa, paralelo a un empobrecimiento en albita respecto a las composiciones representativas de los fundidos mínimos.

Estas consideraciones confirmarían la segunda hipótesis expuesta en el apartado anterior. Debido a que la composición de las muestras no es la del fundido mínimo, la temperatura de cristalización tuvo que ser superior a los 675°C , que es la que se da en la tabla V para relaciones Ab/An similares a las de los gneises RN.

6.3. Condiciones de temperatura

Para establecer de modo más aproximado la temperatura de cristalización del magma se ha utilizado el diagrama experimental de WINKLER (1978) de la figura 10, donde se expresan las temperaturas de fundidos situados en las superficies

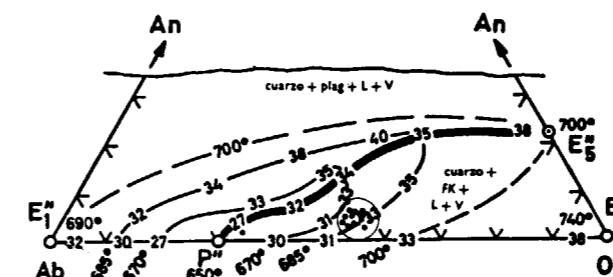
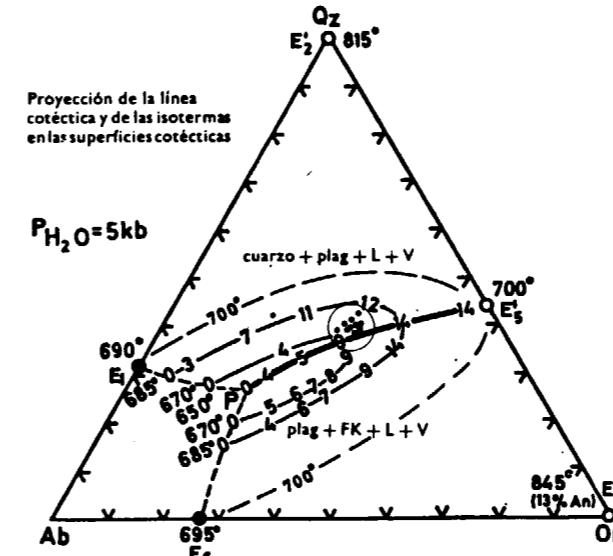


Figura 10.—Proyección de los gneises sobre las superficies cotécticas en los triángulos Qz-Ab-Or y Or-Ab-An. Las líneas de trazos representan las proyecciones sobre dichas superficies de las diferentes isoterms. Los números en las isoterms expresan el contenido en anortita (triángulo superior) y en cuarzo (triángulo inferior) del fundido, ambos en porcentaje en peso. La situación de la mayoría de las muestras proyectadas se ha indicado mediante una circunferencia en cada superficie.

cotécticas del sistema Qz-Ab-Or-H₂O, en las cuales coexisten dos fases sólidas junto a las fases fluidas. El diagrama se da para 5 Kb y es aproximado para condiciones entre 10 y 3 Kb. Suponiendo que las condiciones de intrusión en el plutón estudiado fueron menores o igual a 2 Kb habría que tener en cuenta un ligero incremento del contenido en cuarzo que sufren las composiciones de las rocas en esas condiciones. Como se ha visto en el anterior diagrama, la línea cotéctica de 2 Kb cae por encima de las proyecciones de las muestras, es decir, que a esa presión las proyecciones caerían sobre la superficie cotéctica Pl-FK-L-V en el diagrama superior de la figura 10. En el diagrama inferior de la figura 10, en cambio, es el cuarzo el polo de proyección, siendo por tanto esta representación más adecuada para proyectar las muestras estudiadas. Estas caen en un campo en el que a 5 Kbar le correspondería un porcentaje en cuarzo del orden del 31-33 por 100, por tanto el 38-40 por 100 real que se tiene en las rocas estudiadas coincide con el aumento de cuarzo, señalado anteriormente para presiones menores de 3 Kbar.

El bajo porcentaje de albita existente en la roca (recuérdese la comparación entre las tablas V y VI) indica que ésta debió cristalizar

TABLA V

Relación Ab/An	$t^{\circ}\text{ en }^{\circ}\text{C de fundido mínimo}$	Relación de composiciones de «fundido mínimo»	
		Qz : Ab : Or	$t^{\circ}\text{ en }^{\circ}\text{C de fundido mínimo}$
∞	670	34 : 40 : 26	
7,8	675	40 : 38 : 22	
5,2	685	41 : 30 : 29	
3,8	695	43 : 21 : 36	
2,9	695	44 : 19 : 37	
1,8	705	45 : 15 : 40	

TABLA VI

N.º muestra (RN)												
	7	9	14	15	16	22	23	24	25	26	27	28
Ab/An	7,6	8,2	8,3	15,7	20,1	8,4	13,3	10	8,2	7,5	42,9	12,3
Q	38	39	40	40	40	40	43	39	40	39	42	40
Ab	28	28	27	27	28	27	24	29	27	28	40	28
Or	34	33	33	33	32	33	33	32	33	33	19	32

probablemente en las inmediaciones (es decir, en el campo FK-L-V) o en la misma superficie cotéctica Qz-FK-L-V representada en el diagrama inferior.

De acuerdo con lo anterior la temperatura de cristalización habría tenido lugar alrededor de los 680°C, en el caso de que la cristalización se hubiese producido sobre la misma superficie cotéctica a 5 Kb de presión. En el caso, también probable, de que parte de la cristalización hubiera tenido lugar en el campo de la ortosa, la temperatura habría sido ligeramente más elevada. Por otra parte, los datos empleados en los diagramas experimentales son para magmas saturados en agua, y dada la pequeña cantidad de moscovita observada en los gneises, sobre todo en los de tipo RN, es posible que el magma fuera pobre en agua y que por tanto cristalizara a temperatura algo superior a la antes expuesta. Finalmente hay que señalar que al no cristalizar el magma a 5 Kb, sino a una presión igual o menor a 2 Kb, habría un incremento en la temperatura de cristalización debido a esta menor presión, por tanto puede indicarse que como mínimo la temperatura de cristalización debió ser igual o superior a los 700°C.

7. RESULTADOS

Los datos expuestos permiten establecer una serie de conclusiones generales y avanzar una serie de hipótesis:

- Los datos petrográficos, e. g. circones idiomórficos, cuarzo primario subidiomorfo, apatitos aciculares, la composición mineralógica, la naturaleza del feldespato en macla de Carlsbad y sobre todo algunas texturas, tales como las inclusiones de plagioclásas subidiomorfás en feldespato potásico, cuarzo corroyendo a este mineral, cuarzos granofídicos, etc., sugieren un origen ígneo para ambos tipos de gneises. Esta hipótesis está corroborada también por la composición química de ambos gneises, así como por las representaciones geoquímicas y los datos de campo (bordes nítidos, presencia de algún filón aplítico y de xenolitos, etc.).
- Los gneises tienen una composición química y mineralógica típica de un leucogranito. En
- los tipos RN existe una gran homogeneidad química, textural y mineralógica, existiendo un rango mayor de composiciones y variedades texturales en los del tipo RE. En estos últimos las composiciones más básicas parecen situarse al NO del plutón. Las texturas granofídicas y la composición química de los gneises sugieren la posibilidad de un magma emplazado superficialmente, estimándose una presión para el emplazamiento igual o menor a 2 Kb.
- Los datos de campo, así como los petrográficos, que indican la existencia probable de un metamorfismo de contacto en los esquistos, sugieren que se trata de una intrusión deformada posteriormente. La presencia de rocas mezcla en el borde de los gneises RE, así como la escasez de enclaves podrían indicar que el magma se inyectó en presencia de unos sedimentos no muy consolidados. De confirmarse esta hipótesis su emplazamiento no pudo ser muy posterior a la sedimentación de las series de Jujols y Canaveilles, por lo que podría adelantarse una edad de intrusión probablemente Cambro-Ordovícica.
- Los datos geoquímicos indican que el plutón probablemente pertenece a una serie diferenciada, hipótesis que concuerda con sus pequeñas dimensiones y su emplazamiento geológico. El magma granítico originario de los gneises RN debió empezar a cristalizar en las proximidades o en la misma superficie cotéctica Qz-Or-L-V perteneciente al sistema Qz-Ab-Or-An-H₂O. La temperatura de cristalización de dicho magma debió ser como mínimo de unos 700°C, siendo algo menor para la facies de borde.
- Durante el metamorfismo hercínico se alcanzó la facies de los esquistos verdes y más concretamente las condiciones para la formación de la biotita. La deformación en los gneises RE debió ser más intensa y dúctil que en los RN, probablemente debido en parte a una mayor cantidad de agua en los primeros y a formar un cuerpo de menores dimensiones.
- Según lo anteriormente expuesto, la interpretación clásica del área estudiada podría

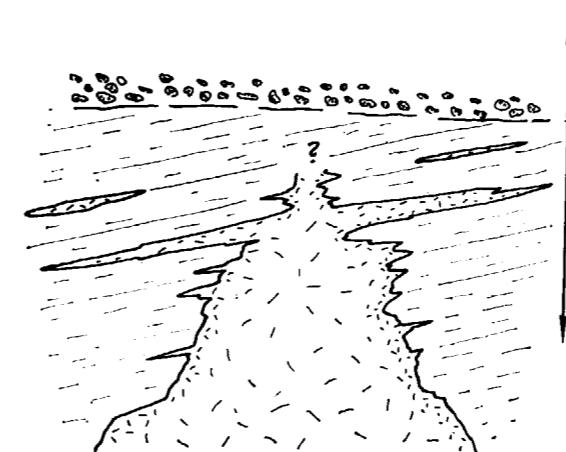


Figura 11.—Modelo hipotético para el emplazamiento del granito (cf. texto). A, Caradoc; B, Cambro-Ordovícico (JUJOLS y CANAVEILLES).

modificarse ligeramente: los esquistos de transición considerados como pertenecientes a la serie de Caranca corresponderían también a la serie de Canaveilles; asimismo, los gneises centrales considerados hasta ahora como zócalo cristalino y los gneises circundantes considerados como paragneises deben considerarse como ortoderivados ambos y pertenecientes a una misma unidad intrusiva. En la figura 11 se expone el esquema de un hipotético modelo sobre cómo y en qué condiciones puede haberse realizado la intrusión del granito. Cabe señalar que la presencia de rocas ígneas ácidas dentro de los sedimentos de edad Caradoc en las proximidades del área estudiada (granófido de RIBAS DE FRESER) podría ser interpretada como perteneciente al mismo episodio magmático que origina la intrusión de Nuria-Queralbs; según esto, el magmatismo ácido tendría una edad Caradoc, igual a la de los sedimentos en los que se encuentra.

AGRADECIMIENTOS

Agradeçemos especialmente al Dr. R. VAQUER, del Departamento de Petrología y Geoquímica de la Universidad Central de Barcelona, las facilidades dadas para la realización de los análisis químicos, así como las sugerencias y comentarios durante la elaboración del trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- DE LA ROCHE, H.: *Sur l'existence de plusieurs facies géochimiques dans les schistes paléozoïques des Pyrénées luchonnaises*. Geologische Rundschau, pp. 274-301 (1965).
- GRIGGS, D. T., and BLACIC, J. D.: *The strength of quartz in the ductile regime*. Abstract, Trans. Am. Geophys. Union, pp. 102-103 (1964).
- GUITARD, G.: *Le métamorphisme hercien mésozonal et les gneises oeillés du massif du Canigou (Pyrénées orientales)*. Thèse. Mem. du B. R. G. M., 317 pp. (1970).
- NICOLAS, A., y POIRIER, J. P.: *Crystalline Plasticity and Solid State Flow in Metamorphic Rocks*. John Wiley & Sons, 444 pp. (1976).
- ROBERT, J. F.: *Etude géologique et métallogénique du val de Ribas sur le versant espagnol des Pyrénées catalanes*. Thèse Univ. de Franche-Comté, núm. 51, 294 pp. (1980).
- SANTANACH PRAT, P. F.: *Estudi tectònic del Paleozoic inferior del Pirineu entre la Cerdanya i del riu Ter*. Tesis. Fund. Salv. Viv. Casajuana, 133 pp. (1974).
- SHAW, D. M.: *A review of K-Rb fractionation trend by covariance analysis*. Geochim. Cosmochim. Acta 32, 6, pp. 573-601 (1968).
- STAUROV, O. D.: *Ore content in granite and geochemistry of rubidium*. Geochem. Internat. 8, pp. 739-754 (1971).
- STRECKEISEN, A. L.: *Classification and nomenclature of igneous rocks*. Neues Jahrb. Mineral. 107, pp. 140-144 (1967).
- TAYLOR, S. R.: *The application of trace element data to problems in petrology*. Physics and chemistry of the earth. Oxford Perg. Press, vol. 6, pp. 133-214 (1965).
- THOMPSON, J. B., and THOMPSON, A. B.: *A Model System for Mineral Facies in Pelitic Schists*. Contr. Min. Petrol. 58, pp. 243-277 (1976).
- WINKLER, H. G. F.: *Petrogenésis de rocas metamórficas*. Ed. Blume, 4.ª ed., 345 pp. (1978).
- WYLLIE, P. J.; COX, K. G.; BIGGAR, G. M.: *The habit of apatite in synthetic systems and igneous rocks*. Journ. Petrol. (3), pp. 238-243 (1962).



Trabajo realizado en el marco del Proyecto IGCP número 5 (Prevariscan and Variscan events of the Alpine-Mediterranean mountain belt).

Recibido: Abril 1982

ESTUDIO DE MINERALES Y ROCAS

Sobre la determinación de la edad absoluta de rocas ígneas por el método de la dispersión de la birrefringencia.

Por P. P. GIL, A. PESQUERA y F. VELASCO (*)

RESUMEN

Las medidas del coeficiente de dispersión de la birrefringencia, en plagioclásas de rocas ígneas, permiten establecer una correlación lineal con las edades absolutas de las rocas previamente datadas con otros métodos conocidos. El uso de este método geocronológico exige controlar las diferentes fuentes de error para evitar resultados incorrectos.

ABSTRACT

Variation of the dispersion birrefringence coefficient of the plagioclase crystals of igneous rocks allows to establish a linear relationship with the argon content of the mineral in rocks of known ages. To use this dating method some sources of error have been controlled to avoid incorrect results.

INTRODUCCION

El interés por conocer la edad de las rocas ha sido resuelto por diferentes métodos, unos relativos de orden estratigráfico, y otros absolutos, entre los que se encuentran las medidas radiométricas K/Ar o Rb/Sr. Estos últimos, que ofrecen resultados más fiables y precisos, exigen la utilización de equipos sofisticados de alto coste, no siempre al alcance de cualquier laboratorio geológico.

Para evitar estos inconvenientes, KUZNETSOV (1961) y CHIBUKCHJAM (1963) propusieron un método de datación absoluta basado en la variación del coeficiente de dispersión de la birrefringencia (K_D) de algunos minerales respecto a su edad, siendo las plagioclásas las que ofrecen los mejores resultados. En estos feldespatos se ha comprobado la existencia de una relación entre este coeficiente y el contenido K/Ar y, por tanto, con su edad.

No obstante, a pesar de la simplicidad del método descubierto por los autores rusos, su acceso-

bilidad, relativa rapidez y bajo costo, ha sido hasta ahora muy poco utilizado, limitándose algunos autores a comprobar simplemente su validez. PIBOULE y VACHETTE (1965) lo ensayaron, sin utilizar dispositivo fotométrico, con rocas volcánicas datadas estratigráficamente y granitos datados por el método Rb/Sr. Posteriormente, GUIMARÃES (1967) y TINAO (1978) lo aplicaron a granitos del Brasil y del macizo hespérico, respectivamente, datados con los métodos K/Ar y Rb/Sr. En la tabla I se exponen los diferentes filtros utilizados por los citados autores, las correlaciones encontradas y el intervalo de edad investigado.

En este trabajo nos hemos propuesto examinar el carácter de la relación existente entre el coeficiente de dispersión de la birrefringencia de las plagioclásas de diversas rocas ígneas previamente datadas y su edad.

DEFINICION Y MEDIDA DEL K_D

KUZNETSOV (1961), partiendo de que la birrefringencia de los minerales es sensible a las variaciones de composición química, entre otros factores,

(*) Departamento de Cristalografía y Mineralogía. Facultad de Ciencias. Universidad del País Vasco. Apartado 644. Bilbao.

TABLA I
Correlaciones K_D -T establecidas para diferentes condiciones de trabajo.

Autores	Filtros		Correlación	Intervalo de edad estudiado (en MA)
	λ_1	λ_2		
CHIBUKCHJAM (1963)	457	718	—	Hasta 160
PIBOULE y VACHETTE (1965) ...	440	660	$K_D = 0.0004215 T + 1.475$	Hasta 600
GUIMARÃES (1967)	488	657	$K_D = 0.000269 T + 1.335$	Hasta 2.000
TINAO (1978)	440	660	$K_D = 0.0004215 T + 1.475$	Hasta 600

propuso como coeficiente de dispersión de la birrefringencia, K_D , la relación de retardos R_1/R_2 , para dos longitudes de onda extremas, λ_1 y λ_2 , correspondientes a los extremos azul y rojo, respectivamente. Este coeficiente tiene la ventaja de que hace la medida independiente de las variaciones de espesor del mineral:

$$K_D = \frac{R_1}{R_2} \times \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$$

La medida de los retardos debe realizarse con la ayuda de un compensador de Berek, sobre secciones delgadas de plagioclásas. Estas deben presentarse de tal forma que el plano $\gamma-\alpha$ se disponga perpendicular al eje óptico del microscopio, operación que debe efectuarse con la ayuda de una platina universal.

El dispositivo microfotométrico del que nos hemos servido, colocado sobre un microscopio Ortholux-Pol (Leitz), está formado por un sistema MPV y filtros de longitudes de onda de 434 y 618 nm. Las medidas se realizaron con el objetivo 32× de apertura numérica 0,30. De las láminas delgadas seleccionadas, se estudiaron un mínimo de diez plagioclásas/lámina, siendo en cada una de ellas medida la birrefringencia, alrededor de veinte veces para cada extremo del espectro. El área fotometrada, aunque variable según el tamaño de la plagioclás, fue del orden de $5 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$.

FUENTES DE ERROR Y PRECISION DE LAS MEDIDAS

Los errores sistemáticos en las medidas de birrefringencia, provienen fundamentalmente de factores instrumentales que afectan al fotomultiplicador (efectos glare, falsa luz, inestabilidad de la lámpara de iluminación, etc.). Estos errores pueden no ser tenidos en cuenta, ya que afectan a todas las medidas y en el mismo sentido.

Sin embargo, entre los errores estadísticos que provienen de la dispersión de los resultados alre-

dedor de una media, tenemos algunos de gran importancia que conviene minimizar. Entre los más importantes están los derivados de la repetición de las medidas en cada plagioclás y entre distintos cristales de una misma roca, causados por las dificultades de una correcta orientación de la plagioclás en la platina y los propios del uso del compensador giratorio —menores del 2 por 100 para ángulos de giro no superiores a 10° - 20° . Ángulos de inclinación de los ejes NS y EO de la platina elevados, provocan un aumento en el error de las medidas; han sido desestimados los cristales que exigían un ángulo de giro de $\pm 15^\circ$. Otros errores se producen por las modificaciones del contenido en argón durante la historia de la roca.

La desviación standard de las numerosas medidas de K_D realizadas, no suele superar el 1 por 100, en la mayoría de las muestras (tabla II); las plagioclásas con cualquier síntoma de alteración o deformación no han sido investigadas. Para cada roca, el error standard en el cálculo del coeficiente de dispersión de la birrefringencia, ha sido estimado en 0,15 por 100. Es decir, para un intervalo de confianza del 95 por 100, el valor del coeficiente a medir es $K_D \pm 2\sigma$, que representa sólo un $\pm 0,3$ por 100. Esto hace que la precisión relativa de nuestras medidas pueda estimarse en 0,5 por 100 aproximadamente.

RESULTADOS

Utilizando ocho muestras de rocas ígneas, previamente datadas por diferentes métodos (tabla II), hemos obtenido valores del coeficiente de dispersión de la birrefringencia que nos permite establecer la siguiente recta de regresión:

$$K_D = 0.000205 T + 1.46399$$

mostrando un coeficiente de correlación de 0,986 para una seguridad del 99 por 100 entre el coeficiente de dispersión y la edad de las rocas.

TABLA II
Medidas de K_d para las muestras usadas en este trabajo.

N.º de Ref.	Tipo de roca y procedencia	Autores de la datación y método utilizado	Edad (MA)	K_d	Desviación standard
1	Basalto Tanagama (Canarias)	ABDEL-MONEM <i>et al.</i> (1972) K/Ar	15,68 ± 1,6	1,4666	0,010
2	Gneis milonítico Serranía de Ronda (Málaga)	PRIEM <i>et al.</i> (1979) Rb/Sr	22 ± 4	1,4693	0,010
3	Basalto Fruniz (Vizcaya)	LAMOLDA (com. pers.) Estratigráfico	98 ± 5	1,48475	0,010
4	Granodiorita El Pato (Asturias)	SUÁREZ <i>et al.</i> (1978) Rb/Sr	284 ± 8	1,5117	0,005
5	Granodiorita Burguillos del Cerro (Badajoz)	DUPONT <i>et al.</i> (1981) K/Ar	328 ± 10	1,5398	0,010
6	Diorita Valencia del Ventoso (Badajoz)	DUPONT <i>et al.</i> (1981) K/Ar	239 ± 50	1,53555	0,010
7	Granodiorita Venta de Azuel (Córdoba)	BELLON <i>et al.</i> (1979) K/Ar	342 ± 17	1,53718	0,020
8	Monzogranito Salvatierra de los Barros (Badajoz)	DUPONT <i>et al.</i> (1981) K/Ar	431 ± 15	1,54921	0,005

La figura 1 representa la relación lineal encontrada en este trabajo, junto a las obtenidas por CHIBUKCHJAM (1963), PIBOULE y VACHETTE (1965), GUIMARÃES (1967) y TINAQ (1978), utilizando filtros y dispositivos diferentes.

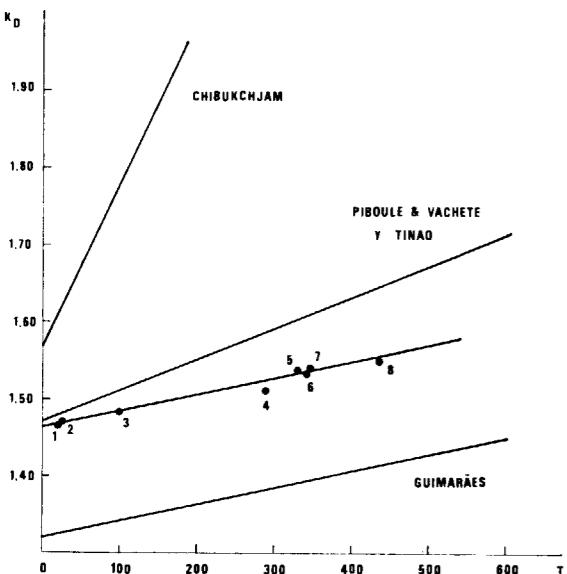


Figura 1.—Correlación entre el coeficiente de dispersión de la birrefringencia y la edad (MA) en rocas ígneas. Localización, tipo de muestras y autores de las dataciones en la tabla II.

CONCLUSION

En la mayoría de los casos es posible comprobar que si no media una historia térmica (hidro-

termalismo, metamorfismo o meteorización) entre el momento de formación de la plagioclasa y el de datación, la medida del K_d resulta satisfactoria como método de datación absoluta de rocas ígneas. La enorme facilidad que tienen los feldespatos para modificar la relación K/Ar durante su historia geológica (SMITH, 1974) influye de manera definitiva sobre la exactitud de las dataciones, conduciendo a valores erróneos o absurdos.

La razón que puede justificar que este método de datación no haya sido utilizado con más profusión, reside probablemente en que exige minimizar los errores de medida del coeficiente por debajo del 0,15 por 100, cuestión difícil si se piensa en las numerosas fuentes de error y en los condicionamientos que imponen la medida de la birrefringencia en los extremos del espectro; en donde es imposible controlar la extinción por simple observación del ojo humano y donde baja apreciablemente la eficacia del fotomultiplicador.

Para utilizar este método es imprescindible tomar en consideración los aspectos siguientes: a) que las rocas estudiadas no se encuentren alteradas; b) usar rocas-patrón con dataciones contrastadas y seguras; c) utilización de filtros extremos, a fin de aumentar la pendiente de la recta; d) uso indispensable de sistema microfotométrico; e) las medidas se deben realizar en diferentes láminas delgadas de una misma roca; f) minimizar errores de medida.

Por otra parte, planteamos la necesidad de in-

SOBRE LA DETERMINACION DE LA EDAD ABSOLUTA DE ROCAS IGNEAS...

vestigar si la correlación K_d -T es siempre lineal (según GUIMARÃES, 1967, lo es hasta 2.000 MA) y no exponencial, como ocurre en el proceso de desintegración del ^{40}K en ^{40}Ar (PILOT, 1974). Muestras estudiadas en nuestro laboratorio procedentes del Complejo Stillwater (2.750 ± 60 MA) y granitos «rapakivi» (1.650 MA) podrían confirmar esta hipótesis.

la Sierra Morena occidental (provincie de Badajoz, España). Bol. Geol. Min., XCII-V, 370-374 (1981).

GUIMARÃES, D.: *O novo método de determinação de idade absoluta*. Bol. 240, D.N.P.M., D.G.M., Rio de Janeiro, 27 pp. (1967).

KUZNETSOV, E. A.: *Méthode de la comparaison de la dispersion de la birrefringence*. Vest. Moscou Univ., Serie IV-5, 67-77 (1961).

PIBOULE, M., y VACHETTE, M.: *Correlation entre la valeur des coefficients de dispersion de la birrefringence et l'âge absolu de plagioclases d'origine diverses*. C. R. Acad. Sc. Paris, 261, 1032-1035 (1965).

PILOT, J.: *Les isotopes en géologie*. Ed. Doin. Paris, 176 pp. (1974).

PRIEM, H. N. A.; BOELRIJK, N. A.; HEBEDA, E. H.; OEN, I. S.; VERDURMEN, E. A. Th., y VERSCHURE, R. H.: *Isotopic dating of the emplacement of the ultramafic masses in the Serranía de Ronda, Southern Spain*. Contrib. Mineral. Petrol. 70, 103-109 (1979).

SMITH, J. V.: *Feldspar Minerals*. Vol. 2. Ed. Springer-Verlag. Berlin, 690 pp. (1974).

SUÁREZ, O.; RUIZ, F.; GALÁN, J., y VARGAS, I.: *Edades Rb-Sr de granitoides del Oeste de Asturias*. Trabajos Geol., 10, 437-442 (1978).

TINAQ, J. M.: *Geocronología óptica en plagioclasas por la variación del K_d* . Estudios Geol., 34, 363-366 (1978).

Recibido: Enero 1982

INFORMACION

Noticias

EL IGME HA INICIADO LA ACTUALIZACION DEL INVENTARIO DE RECURSOS DE CARBON EN ESPANA

El Instituto Geológico y Minero de España ha iniciado la revisión y actualización del Inventario de Recursos de Carbón de España elaborado en 1979 y que posteriormente fue revisado en 1981, extendiéndose su desarrollo hasta 1990, con un programa concreto de actuación para el período 1981-1984.

La investigación geológico minera en curso se extiende a los diferentes tipos de carbón en todo el territorio nacional, con el objetivo de descubrir nuevas cuencas productivas, mejorar el conocimiento de las ya localizadas y garantizar, en lo posible, los programas de producción a corto plazo, mediante el apoyo de una sistemática asistencia geológica a la producción que facilite la continuada planificación de las exportaciones y la sustitución por las reservas de reposición de aquellas que están siendo extraídas en los yacimientos activos.

Con relación a hullas y antracitas, la investigación se dirige preferentemente hacia aquellas áreas que, con una extensión estimada de unos 1.000 Km², se presentan, en principio, como interesantes en función del volumen potencial y calidades de sus recursos, posibilidades económicas de su beneficio, balance oferta/demanda de las zonas de influencia y nivel del conocimiento geológico existente.

Desde 1979 se han iniciado proyectos sobre hullas y antracitas, unos terminados y otros todavía en ejecución, en numerosas áreas de Asturias, Palencia, Córdoba, Ciudad Real y Badajoz.

Aunque son muchos los proyectos aún no finalizados, se puede mencionar, entre los resultados obtenidos, la cubicación en San Fernando-Pontones de 42 Mt. (3,3 Mt. explotables a cielo abierto) no considerados en el Inventario de Recursos de Carbón en España, buenas expectativas de mejorar notablemente los recursos del citado Inventario en Figaredo (más del doble) y en Guardo (un 40 por 100), la evaluación de nuevas reservas en Córdoba (11 Mt.), los esperanzadores resultados de la investigación en curso en Puertollano —donde pueden evaluarse nuevas reservas explotables a cielo abierto que incrementan de forma importante las ya conocidas—, así como, en general,

un mejor conocimiento de las cuencas carboníferas, al conseguirse, como es el caso de El Bierzo, una mayor y más detallada información sobre la cantidad, calidad y disposición de los recursos y reservas.

Por lo que se refiere a los lignitos, el Plan de Investigación está enfocado a la exploración y prospección de amplias zonas con interés potencial que abarcan una superficie total de unos 54.000 Km², así como al estudio de áreas ya localizadas, en las que cabe esperar resultados a más corto plazo.

En el aspecto más general, los trabajos efectuados o en curso comprenden un inventario de manifestaciones ligníticas a nivel nacional y la exploración y posibilidades en áreas de Galicia, Sur del Pirineo, Cordillera Ibérica y Andalucía.

De estas campañas, ha revestido una mayor importancia la realizada por el IGME en las cuencas gallegas, debido a las posibilidades que ofrecían de albergar yacimientos no conocidos hasta el presente. En una primera fase se reconocieron 98 cuencas terciarias, desarrollándose en 1981 una investigación general de la cuenca de Ginzo de Limia (Orense), finalizada a mediados de 1982, que ha puesto de manifiesto un yacimiento de lignito pardo con recursos de más de 100 Mt., en un paquete de 12-15 metros de espesor medio bajo un recubrimiento de 90-100 metros. El poder calorífico de estos lignitos es algo inferior al de los de Puentes de García Rodríguez, pero presentan un bajo contenido en azufre, del orden del 0,75 por 100.

Las investigaciones para valorar nuevas reservas han sido efectuadas en las cuencas de lignito negro de Teruel, y Mallorca y en la de lignito pardo de Arenas del Rey y Padul (Granada).

Entre los resultados, aparte del hallazgo ya mencionado de Ginzo de Limia, cabe señalar la cubicación de 80 Mt. en Arenas del Rey-Padul, 6 Mt. en Utrillas-Castellote y 5 Mt. en Mallorca, todas ellas no consideradas en el Inventario de 1979.

Otras investigaciones y estudios de iniciativa empresarial han puesto de manifiesto asimismo nuevos recursos de carbón en la zona Norte de León (hulla), Peñarroya-Espiel (hulla), Puentes de García Rodríguez (lignito pardo), Teruel (lignito negro) y Castellón (lignito negro).

La puesta en práctica de las directrices señaladas en el Plan Energético Nacional, que presenta especial atención a la utilización del carbón para el abastecimiento energético, ha permitido un desarrollo del consumo con importantes incrementos en los últimos años, permitiendo alcanzar en el último ejercicio un nivel de participación que por vez primera supera al de la energía hidráulica.

Uno de los datos más destacados de la evolución del consumo de carbón ha sido el nivel alcanzado en el mercado eléctrico, donde su utilización se ha incrementado en un 19 por 100, llevando a una participación del carbón en la generación de electricidad del 33,5 por 100 en 1981, situándose así en un primer lugar entre las fuentes energéticas de suministro para la producción eléctrica.

EL CARBON, PRIMER GENERADOR DE ENERGIA ELECTRICA EN ESPANA

La participación del carbón en el abastecimiento energético nacional ha experimentado en los últimos años un progresivo aumento, llegando en el pasado año a registrar un alza de cerca del 20 por 100, en relación con 1980, pasando, en las tres áreas principales de consumo (96,97 por 100 del total) —generación de electricidad, siderurgia y coquerías, fábricas de cemento—, de 31,9 millones de toneladas, en 1980, a 37,7 millones de toneladas en el ejercicio último.

ESTRUCTURA DE ABASTECIMIENTO ENERGETICO (en %) (Hidraulicidad media)

Fuentes	1978	1979	1980	1981
Carbón	15,1	15,3	18,3	22,5
Hidráulica	11,8	11,2	11,3	11,4
Nuclear	2,4	2,0	1,4	3,0
Petróleo	68,6	69,3	66,3	60,1
Gas natural	2,1	2,2	2,7	3,0
	100,0	100,0	100,0	100,0
Total energía primaria (Mtec.)	101,0	106,7	105,5	104,4

Durante el primer semestre de 1982 prosigue la tendencia al alza del consumo de carbón, con un 18 por 100 más que en igual período de 1981. Porcentualmente se distribuye del siguiente modo:

DISTRIBUCION DEL CONSUMO DE CARBON POR DESTINOS Y PROCEDENCIAS, EN 1981 (*)

	CONSUMO	PROCEDENCIA	Importación
	10 ⁶ t.	%	Nacional (%)
Generación de electricidad	30,8	79,2	94,5
Siderurgia y coquerías	5,6	14,4	32,1
Fabricación de cemento	1,3	3,3	23,1
Otros usos	1,2	3,1	100,0
TOTAL	38,9	100,0	83,2
			16,8

(*) Datos provisionales.

ESTRUCTURA PORCENTUAL DE LA COBERTURA DE LA DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA (Mercado peninsular de Servicio Público) Hidraulicidad media

Tipo de producción	1978	1979	1980	1981
Hidráulica	34,8	32,8	31,4	31,3
Nuclear	7,7	6,3	4,7	8,6
Carbón	20,0	21,5	29,0	32,5
Fuel-Oil	34,2	36,1	30,0	22,0
Otros	3,3	3,3	4,9	4,6
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0

En cuanto a calidades, la media del carbón adquirido por las centrales térmicas en 1981 ha sido la siguiente:

	Cenizas (%)	Humedad (%)	Materias volátiles (%)	Poder calorífico (termia/t)
Hulla y antracita	32,5	10,8	15,3	4.790
Lignito negro	47,0	15,7	27,0	2.847
Lignito pardo	38,9	41,1	36,4	2.192

Dadas las correcciones que la vigente fórmula de precios introduce en función de las cenizas, la penalidad al contenido de éstas excede a la pérdida de poder calorífico, por lo que las centrales tienden, dentro de ciertos límites, a consumir carbones pobres, habida cuenta del rendimiento de las calderas y de los gastos de operación, cuando se trata de grupos térmicos diseñados para estos carbones sueltos.

Es de destacar que con este sector, en 1981 y 1982 se ha intensificado especialmente la política promovida por la Comisión de la Energía y Recursos Minerales, de establecer contratos de suministro a largo plazo por los productores nacionales, que permiten garantizar la colaboración de sus crecientes producciones y realizar las previsiones básicas de cara al futuro para programar las importaciones complementarias y asegurar así el abastecimiento nacional.

NUEVAS TERMICAS DE CARBON

Los programas de construcción de nuevas centrales eléctricas para carbón contenidos en el Plan Energético Nacional, incluían la entrada en operación del grupo de 550 MW de Meirama (La Coruña), así como el arranque del de 313 MW de Puente Nuevo (Córdoba), de los de

INFORMACION

350 MW de Lada (Asturias) y de Compostilla IV (León) y del de 125 MW de Alcudia (Baleares), ocurridos todos ellos en 1981 y primer semestre de 1982, con lo que se ha incrementado la potencia total instalada con carbón en un 26 por 100, alcanzándose en 1982 los 8.122 MW.

Las previsiones para 1985 —11.434 MW— suponen un aumento de la potencia instalada de cerca del 78 por 100 a partir de 1980 —6.434 MW—, con lo que la participación del carbón en la generación de electricidad podría pasar del 29 por 100 en 1980 a un porcentaje del orden del 37 por 100 en 1985.

OTROS USOS

El consumo siderúrgico ha descendido ligeramente en relación con 1980, aunque los suministros nacionales han aumentado. No obstante, durante la primera mitad de 1982 se está produciendo una tendencia de recuperación de esta demanda, aun cuando la crisis que afecta a la siderurgia impone un consumo moderado.

En el sector cementero, el consumo de carbón se ha in-

crementado notablemente en el pasado año, como primer resultado de la transformación producida para la utilización de este combustible en lugar del fuel-oil. Este crecimiento prosigue en 1982, habiendo supuesto un 179 por 100 de mayor consumo en los primeros seis meses de este año —1,45 millones de toneladas—, respecto al mismo período de 1981 —0,52 millones de toneladas—, previéndose alcanzar un consumo total de unos 3 millones de toneladas, una vez entren plenamente en operación todas las instalaciones adaptadas.

Para incrementar el consumo de carbón en otras industrias a fin de sustituir el empleo de petróleo, se está efectuando por la Administración una serie de estudios que atienden a sectores muy diversos, sobre los que inciden cuestiones complejas, como son los aspectos de inversiones y financiación, precios del carbón, experiencia en el funcionamiento con este combustible, implicaciones medioambientales, etc., que requieren tratamientos específicos en cada caso. No obstante, se espera que a finales de la década pueda producirse una demanda adicional de carbón para este conjunto de industrias, comprendida entre 2 millones de toneladas y 4,5 millones de toneladas.

CONSUMO DE CARBONES SEGUN PRINCIPALES DESTINOS (Mt.)

	1978	1979	1980	1981 (*)	Variación (%) 1981/1982	Primer semestre 1982
Centrales térmicas	15,1	17,4	25,9	30,8	+ 19,0	17,0
Nacional	14,7	17,4	24,8	29,1		16,4
Importado	0,4	0,4	1,1	1,7		0,6
Siderurgia	5,8	5,3	5,7	5,6	- 1,7	2,7
Nacional	2,5	1,9	1,7	1,8		0,8
Importado	3,3	3,4	4,0	3,8		1,9
Fábricas de cemento	0,2	0,2	0,3	1,3	+ 333,3	1,4
Nacional	0,2	0,2	0,2	0,3		0,3
Importado	—	—	0,1	1,0		1,1
SUMA	21,1	23,3	31,9	37,7	+ 18,2	21,1
SUMA CARBON NACIONAL	17,4	19,5	26,7	31,2	+ 16,9	17,5
SUMA CARBON IMPORTADO	3,7	3,8	5,2	6,5	+ 25,0	3,6

(*) Datos provisionales.

Fuentes: Estadística de Carbones y Memoria del Cemento.

LA REDACCION DEFINITIVA DE LA LEY DE LOS DERECHOS DEL MAR PUEDE ESTAR CONCLUIDA A FINALES DEL PRESENTE AÑO

La Tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Ley de los Derechos del Mar adoptó la Convención sobre la Ley del Mar en decimoprimer y última sesión en Nueva York, el 30 de abril de 1982. La Convención, que se encuentra en negociaciones desde la primera sesión sustitiva en 1974 (y una sesión organizativa en Caracas, Venezuela, en 1973), trata virtualmente todos los asuntos relativos a la ley del mar incluyendo la navegación y sobre vuelo, exploración y explotación de recursos, conservación y contaminación, pesca y navegación. La Convención cons-

tituye una guía para el comportamiento de los Estados en los océanos mundiales, definiendo las zonas marítimas, estableciendo reglas para marcar fronteras, señalando los compromisos legales y las responsabilidades y proporcionando materia legal para resolver disputas.

La Conferencia se ha reunido otra vez por un corto período de tiempo, del 22 al 24 de septiembre, para actuar de acuerdo con las recomendaciones del Comité Organizador que en el intermedio finalizará el texto de la Convención. Despues se reunirá por última vez en Caracas, probablemente en diciembre de 1982, para concluir su trabajo con la adopción del texto final.

La Convención se convertirá en ley doce meses después de que sesenta Estados la ratifiquen o accedan a la misma.

INFORMACION

Una vez que la Convención entre en vigor, se establecerán dos grandes órganos: el Tribunal Internacional para la Ley del Mar y la Autoridad Internacional de los Fondos Marinos.

Entre los mayores objetivos mencionados en la Convención se encuentra el «desarrollo de los recursos del Área» y la «promoción de precios estables y justos para productores y consumidores, en lo que se refiere a los minerales producidos tanto de los recursos del Área como de otros recursos». Los recursos del Área serán administrados como «una herencia común del hombre».

ESTRUCTURA DE LA ORGANIZACION

Todas las actividades realizadas en el Área estarán bajo el control de la Autoridad Internacional de Fondos Marinos, que tendrá su sede en Jamaica. La política general de la Autoridad sería establecida por la Asamblea, quien tiene poder para aprobar el presupuesto de la Autoridad, al ser presentada por el Consejo. El Consejo ejecutaría la política establecida en la Convención y definida en términos generales por la Asamblea. Particularmente, el Consejo aprobaría las normas, regulaciones y procedimientos que han de regir el sistema completo de fondos marinos.

El Consejo constaría de 36 miembros elegidos por la Asamblea de acuerdo con una complicada fórmula fijada en la Convención. Los siguientes grupos de países tendrían cuatro escaños cada uno: a) los mayores inversores en explotación de fondos marinos; b) los mayores consumidores o importadores de mineral encontrados en los fondos marinos, y c) los mayores exportadores con base en tierra de estos minerales; tendrán seis escaños los países en vías de desarrollo en «intereses especiales», tales como Estados con gran población, continentales o con desventajas geográficas, grandes importadores de minerales y países menos desarrollados. La otra mitad de los miembros del Consejo sería elegida de modo que se asegure una representación geográfica, con, al menos, un país por cada región. Las cuestiones más importantes, como, por ejemplo, la aprobación de las normas, la regulación y procedimiento sobre minería marina, serían decididas por consenso; otros asuntos serían decididos por el voto de la mayoría de los dos tercios o de los tres cuartos. El Consejo tendría dos órganos: una Comisión de Planificación Económica y una Comisión Técnica y Legal, cada una con 15 miembros elegidos por el Consejo con la debida consideración al equilibrio geográfico.

La rama minera del fondo marino de la Autoridad sería la Empresa: una organización comercial bajo el control general de la Asamblea y del Consejo, pero con su propio estatuto y su Consejo de Administración. Los fondos necesarios para el primer proyecto que realizase la Empresa serían créditos libres de interés de los Estados Miembros (50 por 100) y créditos comerciales a la Autoridad que serían garantizados por los Estados.

PROCEDIMIENTOS DE OPERACION Y SELECCION DE EMPLAZAMIENTOS DE MINAS

Se establecería un «sistema paralelo» para la exploración y explotación del área internacional de fondos marinos. La Autoridad realizaría contratos con empresas privadas y

estatales para los derechos y explotación minera, y dirigiría sus actividades por medio de la Empresa. La selección de emplazamientos funcionaría como sigue: La empresa privada o estatal proporcionaría a la Autoridad un área de fondo marino que considerase con mineral comercial; la Autoridad designaría la mitad del área para la explotación por la parte contratante, mientras que la mitad restante se reservaría para la Empresa o países en vías de desarrollo; la elección estaría basada en los datos suministrados por el solicitante. Posteriormente, el plan de trabajo tendría que ser aprobado por la Autoridad, y la Comisión Técnica y Legal del Consejo tendría que emitir una autorización de producción; el tonelaje de extracción permitido tendría que encontrarse dentro de los límites de producción establecidos para toda la minería de fondos marinos.

Con vistas a proteger inversiones pasadas y actividades durante el período hasta que la Convención se convierta en ley, el estatus de «inversor pionero» ha sido concedido a ocho empresas privadas y estatales y dos emplazamientos a la Empresa. Los ocho son India y la Unión Soviética —incluyendo sus corporaciones y empresas estatales—, un grupo francés y un consorcio japonés, y cuatro consorcios con la participación de compañías de diferentes países. Los consorcios internacionales franceses y japoneses están mencionados en un documento anterior preparado por la Secretaría de las Naciones Unidas; éstos son: el «Kenne-cott Consortium», Ocean Mining Associates, Ocean Management Incorporated, Ocean Minerals Company, Association française pour l'étude et la recherche des nodules y Deep Ocean Minerals Association. A los inversores pioneros les sería garantizada la entrada en el área minera de fondos marinos bajo la Convención una vez que entre en vigor. Durante el período de la pre-Convención estarían limitados a realizar exploración y prospección en un área determinada sin que se les permitiera dar comienzo a la explotación.

LIMITACION DE PRODUCCION

La Convención establece que el objetivo básico sería potenciar la producción de los fondos marinos con el menor daño posible para productores en tierra de los mismos minerales. La fórmula de control de producción contenida en la Convención se aplica a la producción de níquel, que sería el metal más importante en términos de valor, basados en las relaciones de los precios actuales entre níquel y otros grandes metales que sean derivados de nódulos —cobalto, cobre y manganeso—. El techo de producción está calculado para cada año, disminuyendo dentro del período intermedio y permitiendo la producción minera oceánica en un 60 por 100 del proyectado incremento anual en la demanda mundial de níquel. Si el índice de crecimiento anual de la demanda de níquel es menor del 3 por 100 anual, entonces este índice se utiliza para calcular el techo.

El impacto de la previsión de la limitación de producción es difícil de estimar actualmente, ya que depende no solamente de los índices de crecimiento de demanda futura de níquel —que es difícil de proyectar—, sino también el tiempo de actividades mineras, en particular sobre el año del comienzo de producción comercial. La Secretaría de



las Naciones Unidas, en un anterior informe solicitado por la Conferencia de la Ley sobre los Derechos del Mar, calculó tales límites de producción para diversos índices de crecimiento de demanda (2,5 por 100 anual) y los años más próximos de producción comercial (1985-1995). Asumiendo un 3 por 100 de crecimiento de la demanda, el límite de producción anual en 1995 estaría entre 200,6 miles de toneladas (producción comercial más temprana en 1995) y 265,6 miles de toneladas (producción comercial más temprana en 1991). Para un índice de crecimiento de demanda del 4 por 100, los límites respectivos serían de 269,000 y 350,000 toneladas. La Empresa tendría derecho a producir hasta 38,000 toneladas del total de la producción admisible. En el momento actual parece que la mayor parte de los consorcios activos en la exploración de los recursos de los fondos marinos están considerando un nivel de producción anual de 3 millones (secos) de toneladas de nódulos, de modo que la producción de níquel de un proyecto podría ser de alrededor de 35,000 toneladas anuales.

TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA

Con el fin de asegurar el acceso de la Empresa a la tecnología, la Convención obligaría a los contratistas a poner a disposición de ese órgano la tecnología necesaria en términos comerciales. Si la Empresa se encontrase con que no puede obtener esa tecnología en el mercado abierto, tendría la opción de comprarla al contratista, siempre que fuese el propietario. En el caso de que la tecnología fuera de propiedad de un tercero y el contratista la utilizara bajo licencia, el contratista estaría obligado a «adquirir», si la Empresa le pidiera hacerlo y cuando fuese posible sin un coste importante para el contratista, un derecho legal aplicable a transferir dicha tecnología a la Empresa. La opción de la transferencia de tecnología estaría también disponible para el país en vías de desarrollo que la Autoridad hubiera autorizado a explotar un área «reservada» del fondo marino. Esta previsión de transferencia de tecnología ha sido la más controvertida durante las negociaciones, y muchos países desarrollados se han opuesto duramente a ella.

SOLUCION DE DISPUTAS

Las disputas serían tratadas por la Cámara de Disputas de Fondos Marinos en relación con la interpretación o aplicación de las cláusulas de fondos marinos, así como las disputas que atañan a la Autoridad y a los contratistas. Los estados también podrían someter sus disputas a una cámara especial del Tribunal «ad hoc».

REVISION DE LA CONFERENCIA

A instancias de los países en vías de desarrollo, y frente a la oposición de cierto número de países desarrollados, la Convención prevé procedimientos para una revisión del sistema quince años después de que haya comenzado la producción comercial. Se realizaría una revisión de la conferencia, y si no se llegase a un acuerdo acerca de las modificaciones en cinco años, la conferencia podría apro-

bar enmiendas que tendrían efecto en todos los Estados miembros después de ser ratificados mediante otra aceptación formal por las tres cuartas partes de los mismos.

COMISION PREPARATORIA

La Conferencia de la Ley del Mar establecía una Comisión Preparatoria que prepara el Tribunal Internacional para la Ley del Mar y la Autoridad Internacional de Fondos Marinos con el establecimiento de normas, regulaciones y procedimientos que regirán las actividades de fondos marinos y tratarán otros aspectos del sistema, como un posible fondo de compensación. La Comisión Preparatoria también registrará inversiones privadas y estatales que se reconozcan como inversores pioneros, y comenzaría su reunión entre 60 y 90 días después de que 50 Estados firmen o accedan a la Convención. Sería financiada por el presupuesto regular de las Naciones Unidas y mantenida por la Secretaría de las Naciones Unidas.

NOMBRAMIENTOS EN EL MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

En el «Boletín Oficial del Estado» del pasado día 8 publicaba los nombramientos de altos cargos aprobados en la reunión del Consejo de Ministros celebrado el día anterior. Entre los concernientes al Departamento de Industria y Energía destacamos los siguientes con una breve semblanza de los mismos:

- Secretario General de la Energía y Recursos Minerales: Martín Gallego Málaga, cargo ocupado anteriormente por Luis Magaña Martínez.
- Directora General de la Energía: María del Carmen Mestre, en sustitución de José del Pozo Portillo.
- Director General de Minas: Juan Manuel Kindelan Gómez de Bonilla, cesando así Adriano García Loyerri.

MARTIN GALLEGOS MÁLAGA: 42 años. Doctor Ingeniero de Minas y Licenciado en Ciencias Económicas. Independiente políticamente, comenzó trabajando en empresas privadas de ingeniería y exportación de productos industriales. Ha sido profesor adjunto de Estructura Económica de la Universidad Autónoma.

En 1970 se incorpora a la recién constituida Dirección de Estudios del INI, diplomándose luego en el Banco Mundial, en Washington, en Evaluación de Proyectos Industriales.

En 1974 se traslada a Estados Unidos, donde permanece cinco años como Consejero de Industria y Energía de la Embajada de España. A su vuelta se reincorpora al Instituto Nacional de Industria, trabajando en Planificación, especialmente de empresas energéticas. Actualmente era Subdirector de Desarrollo Corporativo del INI. Pertenece asimismo al Cuerpo de Ingenieros de Minas al servicio del Ministerio de Industria.

CARMEN MESTRE: 39 años, casada, con dos hijos. Licenciada en Ciencias Económicas por la Universidad de

Barcelona. Ha trabajado en el Banco Urquijo y en el Banco de Financiación Industrial.

En 1970 se incorporó a la Dirección de Estudios del Instituto Nacional de Industria, donde realizó diversos estudios sobre temas energéticos. Posteriormente se incorporó a la Dirección de Control de Operaciones de la que hasta ahora era Subdirectora.

Es Vicepresidenta de la Internacional Socialista de Mujeres y miembro de la Comisión Ejecutiva del PSOE desde el último Congreso.

JUAN MANUEL KINDELAN GOMEZ DE BONILLA: 49 años. Suspendería los estudios de Ingeniero de Minas en 1958 al tener que refugiarse en Francia por motivos políticos. Obtuvo el título en 1974. Asesor del Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas de Madrid de 1967 a 1970. Director de Estudios del Instituto Nacional de Industria de 1970 a 1974. En ese mismo año fue asesor de la presidencia de ENSIDES. Profesor de Siderurgia en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid.

- Variables geológicas en relación con el uso agrícola del suelo.
- Utilización didáctica y socioeconómica de la geología ambiental.
- Conservación del medio natural.
- Minería a cielo abierto. Incidencia en el medio ambiente. El caso del carbón.
- Metodología para la elaboración de planes directores para la gestión de residuos sólidos. Condicionamientos geológicos.

INFORMACION:

Secretaría de la II Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio.

Departamento de Geodinámica Externa e Hidrogeología. FACULTAD DE CIENCIAS GEOLOGICAS. Universidad Autónoma de Barcelona.

BELLATERRA (Barcelona).

IV CURSO DE POSTGRADUADOS EN INGENIERIA GEOLOGICA

- Duración: 21 de marzo al 11 de mayo de 1983.
- Inscripciones: antes del 1 de febrero de 1983.
- Información: Planta IV; teléfono: 243 80 42.

Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid.

Notas bibliográficas

GEOLOGIA GENERAL

20001. **El Medio Ambiente en la Constitución Española.** FERNANDEZ RODRIGUEZ, T. R. *Bol. inf. medio ambiente* (1981), núm. 20, 13-19, esp., bibl. IGME. * Medidas de protección, Legislación, España.
20002. **Ley general y/o leyes sectoriales para la protección del medio ambiente.** PEREZ MORENO, A. *Bol. inf. medio ambiente* (1981), núm. 20, 21-27, esp., bibl. IGME. * Medidas de protección, Legislación, España.
20003. **Instrumentos jurídicos preventivos y represivos en la protección del medio ambiente.** RODRIGUEZ RAMOS, L. *Bol. inf. medio ambiente* (1981), núm. 20, 29-40, ref. 17, esp., bibl. IGME. * Medidas de protección, Legislación, España.
20004. **Los modelos de difusión atmosférica como instrumento válido en la decisión de la planificación y en la adopción de medidas correctas.** ECHAGÜE, G. *Bol. inf. medio ambiente* (1981), núm. 20, 43-49, esp., bibl. IGME. * Atmósfera, Polución, Modelo físico, Modelo matemático, España.
20005. **Ánálisis comparativo de las legislaciones sobre desechos peligrosos en los países de la OCDE.** GARRANDES, C. *Bol. inf. medio ambiente* (1981), núm. 20, 53-59, esp., bibl. IGME. * Desecho sólido, Legislación, Transporte, Almacenaje, OCDE.
20022. **Itinerari M 1. Al Malbanc i Bufalvent (Manresa).** PORTA, F.; VIA, LL. *Itin. Geol.* (1981), núm. 1, 45-54, ref. 3, cat., bibl. IGME. * Excursión, Yacimiento fosilífero, Fauna gasterópodo, Fauna equinodermo, Fauna briozoario, Fauna foraminífero, Celentéreo, Cuesta, Nivel guía, Falla, Paleógeno, Cataluña.
20023. **Itinerari M 2. De Manresa a Monistrol de Montserrat.** MASACHS, V. *Itin. Geol.* (1981), núm. 1, 55-59, ref. 6, cat., bibl. IGME. * Excursión, Eoceno, Erosión fluvial, Morfología fluvial, Terraza, Falla, Cataluña.

20024. **Itinerari M 2-A. Manresa - Carretera BP 1213 - Terrassa.** MATA, J. M.; MASACHS, V. *Itin. Geol.* (1981), núm. 1, 62-66, ref. 2, cat., bibl. IGME. * Excursión, Eoceno, Trías, Primario, Falla, Milonita, Paleocorriente, Cabalgamiento, Cataluña.
20025. **Itinerari M 2-B. Montserrat.** MASACHS, V. *Itin. Geol.* (1981), núm. 1, 67-69, ref. 3, cat., bibl. IGME. * Excursión, Manantial, Manantial intermitente, Fauna, Conglomerado, Cataluña.
20026. **Itinerari M 2-C. Manresa - Monistrol de Montserrat - Collbato.** MASACHS, V. *Itin. Geol.* (1981), núm. 1, 70-72, ref. 2, cat., bibl. IGME. * Excursión, Caverna, Estalactita, Eoceno, Laguna, Cataluña.
20027. **Itinerari M 2-D. Manresa - Estación RENFE d'Olesa.** MASACHS, V. *Itin. Geol.* (1981), núm. 1, 73-75, ref. 1, cat., bibl. IGME. * Excursión, Trías, Primario, Falla, Milonita, Corte geológico, Cataluña.
20028. **Itinerari M 2-E. Manresa - La Puda - Olesa.** MASACHS, V. *Itin. Geol.* (1981), núm. 1, 76-78, ref. 2, cat., bibl. IGME. * Excursión, Eoceno, Trías, Sedimentación detrítica, Milonita, Falla, Cataluña.
20029. **Itinerari M 3. De Manresa a Santa María d'Olo, Moia y Caldera.** MASACHS, V. *Itin. Geol.* (1981), núm. 1, 79-87, ref. 8, cat., bibl. IGME. * Excursión, Eoceno, Terraza, Grava, Pliegue, Anticlinal, Caverna, Cataluña.
20030. **Itinerari M 3-A. De Manresa a Moia i Sant Feliu de Codines.** MASACHS, V. *Itin. Geol.* (1981), núm. 1, 88-91, ref. 1, cat., bibl. IGME. * Excursión, Eoceno, Trías, Falla, Granito, Cataluña.
20031. **Itinerari M-4. Manresa - Berga.** RAMIREZ, A. *Itin. Geol.* (1981), núm. 1, 92-100, ref. 2, cat., bibl. IGME. * Excursión, Sedimentación detrítica, Sedimentación del-táica, Medio deltáico, Falla, Pliegue, Anticlinal, Sinclinal, Mina, Potasa sustancia, Paleocorriente, Cataluña.
20033. **Itinerari M 5. Manresa - Solsona.** MASACHS, V.; RAMIREZ, A. *Itin. Geol.* (1981), núm. 1, 106-118, ref. 5, cat., bibl. IGME. * Excursión, Eoceno, Fauna, Cuesta, Terraza, Falla, Anticlinal, Diapiro, Sinclinal, Cataluña.
20034. **Itinerari M 6. Manresa - Calaf - Castellfollit de Riubregas.** MASACHS, V.; RAMIREZ, A. *Itin. Geol.* (1981), núm. 1, 191-194, ref. 5, cat., bibl. IGME. * Excursión, Primario, Terciario, Falla, Travertino, Granito, Arcilla mineral, Cataluña.

20047. **Itinerari S-1. De Solsona a Sant Llorenç de Morunys.** MASACHS, V. *Itin. Geol.* (1981), núm. 1, 195-200, ref. 5, cat., bibl. IGME. * Excursión, Pliegue, Sinclinal, Anticlinal, Eoceno, Oligoceno, Molasa, Cataluña.

20066. **IGME. Memoria 1980.** Instituto Geológico y Minero de España (1980), 7-68, esp., bibl. IGME.

- * IGME, Informe actividad, Informe anual, Recurso natural, Cartografía, Geotecnica, Documentación, Agua subterránea, Fondos marinos, Geotermia, España.

20076. **Imágenes radar para el estudio de superficies agrícolas.** REYES, E.

- Mundo electrónico.* (Barc. 1981), núm. 113, 111-116, esp., res. ing., bibl. IGME.

- * Teledetección, Imagen, Radar, Agricultura.

20078. **Datos para el estudio del clima de montaña en el País Vasco Aranzazu (1966-1978).** UGARTE, F. M.

- Munibe* (1981), vol. 33, núms. 1-2, 21-30, esp., res. franc., bibl. IGME.

- * Clima, Precipitación atmosférica, Nieve, Viento, Distribución estadística, Histograma, Provincias Vascas.

20100. **Alguns aspectos das geociencias em Portugal no quadro da cultura setecentista e oitocentista.** TORRE, C. F.

- Comun. Serv. Geol. Port.* (1980), vol. 66, 13 pp., port., bibl. IGME.

- * Histórico, Geología, Cristalografía, Mineralogía, Portugal.

GEOLOGIA REGIONAL

20092. **Paleogeografía de la zona prebética durante el Jurásico.** RODRIGUEZ ESTRELLA, T.

- Tecniterrae* (1981), vol. 8, núm. 43, 14-26, ref. 14, esp., bibl. IGME.

- * Jurásico, Subsidiencia, Transgresión, Regresión, Tectónica fondo, Ciclo sedimentario, Zona Bética.

ESTRATIGRAFIA

20011. **Sobre la posible extensión del Aquitaniano marino a lo largo de las Sierras de Levante de Mallorca.** COLOM, G.

- Bol. Soc. Hist. Nat. Balear* (1980), vol. 24, 7-14, ref. 16, esp., bibl. IGME.

- * Aquitaniano, Fauna foraminífera, Lepidociclina, Biometría, Orogenia Alpina, Baleares, Mallorca.

GEOMORFOLOGIA

20021. Generalitats les unitats geomorfologiques. MACHS, V.; VIA, L. *Itin. Geol.* (1981), núm. 1, 14-15, ref. 40, cat., bibl. IGME.
* Relieve estructural, Erosión suelo, Inversión relieve, Cobertura morfológica, Terraza, Corte geológico, Primario, Secundario, Cenozoico, Fauna, Cataluña.

GEOLOGIA DEL INGENIERO

20067. Los Residuos Industriales y el Medio Ambiente. La gestión de los desechos radioactivos en el mar. DE LA POZA, A. *Met. máquinas* (1981), núm. 11-12, 24-31, esp., bibl. IGME.
* Desecho radioactivo, Descarga residuos, Mar, Descarga controlada, Océano Atlántico Norte, OCDE.
20068. Los residuos radioactivos de alta actividad: Su tratamiento y gestión. MUÑOZ BALLESTER, L. *Met. máquinas* (1981), núm. 11-12, 35-43, esp., bibl. IGME.
* Central nuclear, Desecho radioactivo, Almacenaje, Almacenaje subterráneo.

20069. Protección Radiológica. LASA, A. *Met. máquinas* (1981), núm. 11-12, 45-48, esp., bibl. IGME.
* Radiación, Radiación alfa, Radiación beta, Radiación gamma, Rayos X, Destrucción radiación, Acción preventiva.

20079. Estudio de la productividad primaria y distribución estacional del Fitoplantón en el Abra de Bilbao (noviembre 1977 - noviembre 1978). URRUTIA, J.; CASAMITJANA, I. *Munibe* (1981), vol. 33, núm. 1-2, 31-50, ref. 15, esp., res. ing., vasco, bibl. IGME.

- * Ecología, Ecosistema, Estuario, Plancton, Fitoplantón, Polución, Desecho industrial, Clorofila, Distribución estadística, Histograma, Provincias Vascas.

20080. Estudio de los pigmentos en las Algas Macrofitas de la zona intermareal de la Costa Vasca. IRASTORZA, A. J.; IBÁÑEZ, M. *Munibe* (1981), vol. 33, núm. 1-2, 51-62, ref. 27, esp., res. ing., bibl. IGME.

- * Ecología, Alga, Muestreo, Pigmento, Clorofila, Concentración, Biomasa, Provincias Vascas, Océano Atlántico Norte.

20083. Vertidos de aguas residuales. Reglamentación vigente. QUESADA, D. *Rev. Obras Públicas* (1981), vol. 128, núm. 3.197, 708-711, esp., bibl. IGME.

- * Desecho industrial, Desecho doméstico, Agua usada, Legislación, España.

PALEONTOLOGIA DE LOS INVERTEBRADOS

20014. Nuevo afloramiento del Lias fosilífero Menorquín. LLOMPART, C. *Bol. Soc. Hist. Nat. Balear* (1980), vol. 24, 85-88, ref. 2, esp., res. franc., bibl. IGME.
* Fauna ammonite, Fauna braquiópodo, Marga, Toarcense, Yacimiento fosilífero, Baleares, Menorca.
20016. Contribución al conocimiento de la fauna fósil del Carbonífero de Menorca. LLABRES, A.; ESCANDELL, G.; ESCANDELL, R.; ESCANDELL, A.; FERNANDEZ, M. *Bol. Soc. Hist. Nat. Balear* (1980), vol. 24, 93-96, ref. 4, esp., bibl. IGME.
* Ptychopariida, Phillipsia, Baleares, Menorca.

20081. Copepodos Planctónicos del Estuario de Plencia: Composición, distribución y abundancia. VILLATE, F.; ORIVE, E.

- Munibe* (1981), vol. 33, núm. 1-2, 87-100, ref. 19, esp., res. ing., vasco, bibl. IGME.
* Crustáceo, Plancton, Muestreo, Estuario, Agua, Temperatura, Salinidad, Clorofila, Concentración, Provincias Vascas.

PALEONTOLOGIA DE LOS VERTEBRADOS

20012. Nuevo yacimiento de «*Testudo gymnesicus*» Bate, 1914 en la Isla de Menorca. MERCADAL, B.; PRETUS, J. L.

- Bol. Soc. Hist. Nat. Balear* (1980), vol. 24, 15-21, ref. 10, esp., res. ing. cat., bibl. IGME.
* Quelonio, Mioceno, Yacimiento fosilífero, Paleogeografía, *Testudo gymnesicus*, Menorca, Baleares.

20013. Small mammals subrecent faunas at Mediterranean Islands. 1. Cabrera Island (Mammalia: Rodentia, Lagomorpha). ALCOVER, J. A.

- Bol. Soc. Hist. Nat. Balear* (1980), vol. 24, 71-84, ref. 16, esp., res. cat., bibl. IGME.
* Miomorfa, Liliidae, Mandíbula, Diente, Osamenta, Biometría, Holoceno, Holoceno sup., Cabrera, Baleares.

20017. Über den typus «*Crocidura Suaveoleus balearica*» (Miller, 1907). Von der Balareninsel Menorca (Mammalia: Insectívora). VESMANIS, I. E.; ALCOVER, J. A.

- Bol. Soc. Hist. Nat. Balear* (1980), vol. 24, 113-116, ref. 14, alem., res. cat., bibl. IGME.

- * Insectívoro, Mandíbula, Crocidura, Biometría, Baleares, Menorca.

PALEOBOTANICA

20015. Nota sobre el hallazgo de *Aphralysia Capriolae* Mamet y Roux, del Visense superior (Carbonífero) del Tethys Occidental en Titónico-Valanginiense de Ibiza (Baleares). COLOM, G. *Bol. Soc. Hist. Nat. Balear* (1980), vol. 24, 89-91, esp., bibl. IGME.
* Alga caliza, Cianofita, Kimmeridgiense, Titónico, Valanginiense, Ibiza, Baleares.

MINERALOGIA: SILICATOS

20006. Granates birrefringentes del skarn con magnetita de Cala (Huelva). ESPAÑA, F.; AMIGO, J. M.; FONTAN, F. *Bol. Soc. Esp. Mineral.* (1981), vol. 4, núm. 4, 3-14, referencia 25, esp., res. ing., bibl. IGME.
* Granate, Grupo granate, Skan, Composición mineralógica, Propiedad óptica, Birrefringencia, Análisis mayores, Análisis térmico diferencial, Diagrama equilibrio, Cala, Provincia Huelva.

20009. Escapolita en rocas de las series permo-triásicas del Complejo Nevado-Filábride (Cordillera Bética). GOMEZ PUGNAIRE, M. T.; TORRES, J.; MARTINEZ MARTINEZ, J. M. *Bol. Soc. Esp. Mineral.* (1981), vol. 4, 37-46, referencia 14, esp., res. ing., bibl. IGME.

- * Escapolita, Grupo escapolita, Génesis, Solución sólida, Análisis mayores, Pérmico, Triás, Zona Bética, Provincia Granada, Provincia Almería.

HIDROLOGIA

20018. Control piezométrico y de calidad de las aguas subterráneas en la Isla de Ibiza, Primer Informe. INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA.

- Colecc. Inf.* (1981), 1-40, esp., bibl. IGME.
* Piezometría, Evapotranspiración, Precipitación atmosférica, Balance agua, Calidad agua, Análisis químico, Ión cloruro, Potasa, Nitrato, Muschelkalk, Keuper, Oxfordense, Kimmeridgiense, Cretácico inf., Cenomanense, Mioceno, Cuaternario, Agua subterránea, Baleares, Ibiza.

20073. Aguas subterráneas y geotecnia.

- Minerpress* (1981), núm. 75, 9 pp., esp., bibl. IGME.
* IGME, Informe actividades, Agua subterránea, Gestión recursos agua, Calidad agua, Medidas protección, Desecho urbano.

20096. Programa de aprovechamiento de Recursos Hídricos do Nordeste. Ministerio do Interior. Recife. BRASIL.

- Relatorio anual Sedene* (1980), 43-46, port., bibl. IGME.
* Informe actividad, Informe anual, Gestión recursos agua, Minas Gerais, Brasil.

20097. Recursos naturais. Ministerio do Interior. Recife. BRASIL.

- Relatorio anual Sedene* (1980), 70-79, port., bibl. IGME.
* Informe actividad, Informe anual, Cartografía, Mapa topográfico, Mapa podológico, Gestión recursos agua, Recurso natural, Brasil.

NO SILICATOS

20008. Las jarositas de Sierra Almagrera (Almería). Mineralogía y génesis. HUESO, R.; RODRIGUEZ GORDILLO, J.; LOPEZ AGUAYO, F.

- Bol. Soc. Esp. Mineral.* (1981), vol. 4, 29-36, referencia 17, esp., res. ing., bibl. IGME.

- * Sulfuro, Roca encajante, Alteración, Alteración química, Jarosita, Sulfato, Génesis, Análisis mayores, Estequímica, Provincia Almería.

PETROLOGIA DE ROCAS SEDIMENTARIAS

20007. Los carbonatos de las facies margosas Jurásicas en las zonas externas de las Cordilleras Béticas (Provincias de Granada y Jaén). PALOMO, I.; ORTEGA, M.; FENOLL, P.

- Bol. Soc. Esp. Mineral.* (1981), vol. 4, 15-28, referencia 17, esp., res. ing., bibl. IGME.

- * Marga, Composición mineralógica, Calcita, Calcita magnesiana, Diagenesis, Dolomitización, Clasificación, Lías medio, Lías sup., Dogger, Zona Bética, Provincia Granada, Provincia Jaén.

PETROLOGIA DE ROCAS IGNEAS Y METAMORFICAS

20077. Análisis y significado de diferentes tipos de estructuras en el magmatismo del Cretácico superior de la cuenca Vasco-Cantábrica (1.ª parte). CUEVAS, J.; GARROTE, A.; TUBIA, J. M.

Munibe (1981), vol. 33, núms. 1-2, 1-20, ref. 23, esp., res. ing., bibl. IGME.

* Magmatismo, Magma básico, Magma ácido, Colada lava, Estructura sedimentaria, Pilow-lava, Roca volcánica, Análisis mayores, Cenomanense, Turonense, Senonense, Provincias Vascas.

YACIMENTOLOGIA: GENERALIDADES

20091. Métodos probabilísticos geométricos en la prospección minera. MIGUEZ, F.; CHACON, E.

Tecniterrae (1981), vol. 8, núm. 43, 7-13, ref. 11, esp., bibl. IGME.

* Prospección minera, Método estadístico, Cálculo probabilidades, Simulación.

YACIMENTOLOGIA DE METALES

20093. Alteraciones y mineralización primaria en Chuquicamata. SOTO, H.

Tecniterrae (1981), vol. 8, núm. 43, 27-44, ref. 22, esp., bibl. IGME.

* Pórfido cobre, Cobre sustancia, Stock, Yacimiento volcánico, Alteración hidrotermal, Génesis, Terciario, Chile, Antofagasta.

20094. Prospección e investigación de yacimientos uraníferos en la provincia de Salamanca. FERNANDEZ AMIGOT, J. A.

Tecniterrae (1981), vol. 8, núm. 43, 45-73, esp., bibl. IGME.

* Uranio sustancia, Primario, Paleoceno, Mioceno, Filón, Yacimiento impregnación, Stockwerk, Sondeo, Prospección geoquímica, Levantamiento radiométrico, Pizarra, Cuarcita, Roca ígnea, Roca metamórfica, Orogenia Hercínica, Orogenia Alpina, Graben, Horst, Provincia Salamanca.

YACIMENTOLOGIA DE SUSTANCIAS NO METALICAS

20032. La Cuenca potásica catalana. RAMIREZ, A.

Itin. Geol. (1981), núm. 1, 101-105, ref. 9, esp., bibl. IGME.

* Potasa sustancia, Mina, Eoceno sup., Medio marino, Corte geológico, Orogenia Alpina, Tectónica cobertura, Cataluña.

20035. La Cuenca de lignitos de Calaf. RAMIREZ, A.

Itin. Geol. (1981), núm. 1, 129-132, ref. 2, esp., bibl. IGME.

* Lignito, Sustancia útil, Oligoceno inf., Sedimentación deltaica, Pliegue, Sinclinal, Cataluña.

20041. La Cuenca lignítifera de Bergueda. MASACHS, V.; VIAL, L.

Itin. Geol. (1981), núm. 1, 161-168, ref. 2, cat., bibl. IGME.

* Lignito, Sustancia útil, Cretácico, Corte geológico, Estratotolito, Fauna, Pliegue, Sinclinal, Cataluña.

GEOFISICA

20095. Inventario de trabajos de gravimetría terrestre realizados en España. INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA.

1981, 5-23, esp., bibl. IGME.

* Levantamiento geofísico, Gravimetría, Inventario, Metodología, España.

ENERGIA

20019. Las corrientes del Estrecho de Gibraltar, como una importante fuente de energía. Ampliación del esquema sobre un proyecto para su aprovechamiento. Nuevas perspectivas para instalaciones maremotrices. CANADA, F.

Ind. Min. (1981), núm. 212, 31-44, esp., bibl. IGME.

* Proyecto, Obra, Energía maremotriz, Presa hormigón, Instalación submarina, Central eléctrica, Mar Mediterráneo Oeste, Atlántico norte, Estrecho de Gibraltar, España, Marruecos.

20049. Resolución de la Dirección General de Minas por la que se inscribe Reserva Provisional a favor del Estado de minerales radioactivos. MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA.

Leg. ind. (1981), núms. 8-9, p. 1614, esp., bibl. IGME.

* Título minero, Mineral radioactivo, Legislación, Provincia Salamanca, Provincia Zamora.

20050. Real Decreto de 3 de agosto por el que se establece un contingente arancelario para la importación de coque. MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA.

Leg. ind. (1981), núms. 8-9, pp. 1612-1613, esp., bibl. IGME.

* Carbón, Importación, Fiscalización, Legislación, Coque, España.

20051. Ley 45/1981, de 26 de diciembre, de creación del Instituto Nacional de Hidrocarburos (BOE de 30-12-1981, Jefatura del Estado). MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA.

Leg. ind. (1981), núm. 12, 2322-2328, esp., bibl. IGME.

* Sociedad del Estado, Hidrocarburo, Legislación.

20070. Centrales Térmicas convencionales.

Metal. máquinas (1981), núms. 11-12, 61-63, esp., bibl. IGME.

* Energía, Carbón, Lignito, Central eléctrica, Inventario, Producción, Coste, España.

20071. II Expo - Almería. Energía solar. PEREZ DEL GALLO, M.

Metal. máquinas (1981), núms. 11-12, 67-69, esp., bibl. IGME.

* Reunión, Energía solar, Energía eólica, Almería.

20072. Conversión térmica de la Energía solar en electricidad. PEREZ, M.

Metal. máquinas (1981), núms. 11-12, 71-75, esp., bibl. IGME.

* Energía solar, Electricidad, Transformación, Experiencia.

20075. El futuro del carbón en la CEE.

Minerpress (1981), núm. 80, 9 pp., esp., bibl. IGME.

* CEE, Carbón, Sustancia útil, Consumo, Investigación, Financiación.

20082. Los oleoductos realizados por la Compañía Arrendataria del Monopolio de Petróleos (CAMPESA) en el quinquenio 1975-1980. PRADA, A.

Rev. Obras Públicas (1981), vol. 128, núm. 3.197, 685-694, esp., bibl. IGME.

* Obras, Oleoducto, Petróleo, Transporte, España.

20085. Minería del Carbón. Su evolución en el contexto de la acción concertada. DIEZ VIEJOBUENO, C.

Rocas miner. (1981), vol. 9, núm. 118, 40-45, esp., bibl. IGME.

* Carbón, Sustancia útil, Política Estado, Fiscalización, Financiación, Producción concertada, España.

20086. El Estado pone en orden la energía. El INI en marcha.

Rutas gas (1981), núm. 19, 5-10, esp., bibl. IGME.

* Hidrocarburo, Sociedad del Estado, Política Estado, Legislación, España.

20087. El mercado mundial de GLP 1980. ANDERIZ, F.

Rutas gas (1981), núm. 19, 22-26, ref. 8, esp., bibl. IGME.

* Gas, Hidrocarburo, Mercado, Exportación, Precio, Mundo.

20088. Utilización de los GLP en calefacción en España. CRESPO, R.; PONS, J.

Rutas gas (1981), núm. 19, 27-30, esp., bibl. IGME.

* Gas, Hidrocarburo, Consumo, España.

20089. La política energética en las comunidades. BORREGO, M. C.; ARIZA, A.

Rutas gas (1981), núm. 19, 36-52, esp., bibl. IGME.

* CEE, Euraton, Política Estado, Energía, Europa.

20090. Política energética en España.

Rutas gas (1981), núm. 19, 53-56, esp., bibl. IGME.

* Energía nuclear, Petróleo, Gas natural, Consumo, Política Estado, España.

MAPAS

20052. Llanes. MARTINEZ GARCIA, E.

Mapa Geol. Esp., escala 1:50.000, segunda serie (1980), número 32, 3-40, ref. 50, esp., bibl. IGME.

* Memoria explicativa, Mapa geológico, Primario, Cretácico, Eoceno, Cuaternario, Orogenia Hercínica, Falla, Cabalgamiento, Neotectónico, Roca sedimentaria, Roca clástica, Cuarcita, Caliza, Fauna, Asturias.

20053. Betanzos. GALAN, J.; ALDAYA, F.; RUIZ, F.

Mapa Geol. Esp., escala 1:50.000, segunda serie (1980), número 45, 3-34, ref. 27, esp., bibl. IGME.

* Memoria explicativa, Mapa geológico, Infracámbrico, Cámbrico, Mioceno, Oligoceno, Cuaternario, Roca clástica, Roca ígnea, Metamorfismo regional, Metamorfismo contacto, Paragénesis, Análisis mayores, Orogenia hercínica, Formación órdenes, Provincia La Coruña.

20054. Ordenes. HERNANDEZ URROZ, J.; DIVAR, J.; DIEZ BALDA, M. A.; MARTINEZ CATALAN, J. R.

Mapa Geol. Esp., escala 1:50.000, segunda serie (1981), número 70, 3-20, ref. 52, esp., bibl. IGME.

* Memoria explicativa, Mapa geológico, Roca metasedimentaria, Roca ígnea, Infracámbrico, Cámbrico, Neógeno, Plioceno, Cuaternario, Pliegue, Fractura, Orogenia hercínica, Metamorfismo regional, Metamorfismo contacto, Corte geológico, Antimonio sustancia, Lignito, Sustancia útil, Provincia La Coruña.

20055. Puebla de Caramiñal. GALAN, J.; FERNANDEZ RODRIGUEZ, R.; ALDAYA, F.; GONZALEZ LODEIRO, F.; RUIZ ARIAS, F.

Mapa Geol. Esp., escala 1:50.000, segunda serie (1981), número 151, 3-22, ref. 42, esp., bibl. IGME.

* Memoria explicativa, Mapa geológico, Esquisto muscovita, Gneis, Roca metasedimentaria, Roca ígnea, Granito, Facies esquisto verde, Paragénesis, Cuaternario, Orogenia hercínica, Falla, Graben, Horst, Provincia Pontevedra.

20056. Manzaneda. RUBIO, J.

Mapa Geol. Esp., escala 1:50.000, segunda serie (1981), número 227, 3-34, ref. 61, esp., bibl. IGME.

* Memoria explicativa, Mapa geológico, Pleistoceno, Pliegue, Sinclinal, Gneis, Cuarcita, Roca ígnea, Roca metárfica, Metamorfismo regional, Facies metamorfismo, Orogenia hercínica, Sustancia útil, Provincia Orense.

20057. Laza. ALONSO ALONSO, J. L.; DELGADO, G.; ZUBIETA, J. M.

Mapa Geol. Esp., escala 1:50.000, segunda serie (1981), número 265, 3-26, ref. 26, esp., bibl. IGME.

* Memoria explicativa, Mapa geológico, Ordovícico, Silúrico, Devónico, Cuaternario, Discordancia, Roca meta-

sedimentaria, Roca ígnea, Roca volcánica, Caliza, Orogenia hercínica, Metamorfismo contacto, Pliegue, Panorama minero, Casiterita, Wolframita, Estaño sustancia, Tungsteno sustancia, Provincia Orense.

20058. **Puebla de Sanabria.** MARTINEZ GARCIA, E.; PLOGMANN.

Mapa Geol. Esp., escala 1:50.000, segunda serie (1981), número 267, 3-26, ref. 24, esp., bibl. IGME.

* Memoria explicativa, Mapa geológico, Cámbrico, Ordovícico, Cuaternario, Morrena, Terraza, Orogenia hercínica, Metamorfismo regional, Metamorfismo contacto, Migmatita, Gneis ojoso, Granitización, Provincia Zamora.

20059. **Arrabalde.** ESTEVEZ, C.; ARCE, J. M.

Mapa Geol. Esp., escala 1:50.000, segunda serie (1979), número 269, 3-36, ref. 18, esp., bibl. IGME.

* Memoria explicativa, Mapa geológico, Infracámbrico, Cámbrico, Ordovícico, Silúrico, Neógeno, Cuaternario, Terraza, Orogenia hercínica, Falla cabalgamiento, Gneis, Gneis ojoso, Provincia Zamora.

20060. **Castronuño.** GIMENEZ FUENTES, E.; GARCIA MARCOS, J. M.

Mapa Geol. Esp., escala 1:50.000, segunda serie (1979), número 398, 3-37, ref. 62, esp., bibl. IGME.

* Memoria explicativa, Mapa geológico, Paleógeno, Mioceno, Cuaternario, Morfología fluvial, Terraza, Fractura, Cantera, Sustancia útil, Provincia Zamora, Provincia Valladolid.

20061. **Maranchón.** BASCONES, L.; MARTINEZ ALVAREZ, F.

Mapa Geol. Esp., escala 1:50.000, segunda serie (1978), número 462, 3-38, ref. 129, esp., bibl. IGME.

* Memoria explicativa, Mapa geológico, Silúrico, Pérmico, Triásico, Jurásico, Mioceno, Plioceno, Cuaternario, Fauna, Roca sedimentaria, Terraza, Orogenia hercínica, Orogenia alpina, Microtectónica, Pliegue, Cantera, Sustancia útil, Panorama minero, Provincia Soria, Provincia Guadalajara.

20062. **Milmarcos.** ADELL, F.; BASCONES, L.; MARTINEZ ALVAREZ, F.; TENA-DAVILA, M.

Mapa Geol. Esp., escala 1:50.000, segunda serie (1978), número 463, 3-40, ref. 121, esp., bibl. IGME.

* Memoria explicativa, Mapa geológico, Trías, Jurásico inferior, Albense, Cenomanense, Turonense, Senonense, Mioceno, Cuaternario, Travertino, Caliza, Roca clástica, Orogenia alpina, Orogenia hercínica, Provincia Guadalajara, Provincia Soria, Provincia Zamora.

20063. **Reus.** COLODRON, I.; NUNEZ, A.; RUIZ, V.

Mapa Geol. Esp., escala 1:50.000, segunda serie (1980), número 472, 3-33, ref. 13, esp., bibl. IGME.

* Memoria explicativa, Mapa geológico, Carbonífero, Trías, Jurásico, Cretácico sup., Terciario, Cuaternario, Fauna, Falla, Pliegue, Falla cabalgamiento, Horst, Correlación, Roca sedimentaria, Roca ígnea, Roca metamórfica, Cantera, Sustancia útil, Provincia Tarragona.

20064. **Las Guadalerzas.** LEON, C.; JIMENO DIESTRO, G.; QUIQUER, R.

Mapa Geol. Esp., escala 1:50.000, segunda serie (1981), número 711, 3-31, ref. 40, esp., bibl. IGME.

* Memoria explicativa, Mapa geológico, Cámbrico, Or-

dovícico, Plioceno, Cuaternario, Pliegue, Anticlinorio, Sinclinal, Orogenia hercínica, Fractura, Microtectónica, Litofacies, Provincia Toledo, Provincia Ciudad Real.

20065. **Jalance.** LENDINEZ, A.; TENA-DAVILA, M. Mapa Geol. Esp., escala 1:50.000, segunda serie (1980), número 745, 3-38, ref. 106, esp., bibl. IGME.

* Memoria explicativa, Mapa geológico, Muschelkalk, Keuper, Kimmeridgiense, Aptense, Albense, Cenomanense, Santonense, Campaniense, Maestrichtiense, Terciario, Cuaternario, Glacis, Terraza, Travertino, Tectónica cobertura, Orogenia hercínica, Orogenia alpina, Provincia Valencia.

20068. **Figueira da Foz.** ROCHA, R.; MANUPPELLA, G.; MOUTERDE, R.; RUGET, CH.; ZBYSZEWSKI, G.

Carta Geol. Port., escala 1:50.000 (1981), núm. 19-C, 3-126, ref. 121, port., bibl. IGME.

* Memoria explicativa, Mapa geológico, Jurásico, Cretácico, Terciario, Cuaternario, Corte geológico, Marga, Caliza, Roca ígnea, Fractura, Falla, Pliegue, Anticinal, Portugal.

20069. **Mourao.** CORRELA, J.

Carta Geol. Port., escala 1:50.000 (1981), núm. 41-C, 5-17, ref. 10, port., bibl. IGME.

* Memoria explicativa, Mapa geológico, Silúrico, Devónico, Paleógeno, Pleistoceno, Terraza, Marga, Caliza, Cuarcita, Roca volcánica, Roca ígnea, Roca metamórfica, Portugal.

ECONOMIA MINERA

20020. **La incidencia de la adhesión de España a la CEE en el intercambio mutuo de materias primas minerales.** PASTOR, V.

Ind. Min. (1981), núm. 214, 7-17, ref. 9, esp., bibl. IGME.

* CEE, España, Materia prima, Importación, Exportación, Reserva.

20048. **Orden por la que se declara el levantamiento del «Bloque A» de la Reserva a favor del Estado denominada «Zona catalana» comprendida en las provincias de Lérida y Barcelona.** MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA.

Leg. ind. (1981), núms. 8-9, p. 1925, esp., bibl. IGME.

* Título minero, Potasa sustancia, Legislación, Provincia Barcelona, Provincia Lérida.

20074. **Plan Nacional de Abastecimientos de Materias Primas Minerales. Actividades a corto plazo. Programa para el biénio 1981-1982.**

Minerpress (1981), núm. 78, 9 pp., esp., bibl. IGME.

* Materia prima, Política Estado, Financiación, Legislación, Panorama minero, Importación, PNAMPM, España.

20084. **Grandes proyectos mineros: Expansión de «Cerro Colorado» de Río Tinto Minera.** S. A. PICAZO, L.

Rocas miner. (1981), vol. 9, núm. 118, 8-34, esp., bibl. IGME.

* Mina, Cielo abierto, Proyecto, Explotación, Mineralurgia, Concentración, Flotación, Desmonte, Provincia Huelva.

INDICE DE MATERIAS

(Tomo XCIII. Año 1982. Fascículos primero a sexto)

Páginas

GEOLOGIA

J. PÉREZ-MATEOS, A. PINILLA, L. ALCALÁ DEL OLMO y T. ALEIXANDRE: Mineralogía de los arenales costeros españoles. Tramo Málaga-Ayamonte	1
M.ª DOLORES GIL CID: Los Solenopleuropidae del Cámbrico Medio de Zafra (Badajoz)	19
J. M. VALENZUELA: Paleogeografía de la depresión del Guadalquivir durante el Neógeno	26
J. M. MARTÍN: Caracterización ambiental de los carbonatos marinos fósiles	99
L. VÍA BOADA: Nueva contribución al estudio paleontológico de la superfamilia Ocyopodoidea (Crustáceos Decápodos)	115
J. E. GÓMEZ PALLEROLA: Nuevas aportaciones a la ictiofauna y a la flora del Neocomiense del Montsec de Rubies (Lérida)	199
J. L. ALONSO: Las discordancias progresivas de la cobertura carbonífera de Ocejo de la Peña: Testigos de la reactivación de un pliegue del basamento por «Flexural-Slip» (Cordillera Cantábrica)	214
JUANA M.ª GOLPE POSSE: Un pliopítérido persistente en el Vallesiense Medio-Superior de los alrededores de Terrasa (cuenca del Vallés, España) y problemas de su adaptación	287
C. LLOMPART y S. KRAUSS: Restos de moluscos y dinosaurios en formaciones estromatolíticas garumnienses al S del Montsec (provincia de Lérida)	371
J. J. ELORZA: Peculiaridades y disposición de la Unidad de Benamocarra en la transversal de Sierra Tejeda (zona Bética). Su atribución al Complejo Alpujárride	379
DOLORES GIL CID e ISABEL RÁBANO: Introducción al estudio de la familia Illaenidae (Trilobita, Illaenina) en el Ordovícico español	461
M. GUTIÉRREZ ELORZA, A. MELÉNDEZ HEVIA y A. SORIANO: Las series terminales neógenas en el sector centromeridional de la Depresión del Ebro y su relación con la morfogénesis	465
M.ª DOLORES GIL CID: Hallazgo de Paradoxides (Eccaparadoxides) brachyrhachis Linnarsson 1883, en el Cámbrico Medio de Zafra (Badajoz)	470
E. VINDEL: Estudio mineralógico y metalogénico de las mineralizaciones de la Sierra de Guadarrama (Sistema Central Español). Parte I	33
E. VINDEL: Estudio mineralógico y metalogénico de las mineralizaciones de la Sierra de Guadarrama (Sistema Central Español). Parte II	120
P. GUMIEL, J. REY DE LA ROSA, J. SÁNCHEZ DE LA FUENTE y J. LIARTE: Prospección de Antimoni y otros elementos en la banda calcárea de La Codosera-Alburquerque	146

	Páginas
F. GARCÍA, J. RUIZ, P. ADEVA y M.ª A. PALACIOS: Estudio mineralógico de las magnetitas de La Berrona (Badajoz) con vistas a su posible concentración ...	226
M. GUTIÉRREZ CLAVEROL y J. GARCÍA IGLESIAS: El yacimiento de magnesita de Valderrodero (Asturias, España)	233
R. LUNAR, J. I. MANTECA, P. RODRÍGUEZ y J. L. AMORÓS: Estudio mineralógico y geoquímico del gossan de los depósitos de Fe, Pb, Zn de la Unión (Sierra de Cartagena)	244
J. SAAVEDRA: Procesos Geológicos y Geoquímicos en la génesis de yacimientos Estanno-Wolframíferos Centro-Ibéricos	297
J. M. MARTÍN y J. TORRES RUIZ: Algunas consideraciones sobre la convergencia de medios de depósito de las mineralizaciones de hierro y plomo-cinc-fluorita de origen sedimentario encajadas en rocas triásicas de los Complejos Nevado-Filábride y Alpujárride del sector central de la Cordillera Bética ...	314
J. AIZPURÚA, P. GUMIEL y A. PINEDA: Introducción al estudio de los yacimientos de fosfatos del Macizo Ibérico meridional	390
G. OVEJERO, F. TONA, J. M. MARÍN, A. GUTIÉRREZ, J. P. JACQUIN, G. SERVAJEAN y J. F. ZUBIAUR: Las mineralizaciones estratiformes F_2Ca-Pb en las dolomías triásicas de Sierra de Lújar, Granada (Cordilleras Béticas, España)	475

AGUAS SUBTERRANEAS

J. BENAVENTE HERRERA, A. CALVACHE QUESADA y R. FERNÁNDEZ GUTIÉRREZ: Evolución hidrogeoquímica en un acuífero detrítico costero (Delta del río Guadalfeo, Granada)	157
C. ALVAREZ, R. GALLEGOS, J. VELA y F. DE PEDRO HERRERA: Hidrogeoquímica de la zona central de la Hoja núm. 348 de San Leonardo (Soria). XXV	330
J. LLAMAS, G. DHATT y B. TYANO: Uso de un modelo mixto estocástico - determinista para el estudio de recarga de acuíferos	496

GEOFISICA

A. GRANDA SANZ y J. L. SASTRE PASCUAL: Prospección geofísica de acuíferos salobres en cuencas terciarias, análisis y crítica del método resistividad-polarización inducida ...	415
--	-----

GEOQUIMICA

A. SEBASTIÁN, F. J. MARTÍNEZ y J. I. GIL IBARGUCHI: Petrología y geoquímica de los gneises de Queralbs-Nuria (provincia de Gerona) ...	508
--	-----

GEOTECNIA

J. ALONSO y M. MONTOTO: Pulimento de áridos carbonatados en capas de rodadura. Parte I: Parámetros petrográficos ...	254
M. MONTOTO y J. ALONSO: Pulimento de áridos carbonatados en capas de rodadura. Parte II: Evolución topográfica ...	338

ESTUDIO DE MINERALES Y ROCAS

	Páginas
F. BEA BARREDO: Sobre el significado de la cordierita en los granitoides del batolito de Avila (Sistema Central Español) ...	59
F. TORNOS y C. CASQUET: Caracterización de gneises glandulares del alto valle del Lozoya (Sistema Central Español) en base al químismo de las biotitas y estado estructural del feldespato potásico ...	68
A. CARNICERO y A. CASTRO: El Complejo Básico de Barcarrota: Su petrología y estructura ...	165
M. D. RUIZ CRUZ y R. LUNAR: Datos mineralógicos relativos a las «ofitas» triásicas del sector central de la Cordillera Sub-Bética y a los sedimentos arcillosos que las engloban ...	172
A. APARICIO YAGÜE y L. GARCÍA CACHO: Geotermómetros y geobarómetros en el área metamórfica del Sistema Central Español ...	426
M. ORTEGA, A. GARROTE, J. RODRÍGUEZ y P. FENOLL: Rocas metamórficas en las pegmatitas de Sierra Albarra (provincia de Córdoba) ...	436
P. P. GIL, A. PESQUERA y F. VELASCO: Sobre la determinación de la edad absoluta de rocas ígneas por el método de la dispersión de la birrefringencia ...	524

INDICE DE AUTORES

(Tomo XCIII. Año 1982. Fascículos primero a sexto)

Páginas	Páginas		
ADEVA RAMOS, P.; GARCÍA CARCEDO, F.; RUIZ SIERRA, J., y PALACIOS VIDA, M. ^a ANGUSTIAS: Estudio mineralógico de las magnetitas de La Berrona (Badajoz) con vistas a su posible concentración	226	ELORZA, J. J.: Peculiaridades y disposición de la Unidad de Benamocarra en la transversal de Sierra Tejeda (zona Bética). Su atribución al Complejo Alpujárride	379
AIZPURUA, J.; GUMIEL, P., y PINEDA, A.: Introducción al estudio de los yacimientos de fosfatos del Macizo Ibérico meridional	390	FENOLL, P.; ORTEGA, M.; GARROTE, A., y RODRÍGUEZ, J.: Rocas metamórficas en las pegmatitas de Sierra Albarранa (provincia de Córdoba)	436
ALCALÁ DEL OLMO, L.; PÉREZ MATEOS, J.; PINILLA, A., y ALEIXANDRE, T.: Mineralología de los arenales costeros españoles. Tramo Málaga-Ayamonte	1	FERNÁNDEZ GUTIÉRREZ, R.; BENAVENTE HERRERA, J., y CALVACHE QUESADA, A.: Evolución hidrogeoquímica en un acuífero detrítico costero (Delta del río Guadalfeo, Granada)	157
ALEIXANDRE, T.; PÉREZ MATEOS, J.; PINILLA, A., y ALCALÁ DEL OLMO, L.: Mineralología de los arenales costeros españoles. Tramo Málaga-Ayamonte	1	JACQUIN, J. P.; OVEJERO, G.; TONA, F.; MARÍN, J. M.; GUTIÉRREZ, A.; SERVAJEAN, G., y ZUBIAUR, J. F.: Las mineralizaciones estratiformes F_2Ca-Pb en las dolomías triásicas de Sierra de Lújar, Granada (Cordilleras Béticas, España)	475
ALONSO, J. L.: Las discordancias progresivas de la cobertura carbonífera de Ocejo de la Peña: Testigos de la reactivación de un pliegue del basamento por «Flexural-Slip» (Cordillera Cantábrica)	214	GALLEGO, R.; ALVAREZ, C.; VELA, J., y DE PEDRO HERRERA, F.: Hidrogeoquímica de la zona central de la Hoja núm. 348 de San Leonardo (Soria). XXV	330
ALONSO, J., y MONTOTO, M.: Pulimento de áridos carbonatados en capas de rodadura. Parte I: Parámetros petrográficos	254	GARCÍA, F.; RUIZ, J.; ADEVA, P., y PALACIOS, M. ^a A.: Estudio mineralógico de las magnetitas de La Berrona (Badajoz) con vistas a su posible concentración	226
ALONSO, J., y MONTOTO, M.: Pulimento de áridos carbonatados en capas de rodadura. Parte II: Evolución topográfica	339	CARCÍA CACHO, L., y APARICIO YAGÜE, A.: Geotermómetros y geobarómetros en el área metamórfica del Sistema Central Español	426
ALVAREZ, C.; GALLEGO, R.; VELA, J., y PEDRO HERRERA, F.: Hidrogeoquímica de la zona central de la Hoja núm. 348 de San Leonardo (Soria). XXV	330	GARCÍA IGLESIAS, J., y GUTIÉRREZ CLAVEROL, M.: El yacimiento de magnesita de Valderrodero (Asturias, España)	233
AMORÓS, J. L.; LUNAR, R.; MANTECA, J. I., y RODRÍGUEZ, P.: Estudio mineralógico y geoquímico del gossan de los depósitos de Fe, Pb, Zn de La Unión (Sierra de Cartagena)	244	GARROTE, A.; ORTEGA, M.; RODRÍGUEZ, J., y FENOLL, P.: Rocas metamórficas en las pegmatitas de Sierra Albarранa (provincia de Córdoba)	436
APARICIO YAGÜE, A., y GARCÍA CACHO, L.: Geotermómetros y geobarómetros en el área metamórfica del Sistema Central Español	426	GIL, P. P.; PESQUERA, A., y VELASCO, F.: Sobre la determinación de la edad absoluta de rocas ígneas por el método de la dispersión de la birrefringencia	524
BEA BARREDO, F.: Sobre el significado de la cordierita en los granitoides del batholito de Avila (Sistema Central Español)	59	GIL CID, M. ^a DOLORES: Los Solenopleuropidae del Cámbrico Medio de Zafra (Badajoz)	19
BENAVENTE HERRERA, J.; CALVACHE QUESADA, A., y FERNÁNDEZ GUTIÉRREZ, R.: Evolución hidrogeoquímica en un acuífero detrítico costero (Delta del río Guadalfeo, Granada)	157	GIL CID, DOLORES, y RÁBANO, ISABEL: Introducción al estudio de la familia Illaenidae (Trilobita, Illaenina) en el Ordovícico español	461
CALVACHE QUESADA, A.; BENAVENTE HERRERA, J., y FERNÁNDEZ GUTIÉRREZ, R.: Evolución hidrogeoquímica en un acuífero detrítico costero (Delta del río Guadalfeo, Granada)	157	GIL CID, DOLORES: Hallazgo de Paradoxides (Eccaparadoxides) brachyrhachis Linnarsson 1883, en el Cámbrico Medio de Zafra (Badajoz)	470
CARNICERO, A., y CASTRO, A.: El Complejo Básico de Barcarrota: Su petrología y estructura	165	GOLPE POSSE, JUANA M.: Un pliopítérido persistente en el Vallesiente Medio-Superior de los alrededores de Terrasa (cuenca del Vallés, España) y problemas de su adaptación	287
CASQUET, C., y TORNOS, F.: Caracterización de gneises glandulares del alto valle del Lozoya (Sistema Central Español) en base al químismo de las biotitas y estado estructural del feldespato potásico	68	GÓMEZ PALLEROLA, J. E.: Nuevas aportaciones a la ictiofauna y a la flora del Neocomiense del Montsec de Rubies (Lérida)	199
CASTRO, A., y CARNICERO, A.: El Complejo Básico de Barcarrota: Su petrología y estructura	165	GUMIEL, P.; REY DE LA ROSA, J.; SÁNCHEZ DE LA FUENTE, J., y LIARTE, J.: Prospección de antimonio y otros elementos en la banda calcárea de La Codosera-Alburquerque	146
DHATT, G.; LLAMAS, J., y TYANO, G.: Uso de un modelo mixto estocástico-determinista para el estudio de recarga de acuíferos	496	GUMIEL, P.; AIZPURÚA, J., y PINEDA, A.: Introducción al estudio de los yacimientos de fosfatos del Macizo Ibérico meridional	390
		GUTIÉRREZ, A.; OVEJERO, G.; TONA, F.; MARÍN, J. M.; JACQUIN, J. P.; SERVAJEAN, G., y ZUBIAUR, J. F.: Las mineralizaciones de Sierra de Lújar, Granada (Cordilleras Béticas, España)	475
		GUTIÉRREZ CLAVEROL, M., y GARCÍA IGLESIAS, J.: El yacimiento de magnesita de Valderrodero (Asturias, España)	233

	Páginas
GUTIÉRREZ ELORZA, M.; MELÉNDEZ HEVIA, A., y SORIANO, A.: Las series terminales neógenas en el sector centromeridional de la depresión del Ebro y su relación con la morfogénesis	465
GRANDA SANZ, A., y SASTRE PASCUAL, J. L.: Prospección geofísica de acuíferos salobres en cuencas terciarias, análisis y crítica del método resistividad-polarización inducida	415
JACQUIN, J. P.; OVEJERO, G.; TONA, F.; MARÍN, J. M.; GUTIÉRREZ, A.; SERVAJEAN, G., y ZUBIAUR, J. F.: Las mineralizaciones estratiformes F_2Ca-Pb en las dolomías triásicas de Sierra de Lújar, Granada (Cordilleras Béticas, España)	475
KRAUSS, S., y LLOMPART, C.: Restos de moluscos y dinosaurios en formaciones estromatolíticas garumnienses al S. del Montsec (provincia de Lérida) ...	371
LIARTE, J.; GUMIEL, P.; REY DE LA ROSA, J., y SÁNCHEZ DE LA FUENTE, J.: Prospección de Antimonio y otros elementos en la banda calcárea de La Codosera-Alburquerque ...	146
LUNAR, R., y RUIZ CRUZ, M.: Datos mineralógicos relativos a las «ofitas» triásicas del sector central de la Cordillera Sub-Bética y a los sedimentos arcillosos que las engloban ...	172
LUNAR, R.; MANTECA, J. I.; RODRÍGUEZ, P., y AMORÓS, J. L.: Estudio mineralógico y geoquímico del gossan de los depósitos de Fe, Pb, Zn de la Unión (Sierra de Cartagena) ...	244
LÓPEZ VERA, F.: Alfonso Limón, pionero en el siglo XVII de una ciencia de hoy: La Hidrogeoquímica ...	346
LLAMAS, J.; DHATT, G., y TYANO, B.: Uso de un modelo mixto estocástico-determinista para el estudio de recarga de acuíferos ...	496
LLOMPART, C., y KRAUSS, S.: Restos de moluscos y dinosaurios en formaciones estromatolíticas garumnienses al S. del Montsec (provincia de Lérida) ...	371
MANTECA, J. I.; LUNAR, R.; RODRÍGUEZ, P., y AMORÓS, J. L.: Estudio mineralógico y geoquímico del gossan de los depósitos de Fe, Pb, Zn de la Unión (Sierra de Cartagena) ...	244
MARÍN, J. M.; OVEJERO, G.; TONA, F.; GUTIÉRREZ, A.; JACQUIN, J. P.; SERVAJEAN, G., y ZUBIAUR, J. F.: Las mineralizaciones estratiformes F_2Ca-Pb en las dolomías triásicas de Sierra de Lújar, Granada (Cordilleras Béticas, España) ...	475
MARTÍN, J. M.: Caracterización ambiental de los carbonatos merinos fósiles ...	99
MARTÍN, J. M., y TORRES RUIZ, J.: Algunas consideraciones sobre la convergencia de medios de depósito de las mineralizaciones de hierro y plomo-zinc-fluorita de origen sedimentario encajadas en rocas triásicas de los Complejos Nevado-Filábride y Alpujárride del sector central de la Cordillera Bética ...	314
MARTÍNEZ, F. J.; SEBASTIÁN, A., y GIL IBARGUCHI, J. I.: Petrología y geoquímica de los gneises de Queralbs-Nuria (provincia de Gerona) ...	508
MELÉNDEZ HEVIA, A.; GUTIÉRREZ ELORZA, M., y SORIANO, A.: Las series terminales neógenas en el sector centromeridional de la depresión del Ebro y su relación con la morfogénesis ...	465
MONTOTO, M., y ALONSO, J.: Pulimento de áridos carbonatados en capas de rodadura. Parte I: Parámetros petrográficos ...	254
MONTOTO, M., y ALONSO, J.: Pulimento de áridos carbonatados en capas de rodadura. Parte II: Evolución topográfica ...	338

	Páginas
ORTEGA, M.; GARROTE, A.; RODRÍGUEZ, J., y FENOLL, P.: Rocas metamórficas en las pegmatitas de Sierra Albarraña (provincia de Córdoba) ...	436
OVEJERO, G.; TONA, F.; MARÍN, J. M.; GUTIÉRREZ, A.; JACQUIN, J. P.; SERVAJEAN, G., y ZUBIAUR, J. F.: Las mineralizaciones estratiformes F_2Ca-Pb en las dolomías triásicas de Sierra de Lújar, Granada (Cordilleras Béticas, España) ...	475
PALACIOS, M. A.; GARCÍA, F.; RUIZ, J., y ADEVA, P.: Estudio mineralógico de las magnetitas de La Berrona (Badajoz) con vistas a su posible concentración ...	226
PEDRO HERRERA, F. DE; ALVAREZ, C.; GALLEGOS, R., y VELA, J.: Hidrogeoquímica de la zona central de la Hoja núm. 348 de San Leonardo (Soria). XXV	330
PINEDA, A.; AIZPURÚA, J., y GUMIEL, P.: Introducción al estudio de los yacimientos de fosfatos del Macizo Ibérico meridional ...	390
PÉREZ-MATEOS, J.; PINILLA, A.; ALCALÁ DEL OLMO, L., y ALEXANDRE, T.: Mineralogía de los arenales costeros españoles. Tramo Málaga-Ayamonte ...	1
PINILLA, A.; PÉREZ-MATEOS, J.; ALCALÁ DEL OLMO, L., y ALEXANDRE, T.: Mineralogía de los arenales costeros españoles. Tramo Málaga-Ayamonte ...	1
PESQUERA, A.; GIL, P. P., y VELASCO, F.: Sobre la determinación de la edad absoluta de rocas ígneas por el método de la dispersión de la birrefringencia ...	524
RÁBANO, ISABEL, y GIL CID, M. DOLORES: Introducción al estudio de la familia Illae-nidae (Trilobita, Illaenina) en el Ordovícico español ...	461
REY DE LA ROSA, J.; GUMIEL, P.; SÁNCHEZ DE LA FUENTE, J., y LIARTE, J.: Prospección de Antimonio y otros elementos en la banda calcárea de La Codosera-Alburquerque ...	146
RODRÍGUEZ, P.; AMORÓS, J. L.; LUNAR, R., y MANTECA, J. L.: Estudio mineralógico y geoquímico del gossan de los depósitos de Fe, Pb, Zn de La Unión (Sierra de Cartagena) ...	244
RODRÍGUEZ, J.; ORTEGA, M.; GARROTE, A., y FENOLL, P.: Rocas metamórficas en las pegmatitas de Sierra Albarraña (provincia de Córdoba) ...	436
RUIZ, J.; GARCÍA, F.; ADEVA, P., y PALACIOS, M. A.: Estudio mineralógico de las magnetitas de La Berrona (Badajoz) con vistas a su posible concentración ...	226
RUIZ CRUZ, M. D., y LUNAR, R.: Datos mineralógicos relativos a las «ofitas» triásicas del sector central de la Cordillera Sub-Bética y a los sedimentos arcillosos que las engloban ...	172
SAAVEDRA, J.: Procesos Geológicos y Geoquímicos en la génesis de yacimientos Estano-Wolframíferos Centro-Ibéricos ...	297
SÁNCHEZ DE LA FUENTE, J.; GUMIEL, P.; REY DE LA ROSA, J., y LIARTE, J.: Prospección de Antimonio y otros elementos en la banda calcárea de La Codosera-Alburquerque ...	146
SASTRE PASCUAL, J. L., y GRANDA SANZ, A.: Prospección geofísica de acuíferos salobres en cuencas terciarias, análisis y crítica del método resistividad-polarización inducida ...	415
SEBASTIÁN, A.; MARTÍNEZ, F. J., y GIL IBARGUCHI, J. I.: Petrología y geoquímica de los gneises de Queralbs-Nuria (provincia de Gerona) ...	508
SERVAJEAN, G.; OVEJERO, G.; TONA, F.; MARÍN, J. M.; GUTIÉRREZ, A.; JACQUIN, J. P., y ZUBIAUR, J. F.: Las mineralizaciones estratiformes F_2Ca-Pb en las dolomías triásicas de Sierra de Lújar, Granada (Cordilleras Béticas, España) ...	475

	Páginas
SORIANO, A.; GUTIÉRREZ ELORZA, M., y MELÉNDEZ HEVIA, A.: Las series terminales neógenas en el sector centromeridional de la depresión del Ebro y su relación con la morfogénesis ...	465
TONA, F.; OVEJERO, G.; MARÍN, J. M.; GUTIÉRREZ, A.; JACQUIN, J. P.; SERVAJEAN, G., y ZUBIAUR, J. F.: Las mineralizaciones estratiformes F_2 -Ca-Pb en las dolomías triásicas de Sierra de Lújar, Granada (Cordilleras Béticas, España) ...	475
TORNOS, F., y CASQUET, C.: Caracterización de gneises glandulares del alto valle del Lozoya (Sistema Central Español) en base al químismo de las biotitas y estado estructural del feldespato potásico ...	68
TORRES RUIZ, J., y MARTÍN, J. M.: Algunas consideraciones sobre la convergencia de medios de depósito de las mineralizaciones de hierro y plomo-zinc-fluorita de origen sedimentario encajadas en rocas triásicas de los Complejos Nevado-Filábride y Alpujárride del sector central de la Cordillera Bética ...	314
TYANO, B.; LLAMAS, J., y DHATT, G.: Uso de un modelo mixto estocástico - determinista para el estudio de recarga de acuíferos ...	496
VALENZUELA, J. M.: Paleogeografía de la depresión del Guadalquivir durante el Neógeno ...	26
VELA, J.; ALVAREZ, C.; GALLEGOS, R., y PEDRO HERRERA, F. DE: Hidrogeoquímica de la zona central de la Hoja núm. 348 de San Leonardo (Soria). XXV	330
VELASCO, F.; GIL, P. P., y PESQUERA, A.: Sobre la determinación de la edad absoluta de rocas ígneas por el método de la dispersión de la birrefringencia ...	524
VÍA BOADA, L.: Nueva contribución al estudio paleontológico de la superfamilia Ocipodoidea (Crustáceos Decápodos) ...	115
VINDEL, E.: Estudio mineralógico y metalogénico de las mineralizaciones de la Sierra de Guadarrama (Sistema Central Español). Parte I ...	33
VINDEL, E.: Estudio mineralógico y metalogénico de las mineralizaciones de la Sierra de Guadarrama (Sistema Central Español). Parte II ...	120
ZUBIAUR, J. F.; OVEJERO, G.; TONA, F.; MARÍN, J. M.; GUTIÉRREZ, A.; JACQUIN, J. P., y SERVAJEAN, G.: Las mineralizaciones estratiformes F_2 -Ca-Pb en las dolomías triásicas de Sierra de Lújar, Granada (Cordilleras Béticas, España) ...	475

*De inversión
requiere un buen proyecto*



intecsama

INTERNACIONAL DE INGENIERIA
Y ESTUDIOS TECNICOS S. A.

3 FEB. 1983



EN PROSPECCION DE RECURSOS NATURALES

- * GEOLOGIA
- * AGUAS SUBTERRANEAS
- * EXPLORACION MINERA
- * EXPLORACION PETROLERA
- * SONDEOS
- * ROCAS INDUSTRIALES
- * GEOTERMIA
- * GEOTECNIA
- * GEOFISICA
- * LABORATORIOS



Compañía
General de
Sondeos, S.A.

OFICINAS CENTRALES: Corazón de María, 15 - Tel. 416 85 50* - MADRID-2
Portal de Castilla, 46 - Tel. 22 36 04* - VITORIA

LABORATORIOS: San Roque, 3 - Majadahonda (MADRID)